

Propuesta De Opciones Tecnológicas Para El Tratamiento Y Reúso De Aguas Grises  
Provenientes De Ducha Y Lavamanos En Una Vivienda Unifamiliar Del Área Metropolitana De  
Bucaramanga AMB.

Jesús David Álvarez Trujillo y Brayan David Bonilla

Trabajo de grado para optar título de Ingeniero Civil

Director:

Edgar Ricardo Oviedo Ocaña

PhD. Ingeniería, área de énfasis Ingeniería Sanitaria y Ambiental

Codirector

Daniela Cristina Rey Romero

MSc. Planificación y Desarrollo de Recursos Hidráulicos

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2020

**Dedicatoria**

*A Rosa Helena Sánchez, Luz Marina Trujillo y Silvia Álvarez, por su paciencia,  
apoyo y amor incondicional.*

***Jesús David Álvarez Trujillo***

**Dedicatoria**

*A mi madre, una mujer trabajadora, que con su amor, comprensión y esfuerzo siempre estuvo ahí, para ser mi principal fuente de motivación en este camino.*

*A mis hermanos, por brindarme sus consejos y apoyo incondicional en situaciones difíciles, que en todo momento me guiaron a ser una mejor persona.*

*A mi familia en Bucaramanga que me acogió estos años en su hogar, mi más sincera gratitud, sin ustedes nada de esto sería posible.*

*A mis amigos de la universidad, por cada momento de felicidad, angustia y cansancio compartidos, que hicieron de esta formación como ingenieros una etapa inolvidable.*

***Brayan David Bonilla***

### **Agradecimientos**

A los profesores Edgar Ricardo Oviedo Ocaña y Daniela Cristina Rey Romero por su paciencia, ayuda y conocimientos aportados para la realización de nuestro proyecto.

A la Escuela de Ingeniería Civil por brindarnos sus instalaciones donde se desarrolló gran parte de la investigación y a la Universidad Pública por permitirnos acceder a la educación superior de calidad.

Jesús David Álvarez Trujillo

Brayan David Bonilla

**Contenido**

Introducción .....	14
1. Objetivos .....	17
1.1.Objetivo general.....	17
1.2.Objetivos específicos .....	17
2.Marco de referencia .....	18
2.1.Aguas Grises .....	18
2.2.Características de las AG .....	18
2.3.Uso del agua tratada.....	19
2.4.Normativa de reúso de AG .....	19
2.4.1.Normativa nacional.....	19
2.4.2.Normativas internacionales.....	20
2.5.Tecnologías para el tratamiento de AG .....	22
2.6.Selección de tecnologías .....	22
3.Metodología .....	23
3.1.Revisión de literatura .....	23
3.1.1.Búsqueda inicial.....	23
3.1.2.Filtración de los artículos.....	24
3.1.3.Consolidación de datos .....	25
3.1.4.Consumo y calidad de AG .....	25

3.1.5.Tecnologías .....	25
3.2.Caracterización de producción de las AG (Aforos) .....	26
3.2.1.Selección de la vivienda.....	26
3.2.2.Protocolo de aforo.....	26
3.2.3.Análisis de datos .....	26
3.3.Selección de tecnologías .....	27
3.3.1.Selección de sistema de tratamiento óptimo .....	28
3.4.Parámetros de diseño para el sistema de tratamiento en viviendas del AMB .....	28
4.Resultados y discusión.....	30
4.1.Revisión de literatura .....	30
4.1.1.Filtro de documentos.....	30
4.1.2.Evolución y estado actual de los estudios.....	30
4.1.3.Características fisicoquímicas de AG provenientes de duchas y lavamanos.....	32
4.1.4.Producción de AG provenientes de duchas y lavamanos .....	37
4.1.4.1.Caracterización de la vivienda. ....	37
4.1.4.2.Cantidad de AGC producidas. ....	37
4.2.Selección de tecnologías.....	41
4.3.Selección de sistema de tratamiento óptimo.....	42
4.4.Recomendaciones de diseño e implementación del sistema.....	48
5.Conclusiones.....	50

Referencias..... 52

Apéndices..... 66

**Lista de tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Valores recomendados para aguas tratadas según normativas colombianas. ....	20
Tabla 2. Valores de parámetros recomendados para agua gris tratada para descarga de inodoros.....	21
Tabla 3. Estructura de las ecuaciones de búsqueda .....	24
Tabla 4. Criterios de selección de tecnología .....	29
Tabla 5. Valores máximos, mínimos y medios de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las AG encontrados en la literatura .....	34
Tabla 6. Número de datos de parámetros por fuente utilizados para identificar las características fisicoquímicas y microbiológicas de las AG encontrados en la literatura ...	35
Tabla 7. Aportes de ducha y lavamanos al consumo promedio total de agua .....	38
Tabla 8. Comparación de aforos con consumos máximos, mínimos y promedios de la literatura .....	39
Tabla 9. Sistemas a evaluar seleccionados .....	43
Tabla 10. Valores asignados criterio ambiental .....	44
Tabla 11. Valores asignados criterio económico .....	45
Tabla 12. Valores asignados criterio técnico .....	46
Tabla 13. Puntaje total obtenido por tren.....	47

**Lista de figuras**

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Resultado filtro de artículos.....	30
Figura 2. Evolución de la cantidad de estudios por año. ....	31
Figura 3. Cantidad de artículos por continente. ....	31
Figura 4. Cantidad de estudios por país .....	32
Figura 5. Parámetros estudiados en la literatura .....	37
Figura 6. Tecnologías encontradas en la literatura .....	42

### Lista de apéndices

	<b>Pág.</b>
Apéndice A. Normativa internacional para el reúso de agua tratada.....	66
Apéndice B. Aspectos considerados en la revisión de literatura .....	68
Apéndice C. Artículos seleccionados en la revisión de literatura.....	69
Apéndice D. Trenes de tratamiento encontrados en la revisión de literatura .....	74
Apéndice E. Tecnologías de tratamiento encontrados en la revisión de literatura .....	75
Apéndice F. Información de la vivienda.....	77
Apéndice G. Formatos aforos semana 1. ....	79
Apéndice H. Formatos aforos semana 2 .....	84
Apéndice I. Materiales y procedimiento de los aforos .....	89
Apéndice J. Fórmulas de normalización y ponderación para los criterios de selección de tecnologías.....	91
Apéndice K. Proceso de diseño trenes propuestos.....	92
Apéndice L. Planos trenes de tratamientos propuestos.....	95
Apéndice M. Valores de parámetros típicos encontrados en la literatura.....	96
Apéndice N. Volúmenes totales de aforo semana 1 .....	101
Apéndice O. Volúmenes totales de aforo semana 2 .....	103
Apéndice P. Volúmenes totales de aforo para las dos semanas.....	105
Apéndice Q. Consumo horario promedio en la semana 1 .....	107
Apéndice R. Consumo horario promedio en la semana 2.....	108
Apéndice S. Consumo horario promedio para las dos semanas .....	109
Apéndice T. Consumos de agua potable de diversos usos domésticos encontrados en la literatura .....	110
Apéndice U. Fichas de caracterización de las tecnologías .....	112
Apéndice V. Remociones de los trenes evaluados.....	121
Apéndice W. Puntajes normalizados de los trenes evaluados .....	123
Apéndice X. Gráfico de radar del desempeño de los trenes evaluados .....	124

**RESUMEN**

**TÍTULO:** PROPUESTA DE OPCIONES TECNOLÓGICAS PARA EL TRATAMIENTO Y REÚSO DE AGUAS GRISES PROVENIENTES DE DUCHA Y LAVAMANOS EN UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR DEL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA AMB\*

**AUTORES:** JESÚS DAVID ÁLVAREZ TRUJILLO  
BRAYAN DAVID BONILLA\*\*

**PALABRAS CLAVE:** AGUAS GRISES CLARAS, DUCHA, LAVAMANOS, TRATAMIENTO, DESCARGA DE INODOROS, TECNOLOGÍAS, VIVIENDA.

**DESCRIPCIÓN:**

Debido al aumento en el consumo de agua en el Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB) generado por un crecimiento exponencial de la población, la implementación de sistemas descentralizados de tratamiento de aguas grises (AG) proporciona una solución para este problema. El agua tratada se podría utilizar para realizar ciertas actividades que no requieren agua potable. Por ejemplo, la descarga de inodoros. Este estudio propone alternativas tecnológicas para tratar las AG provenientes de duchas y lavamanos (aguas grises claras). Estas opciones se basaron en el análisis de una revisión de la literatura, así como en otras dos opciones que fueron diseñadas por los autores de esta investigación. Se identificaron características de la calidad fisicoquímica y microbiológica de las AGC. Además, este estudio determina la producción de AGC en una vivienda en el AMB, a partir de jornadas de aforos de duchas, lavamanos y descarga de inodoros. Sumado a esto se encontró que las AGC se caracterizan por su alta variabilidad con respecto a parámetros críticos como pH; DBO<sub>5</sub>; DQO; turbidez; TSS; coliformes totales; coliformes fecales y E Coli. Otro hallazgo presentó que la producción promedio de AGC fue de 146.7 L / por día, mientras que la descarga del inodoro requirió 114 L / por día. Según la evaluación de las tecnologías, la unidad de tratamiento que tuvo la mejor adaptabilidad fue la compuesta por tanque de aireación, filtro de arena y desinfección con cloro. Además, los trenes de tratamientos diseñados en esta investigación podrían implicar la aplicación de etapas posteriores. Sin embargo, la membrana de ultrafiltración podría ser una opción interesante, considerando que tiene un bajo consumo de energía y un mejor rendimiento en la eliminación de contaminantes en comparación con las tecnologías tradicionales como el filtro de arena. Finalmente, se presentaron recomendaciones para ejecutar estas tecnologías en el AMB.

---

\*Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Directores: Edgar Ricardo Oviedo Ocaña, ingeniero, PhD.; Daniela Cristina Rey Romero, ingeniera, MSc.

**ABSTRACT**

**TITLE:** PROPOSAL OF TECHNOLOGICAL OPTIONS FOR TREATMENT AND REUSE OF GRAY WATER COMING FROM SHOWER AND WASHBASIN IN A SINGLE-FAMILY HOUSEHOLD IN THE METROPOLITAN AREA OF BUCARAMANGA MAB\*

**AUTHOR:** JESÚS DAVID ÁLVAREZ TRUJILLO  
BRAYAN DAVID BONILLA\*\*

**KEY WORDS:** LIGHT GREYWATER, SHOWER, WASHBASIN, TREATMENT, TOILET FLUSHING, TECHNOLOGIES, HOUSEHOLD.

**DESCRIPTION:**

Due to the increment in water consumption in the Metropolitan Area of Bucaramanga (MAB) generated by the exponential growth of population, the implementation of decentralized greywater treatment systems provides a solution for this issue. As treated water could be used to carry out certain activities that do not require drinking water. For instance, toilet flushing. This study proposes technological alternatives to treat greywater (GW) coming from showers and washbasins (light greywater). These options were based on the analysis from the literature review as well as two other options that were designed by the authors of this investigation. As consequence, characteristics of its physicochemical and microbiological quality of LGW were identified. Moreover, this study determines the production of LGW in a household in the MAB based on measurements of the quantity of water spent using showers, washbasins and toilet flushing. In addition to this, the findings reported that LGW is characterized by its high variability regarding critical parameters such as i) pH; ii) BOD; iii) COD; iv) Turbidity; v) TSS; vi) total coliforms; vi) faecal coliforms and vii) E Coli. Another finding presented that the average production of LGW was 146.7 L/per day, while toilet flushing required 114 L/per day. According to the evaluation of the technologies, the unit of treatment which had the best adaptability was the one composed of aeration pond, sand filter and chlorine disinfection. Furthermore, the technologies designed from this research could involve the application of further stages. However, the ultrafiltration membrane could be an interesting option due to the fact that it has low energy consumption as well as it performs better at removing pollutants compared to those traditional technologies as the sand filter. Finally, recommendations were presented to execute these technologies in MAB.

---

\* Bachelor Thesis

\*\* Faculty of Physico-Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Directors: Edgar Ricardo Oviedo Ocaña, engineer, PhD.; Daniela Cristina Rey Romero, engineer, MSc.

## **Introducción**

El aumento de la demanda de agua potable es un problema que se ha venido intensificado, el cual, junto con el calentamiento global, ha causado serios retos para el abastecimiento de agua. Según las Naciones Unidas (ONU, 2014), la escasez de agua afecta a más del 40% de la población mundial y se prevé que este porcentaje incremente; además estima que alrededor del 80% de las aguas residuales son vertidas a mares y a ríos, y que el 70% de agua utilizada para riegos es extraído de los ríos, lagos y acuíferos, afectando los ecosistemas hídricos y la diversidad biológica. No tomar acciones en este asunto implica un daño a nivel ambiental, como económico y de salud pública teniendo en cuenta que más de 1700 millones de personas viven actualmente en cuencas fluviales en las que el consumo de agua supera la recarga (ONU, 2014). El adecuado manejo de aguas residuales es fundamental para reducir los vertimientos a cuerpos de agua, existen sistemas centralizados que requieren instalaciones robustas, mayores controles operacionales, altos costos de inversión y grandes áreas para su instalación (Ghisi & Ferreira, 2007). Recientemente, se han posicionados enfoques descentralizados para el tratamiento de aguas residuales, que incluyen opciones para el tratamiento de aguas grises (AG) a nivel residencial (Avellaneda & Salcedo, 2019). El reúso de AG puede contribuir con los problemas de escasez, al reducir el consumo de agua potable, y emplear el agua residual tratada en actividades que no requieren niveles de potabilización. En los últimos años el estudio de AG para su caracterización ha aumentado, el aprovechamiento de aguas grises es un tema de vital importancia, sobre todo en países desarrollados (Avellaneda & Salcedo, 2019), donde se han establecido normas que estipulan las actividades en las que puede ser utilizada (ej. producción de alimentos, lavado de vías en centros urbanos y uso directo en descarga de inodoros) y establecen criterios para el control

de su calidad (Avellaneda & Salcedo, 2019). El aprovechamiento de las AG es crucial, debido a que conforman alrededor del 50% a 80% de las agua residuales en las viviendas y su potencial de recuperación y reutilización es bastante alto (Matos et al., 2013); acorde con Edwin et al. (2014), se ha estimado que a nivel residencial el reúso de las AG puede reducir el consumo de agua potable hasta en un 50%. Se definen como Aguas Grises Claras (AGC), las provenientes de duchas, bañeras y lavamanos, debido a que están menos contaminadas respecto a las AG con flujos provenientes de actividades de cocina y lavandería (Eran Friedler & Hadari, 2006).

Existen varios retos relacionados con el tratamiento de las AGC, a causa de que sus características dependen de diversos factores como: clima, demografía, hábitos de consumo y composición de productos utilizados (Avellaneda & Salcedo, 2019). Las AGC presentan una alta concentración de SST, DBO<sub>5</sub>, DQO coliformes fecales y totales (Gross et al., 2015), y ausencia tanto de acidez como de alcalinidad (Avellaneda & Salcedo, 2019). A nivel mundial, las tecnologías de tratamiento más empleadas en viviendas son: la cloración, sedimentación y las biomembranas (Avellaneda & Salcedo, 2019). No obstante, no se han desarrollado suficientes estudios en el contexto colombiano que permitan analizar las características propias del AG ni de las tecnologías para su tratamiento.

En vista de lo planteado, este estudio busca proponer opciones tecnológicas para el tratamiento de aguas grises provenientes de duchas y lavamanos a nivel domiciliario, debido a que contienen una menor carga contaminante comparada con otras fuentes (E. Friedler, 2004). Además, según encuestas realizadas (Monroy & Zambrano, 2018), el reúso de AGC tiene una gran aceptación en la población del AMB. Se partirá de una revisión de literatura, además de un trabajo de campo donde se estimará la producción de AGC, con el objetivo de

analizar sus principales características, e identificar tecnologías potenciales para su tratamiento, basados en sus resultados, se establecerán parámetros y recomendaciones para el diseño de un sistema de tratamiento de AG provenientes de duchas y lavamanos en el contexto del AMB.

## **1. Objetivos**

### **1.1. Objetivo general**

Proponer opciones tecnológicas para el tratamiento de aguas grises provenientes de duchas y lavamanos, a nivel domiciliario, en el contexto del Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB).

### **1.2. Objetivos específicos**

Analizar los parámetros críticos sobre la producción y calidad de aguas grises provenientes de duchas y lavamanos para su reúso en viviendas residenciales.

Seleccionar tecnologías potenciales para el tratamiento de aguas grises en una vivienda urbana del AMB.

Establecer los parámetros para el diseño de un sistema de tratamiento de aguas grises provenientes de duchas y lavamanos a nivel domiciliario en el AMB.

## 2. Marco de referencia

### 2.1. Aguas Grises

Las Aguas Grises (AG) son aguas residuales provenientes de duchas, lavamanos, baños, lavadoras, lavaplatos y fregaderos, excluyendo agua residual proveniente de los inodoros (Jefferson et al., 2004),(Birks & Hills, 2007). De acuerdo al criterio del investigador y el contexto, se suele excluir agua residual proveniente de las actividades de cocina, haciendo que esta definición varíe dependiendo del estudio. Las AG que incluyen aguas residuales únicamente de fuentes como fregaderos, lavaplatos y lavadoras, son llamadas Aguas Grises Oscuras (AGO). Por otro lado, las aguas residuales provenientes de duchas, lavamanos y bañeras son denominadas Aguas Grises Claras (AGC) (Eran Friedler & Hadari, 2006), (Sievers & Londong, 2018).

### 2.2. Características de las AG

Las características de las AG varían ampliamente en cantidad y calidad, dependiendo del comportamiento del consumidor, de la infraestructura de la vivienda, de los productos de limpieza utilizados (i.e. jabones, detergentes, crema de dientes, champús, blanqueadores, etc.), y la calidad del agua potable suministrada; así mismo, depende de las características demográficas y otros factores como el clima (Sievers & Londong, 2018),(Eriksson et al., 2002). Las AG contienen una menor carga contaminante que las Aguas Negras (AN), debido a una baja presencia de materia fecal y papel higiénico (Donner et al., 2010). Algunos parámetros importantes para la caracterización de las AG son: la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y demanda química de oxígeno (DQO), el pH, el contenido de nutrientes (nitrógeno, fósforo), la presencia de bacterias como *E. Coli*, coliformes totales, sustancias como metales pesados, desinfectantes, entre otros (Gross et al., 2015),(Avellaneda & Salcedo,

2019). La literatura estima que las AG son del 50-80% de las aguas residuales domésticas (Li et al., 2009).

### **2.3. Uso del agua tratada**

Las AG tratadas pueden ser utilizadas principalmente en actividades que no requieran el uso de agua potable (ej. lavandería, limpieza, lavado de autos, descarga de inodoros). El consumo de agua potable en una residencia se puede reducir hasta en un 30% utilizando AG para descarga de inodoros siendo el principal reuso según investigaciones realizadas en el AMB (Monroy & Zambrano, 2018), (Rivera Sánchez & Zaraza Peña, 2015), (Mendoza Santos & Rincón Mendez, 2016) y hasta 50% aplicando una sistema de reutilización integral (Eriksson et al., 2002), (Ottoson & Stenström, 2003), (Maimon & Gross, 2018).

### **2.4. Normativa de reuso de AG**

#### **2.4.1. Normativa nacional**

En Colombia todavía no existen normativas para el reuso de las AG. A pesar de esto existe la resolución 1207 del 2014 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014), que adopta disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas en contextos agrícolas e industriales, que para descarga de aparatos sanitarios a nivel industrial presenta valores permisibles únicamente de pH y contaminantes microbiológicos.

Para encontrar más estándares de referencia es necesario remitirse al Decreto 475 de 1998 (ya derogado) (Ministerio de Salud -, 1998), (Avellaneda & Salcedo, 2019), donde se encuentran valores de características fisicoquímicas del agua segura con criterios más flexibles pero que a su vez no representan un riesgo para la salud humana. En la Tabla 1 se presentan valores recomendados para aguas tratadas según normativas colombianas.

**Tabla 1**

*Valores recomendados para aguas tratadas según normativas colombianas*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor admisible</b>
<b>pH</b>	-	6.5-9
<b>Turbidez</b>	NTU	<5
<b>SST</b>	mg/L	<100
<b>Coliformes termotolerantes</b>	NMP/100 ml	1x10 <sup>4</sup>
<b><i>Salmonella sp.</i></b>	NMP/100 ml	1.0

*Nota:* Adaptado de ( Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Resolución número 1207 de 2014.*), ( Ministerio de Salud -. (1998). Decreto 0475 de 1998. *Diario Oficial*, 1998(43), 14).

#### **2.4.2. Normativas internacionales**

Las normativas desarrolladas para el reúso seguro de AG en diversos países han sido enfocadas con el fin de preservar la salud, y tener un menor impacto ambiental, destacando a Israel (Oron et al., 2014) por tener uno de los estándares más estrictos para el reúso de AG, mientras que Italia (MINISTRO DELL'AMBIENTE, 2006) aporta una guía más detallada, aunque su enfoque es el reúso de aguas residuales. En el contexto latinoamericano la única normativa es el “Proyecto De Reglamento Sobre Condiciones Sanitarias Básicas Para La Reutilización De Aguas Grises” de Chile, publicado en el año 2018 (Ministerio de Salud, 2018).

En el Apéndice A se observa que los reúsos más frecuentes encontrados en la normativa son: descarga de inodoros e irrigación de jardines exteriores (Health Canada, 2010). Otro uso permitido para las AG tratadas en la normativa australiana es el lavado de carros (Australian Capital Territory, 2007), mientras que en España (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural, 2010), Estados Unidos (EPA, 2012) e Israel (Ramon et al., 2004)

establecen otros usos sin restricción (i.e. agricultura, paisajismo) por ello sus criterios son más exigentes.

Las normas más adecuadas como guía según el enfoque de este estudio (reúso de AG tratadas a nivel residencial), son las vigentes en países como: Chile (Ministerio de Salud, 2018) ya que estipula usos del AG tratada a nivel urbano (i.e. descarga de inodoros, urinarios y riego de jardines privados) para el contexto latinoamericano, Italia (MINISTRO DELL'AMBIENTE, 2006) que presenta la guía más completa de parámetros a pesar de estar planteada para el reúso de aguas residuales, y Canadá (Health Canada, 2010), debido a que el uso de agua tratada está orientado a la descarga de inodoros. Según estos estándares encontrados en la revisión de literatura, se recomienda que los parámetros críticos del agua tratada deban ser los expuestos en la Tabla 2.

**Tabla 2**

*Valores de parámetros recomendados para agua gris tratada para descarga de inodoros.*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valores recomendados</b>
<b>pH</b>	-	6-9.5
<b>Turbidez</b>	UNT	<5
<b>DQO</b>	mg/L	<100
<b>DBO<sub>5</sub></b>	mg/L	<20
<b>SST</b>	mg/L	<15
<b>Coliformes fecales</b>	UFC/100ml	<10
<b><i>E. Coli</i></b>	UFC/100ml	<10
<b>Coliformes totales</b>	UFC/100ml	<100
<b>Cloro residual</b>	mg/L	0.5<X<2

*Nota:* Adaptado de ( Ministro Dell'ambiente. (2006). *Decreto 2 Maggio 2006- Norme Tecniche per il Riutilizzo delle Acque Reflue*), ( Health Canada. (2010). *Canadian Guidelines for Domestic Reclaimed Water for Use in Toilet and Urinal Flushing*), (Ministerio de Salud, 2018)

## 2.5. Tecnologías para el tratamiento de AG

Los tipos de tratamientos a los cuales son sometidas las AG están basados en una serie de procesos microbiológicos y fisicoquímicos (Avellaneda & Salcedo, 2019). Las tecnologías para el tratamiento de AG tienen el fin de eliminar contaminantes específicos, aplicadas a cada parte de la secuencia del tren de depuración (primaria, secundaria, terciaria). Los métodos físicos y químicos son aplicados para la filtración y desinfección de las AG, mientras que los métodos biológicos involucran una combinación de microorganismos con procesos aerobios y anaerobios (Oteng-Peprah et al., 2018). Estos trenes presentan múltiples combinaciones de tecnologías dependiendo de factores económicos, técnicos y ambientales (Jefferson et al., 2004).

El reto fundamental para el tratamiento son los riesgos para la salud, principalmente debido a la presencia de microorganismos patógenos, y riesgos ambientales por la presencia de diversos contaminantes (Maimon & Gross, 2018).

## 2.6. Selección de tecnologías

Assayed et al. (2014) y Nolde (2005) proponen criterios que tienen en cuenta diversos aspectos para una correcta selección de una unidad de tratamiento de AG.

- Factibilidad técnica: El tratamiento debe ser capaz de producir un efluente, que cumpla con estándares internacionales de AG. Debe utilizar tecnologías que no se encuentren en fases de desarrollo.
- Fiabilidad: Funcionamiento de manera continua, con pausas mínimas que no produzca malos olores.
- Espacio requerido: El tratamiento no debe requerir una gran área para funcionar.

- Requerimientos de instalación y mantenimiento: La tecnología debe ser amigable con el usuario y esta puede funcionar con un mantenimiento mínimo.
- Factibilidad económica: El costo del tren de tratamiento y su tiempo de retorno de inversión debe ser razonable.
- Tolerancia ambiental: La unidad de tratamiento puede funcionar en diferentes condiciones climáticas y tolerar el cambio de las características químicas y biológicas de las AG.
- Seguridad operacional e higiénica: Los componentes del tren deberán ser seguros de manejar, además deben tener un bajo potencial para la reproducción de vectores biológicos. Sumado a no permitir el contacto directo del operador con las AG.

Existen múltiples metodologías para la toma de decisiones, entre estas destacan el análisis de criterios múltiples, los métodos de toma de decisiones objetivas únicas y métodos de sistema de apoyo a las decisiones (ZHOU et al., 2006). Debido a la naturaleza interdisciplinar del tratamiento de aguas residuales, el método encontrado en la literatura más común para la selección de tecnologías es un análisis multicriterio (MADM) basado en la evaluación de diversos atributos en un conjunto finito de alternativas (Hwang & Yoon, 1981; Agudelo-Vera et al., 2013; Kaparos et al., 2015).

### **3. Metodología**

#### **3.1. Revisión de literatura**

##### **3.1.1. Búsqueda inicial**

Para la revisión de literatura se buscaron artículos científicos a través de las bases de datos proporcionadas por la UIS. Las plataformas seleccionadas fueron: Science Direct®,

Scopus® y Web of Science®. En base al mapa conceptual presentado en el Apéndice B, se establecieron ecuaciones para la consulta (Tabla 3), Realizando una búsqueda de artículos que estudien las características, tecnologías y reúso de las AG, con el fin de extraer, en paralelo, información para los dos primeros objetivos específicos planteados en la investigación.

**Tabla 3**

*Estructura de las ecuaciones de búsqueda*

<b>Criterio de Búsqueda</b>	<b>Ecuación de búsqueda</b>
General	("Greywater" OR "Graywater" OR "Grey water" OR "Gray water") AND (treatment OR technologies) AND (cost OR maintenance OR operation) AND (domestic OR buildings OR houses OR apartments OR urban OR cities OR residential) OR (handwash OR shower OR reuse OR "Toilet Flushing"))
Características	("Greywater" OR "Graywater" OR "Grey water" OR "Gray water") AND (characteristics OR characterization) AND (buildings OR houses OR apartments OR urban OR cities OR residential))

### **3.1.2. Filtración de los artículos**

Los artículos obtenidos en esta búsqueda primaria fueron compilados en el software Excel® combinando los resultados de cada consulta para su selección, de acuerdo a los objetivos del proyecto; en esta instancia se utilizaron 3 criterios para realizar el filtro

- **Filtro por título:** Se tomaron en cuenta los artículos que tuvieran en su título términos relacionados con: características de las AG, calidad de las AG, producción de las AG, tecnologías de tratamiento de AG.

- **Filtro por resumen:** A los artículos depurados por título se les realizó la lectura del resumen y se descartaron artículos que no tuvieran relación con los objetivos del proyecto.
- **Filtro por el contenido:** Finalmente se leyeron los artículos seleccionados y se descartaron documentos que no cumplieran con los parámetros establecidos. Respecto, de la caracterización de las AG se excluyeron aquellos que no presenten información de AG domésticas provenientes de duchas y lavamanos con un número no representativo de muestras analizadas (mínimo 5 muestras); mientras que, en el estudio de tecnologías para el tratamiento, se seleccionaron únicamente las aplicables a viviendas.

### ***3.1.3. Consolidación de datos***

Una vez leídos todos los artículos seleccionados (ver Apéndice C), se procedió a extraer la información necesaria para el desarrollo del proyecto.

### ***3.1.4. Consumo y calidad de AG***

Se clasificaron los datos encontrados en la literatura, en tablas que contienen valores de parámetros críticos de calidad y de producción para su posterior análisis.

### ***3.1.5. Tecnologías***

Se identificaron las tecnologías estudiadas por los diversos autores y se organizaron en una tabla (ver Apéndice D y E).

### **3.2. Caracterización de producción de las AG (Aforos)**

#### **3.2.1. Selección de la vivienda**

Después de realizar la revisión de literatura correspondiente, se escogió una vivienda del AMB, un apartamento que hace parte del conjunto residencial Balcón del Tejar, del barrio Portón del Tejar en la comuna 16 de la ciudad de Bucaramanga. En esta vivienda habitan 4 personas, todos mayores de edad y en un estrato socioeconómico 3.

La selección de la vivienda con este nivel socioeconómico se consideró pertinente porque representa aproximadamente el 30% de la población del AMB (Plan de Ordenamiento Territorial de Bucaramanga, 2014). Además, según estudios realizados con anterioridad en esta zona se encontró factibilidad y aprobación por este grupo poblacional (Avellaneda & Salcedo, 2019; Guerrero, 2017; Monroy & Zambrano, 2018).

#### **3.2.2. Protocolo de aforo**

En esta etapa se planteó un protocolo utilizando como referencia la metodología aplicada por Niño et al (Nino Rodríguez & Martínez Medina, 2013), a través de formatos (ver Apéndice F, G y H) donde se recolecta la información para la caracterización de AG en distintas zonas de la ciudad de Bogotá. Además, se tomaron como guía otros estudios realizados en diferentes países (Matos et al., 2013), (Al-Mughalles et al., 2012), (Chaillou et al., 2011). El procedimiento seguido y los materiales utilizados para la realización de los aforos se presentan en el Apéndice I.

#### **3.2.3. Análisis de datos**

Los datos obtenidos en los aforos se consolidaron en una hoja de Excel® para su análisis utilizando estadística descriptiva (media, desviación estándar, valores máximos y

mínimos). Así mismo, obtener cifras importantes de consumo, producción y parámetros críticos de las AGC.

### **3.3. Selección de tecnologías**

Para las fuentes escogidas anteriormente, la descarga de inodoros fue seleccionada como el principal uso del agua tratada para esta investigación, debido a que el consumo para esta actividad es muy cercana a la producción de AGC (Ekeren et al., 2016), (Jamrah et al., 2006).

Una vez recopilados los sistemas de tratamiento encontrados en la revisión de literatura, se seleccionaron los sistemas a evaluar según los siguientes criterios:

- La calidad de las AG antes del tratamiento, se priorizaron estudios con AG cruda, cuya baja carga contaminante se aproxime a los valores típicos planteados en este artículo.
- Presencia de procesos de desinfección, se descartaron trenes que no utilizaban procesos para la reducción de agentes patógenos.
- Entre los principales usos del agua tratada esté contemplado la descarga de inodoros.
- Priorización de estudios que presentaran una información más completa de remociones de parámetros críticos.
- Suprimir trenes que utilizaran tecnologías en fase de desarrollo.

Así mismo, se agregaron dos trenes propuestos y diseñados por los autores de este estudio (Ver Apéndice K y L), cuya implementación y evaluación a escala piloto no se llevó a cabo, producto de la emergencia sanitaria por COVID-19.

### **3.3.1. Selección de sistema de tratamiento óptimo**

El método utilizado para la selección del sistema de tratamiento que mejor se adapta al contexto de estudio fue el análisis multicriterio, con base en investigaciones realizadas para selección de tecnologías de tratamiento de aguas residuales en contextos residenciales por Agudelo-Vera et al. (2013) y Kaparos et al. (2015), donde se establecieron tres parámetros, que a su vez están divididos en diversos aspectos (Tabla 4). Se registraron valores correspondientes a criterios cualitativos y cuantitativos para su posterior normalización según las ecuaciones estipuladas en el Apéndice J.

Con esta normalización y ponderación, se realizó un gráfico de radar con los puntajes obtenidos para cada una de los trenes evaluados y se escogieron aquellas que su área se asemeje al gráfico original.

### **3.4. Parámetros de diseño para el sistema de tratamiento en viviendas del AMB**

Se establecieron observaciones para el diseño e implementación de los trenes de tratamiento seleccionados, acorde a lo planteado en proyectos previos (Avellaneda & Salcedo, 2019), (Monroy & Zambrano, 2018), (Guerrero, 2017). Además, se dieron recomendaciones para el diseño de un sistema de tratamiento de AGC, buscando la optimización de recursos ambientales, técnicos, económicos y la protección de la salud según directrices de diferentes autores (Oron et al., 2014), (Nolde, 2000), (Suárez et al., 2012).

**Tabla 4***Criterios de selección de tecnología.*

<b>Indicador</b>	<b>Unidades</b>
<b>Criterio 1. Ambiental</b>	
Requerimientos de energía para tratamiento	kWh/m <sup>3</sup>
Emisión de olores	3. No 1. Sí
Generación de lodos	3. No 1. Sí
<b>Criterio 2. Económico</b>	
Costos de instalación, operación y mantenimiento	3. Bajo 2. Medio 1. Alto
<b>Criterio 3. Técnico</b>	
Simplicidad de operación y mantenimiento (Cualitativo)	3. Alto 2. Medio 1. Bajo
Eficiencia remoción materia orgánica (DBO5)	3. Alto 2. Medio 1. Bajo
Eficiencia remoción sólidos suspendidos totales (SST)	3. Alto 2. Medio 1. Bajo
Eficiencia remoción coliformes fecales, coliformes totales y fecales	3. Alto 2. Medio 1. Bajo
Requerimiento de área para implantación del sistema	Número de etapas

*Nota:* Adaptado de ( Agudelo, C., Mels, A., & Braadbaart, O. (2007). Multi-criteria framework for the selection of urban sanitation systems. 2nd SWITCH Scientific Meeting, November, 10), (Kaparos, G., Katsiri, A., Katsiri, E., & Adreadakis, A. (2015). Performance evaluation of Grey Water Treatment Systems for Urban Use Performance evaluation of Grey Water Treatment Systems for Urban Use using Multi-criteria Analysis. November)

## 4. Resultados y discusión

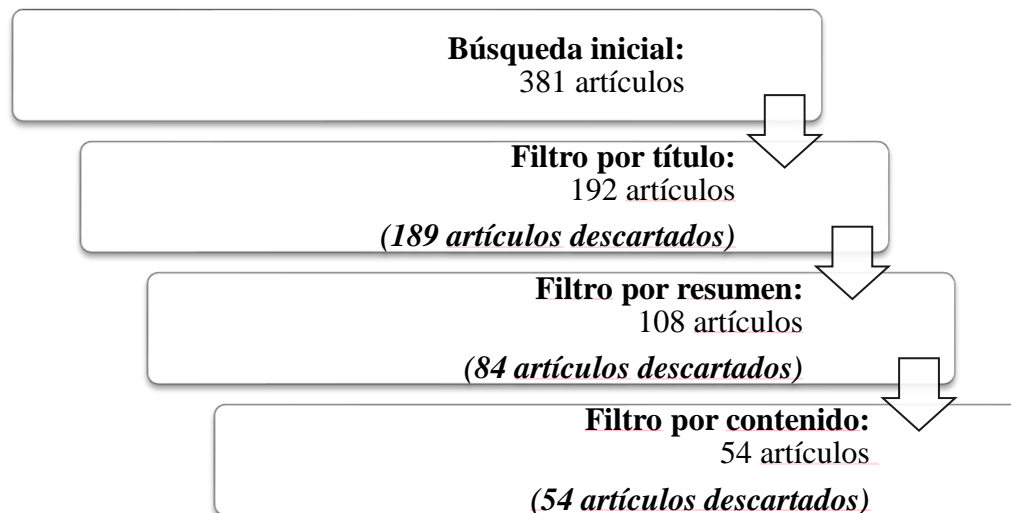
### 4.1. Revisión de literatura

#### 4.1.1. Filtro de documentos

Se realizó la búsqueda inicial de literatura encontrando un total de 381 artículos. Luego de aplicados los filtros por: título, resumen y contenido quedaron 192, 108 y 54 artículos, respectivamente, como se muestra en la Figura 1.

**Figura 1**

*Resultado filtro de artículos*

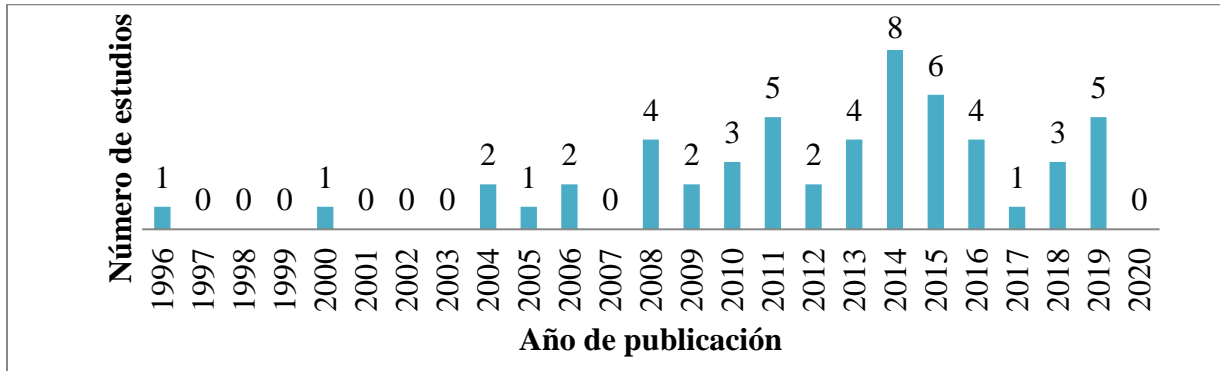


#### 4.1.2. Evolución y estado actual de los estudios

En la Figura 2, se observa que se ha presentado un aumento del interés en este campo de estudio respecto al inicio del siglo presente, reflejado en las investigaciones sobre las características de AGC y su tratamiento a nivel residencial. Sin embargo, la cantidad de artículos aún es baja, teniendo un máximo de 8 estudios publicados en el año 2014.

**Figura 2**

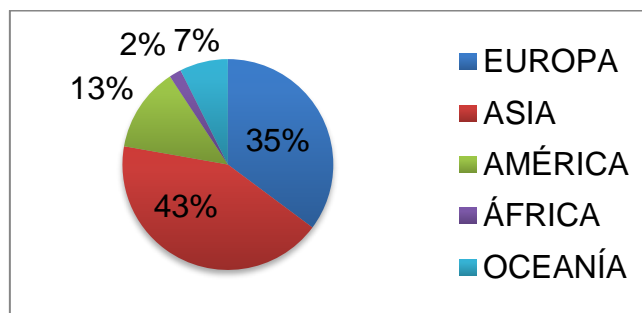
*Evolución de la cantidad de estudios por año*



El continente donde más se han desarrollado estudios sobre este tema de investigación ha sido Asia con un 43% de artículos publicados (23 de 54) (Figura 3), incluyendo a los 3 países con más cantidad de estudios realizados siendo: India, Jordania e Israel con 6, 5 y 5 artículos respectivamente. Para el resto de los continentes, la distribución de artículos desarrollados fue la siguiente: Europa con un 35%, América con un 13%, Oceanía con un 7% y África con un 2%.

**Figura 3**

*Cantidad de artículos por continente.*



Nota: n= 54

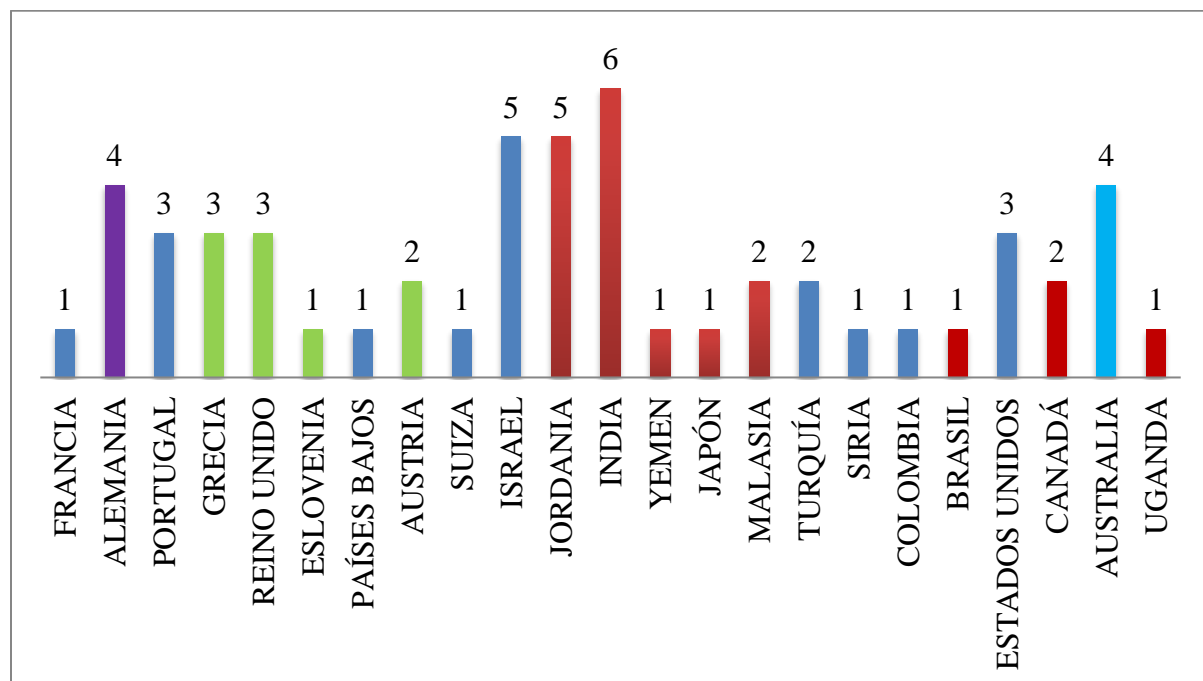
En el territorio nacional solo ha sido encontrado un estudio (Figura 4), realizado por el grupo de investigación GPH de la Universidad Industrial de Santander (Oviedo-Ocaña et al., 2018).

#### 4.1.3. Características fisicoquímicas de AG provenientes de duchas y lavamanos

En la Tabla 5, se presentan valores mínimos y máximos de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos más analizados de AG domésticas provenientes de duchas y lavamanos, compilados como resultado de la revisión de literatura; adicionalmente, en la Tabla 6 se muestra el número de datos utilizados para cada parámetro según su fuente. En esta se observa una alta variabilidad entre valores, debido a que las características AGC dependen de los productos de aseo personal y limpieza utilizados.

**Figura 4**

*Cantidad de estudios por país*



Además, de hábitos de consumo y condiciones demográficas de la vivienda en estudio (Jamrah & Ayyash, 2008). En el Apéndice M, se presentan datos adicionales (promedio, desviación estándar y número de muestras) utilizados para la caracterización.

A partir del resultado de la investigación de las características de calidad de las AG encontradas en la literatura se observa que:

- Existe una alta concentración de patógenos como *E. Coli*, *Enterococci*, *Salmonella*, entre otros (Chaillou et al., 2011; Jung et al., 2019); representando riesgos para la salud pública (Oron et al., 2014).
- Las AGC contienen aproximadamente el 25% de DQO y DBO<sub>5</sub> respecto a las AG domésticas (Chaillou et al., 2011); a pesar de esto, se presentan altas concentraciones debido al uso de jabones, champús y otros productos de uso personal (Chaillou et al., 2011; Jefferson et al., 2004).
- Los valores promedio de nitrógeno total de las AGC (8.12 mg/L) y sus respectivas fuentes, ducha (7.80 mg/L) y lavamanos (12.27 mg/L), son relativamente bajos comparados con los de AG, presentados en la revisión bibliográfica de Avellaneda & Salcedo (2019) (28.70 mg/L). Esto se debe a la alta concentración de NT de las AG provenientes de cocina con un aporte estimado de 18.85mg/L.
- Para el fósforo, los valores promedio encontrados para AGC (0.4 mg/L), ducha (1.10 mg/L) y lavamanos (2.25 mg/L), son menores a los presentados en la revisión bibliográfica de Avellaneda & Salcedo (2019) para AG (9.45 mg/L), debido a la exclusión de agua proveniente de Lavandería cuya alta presencia de detergentes y otros productos de limpieza contribuyen a una concentración alta de PT.

**Tabla 5**

*Valores máximos, mínimos y medios de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las AG encontrados en la literatura*

Parámetros	Unidades	Ducha				Lavamanos				AGC			
		Mín.	Máx.	Media	DE	Mín.	Máx.	Media	DE	Mín.	Máx.	Media	DE
pH	-	6.70	8.00	7.35	0.40	7.00	7.97	7.26	0.36	6.13	7.47	6.96	0.61
Turbidez	UNT	35.20	540.00	169.96	211.94	164.00	197.00	180.50	23.33	20.59	100.60	60.60	56.58
DQO	mg/L	77.00	654.00	389.85	215.32	190.23	1171.00	506.21	405.74	148.03	451.00	292.81	150.05
DBO <sub>5</sub>	mg/L	40.20	444.00	191.91	150.56	121.67	568.00	262.42	206.58	49.00	349.00	171.00	126.69
SST	mg/L	63.00	303.00	188.25	112.98	61.00	288.13	202.71	123.59	15.00	81.00	45.34	33.32
COT	mg/L	24.62	399.00	152.23	169.09	99.00	335.00	184.33	130.86	33.62	1100.00	402.07	604.74
Coliformes fecales	UFC/100 ml	6.40.E+01	4.00.E+06	1.02.E+06	1.99.E+06	3.33.E+02	3.53.E+03	1.93.E+03	2260.62	8.20.E+04	8.20.E+04	8.20.E+04	-
<i>E.Coli</i>	UFC/100 ml	1.49.E+03	4.76.E+05	2.39.E+05	3.36.E+05	1.00.E+01	1.00.E+01	1.00.E+01	-	2.02.E+03	4.50.E+05	2.26.E+05	3.17.E+05
Coliformes totales	UFC/100 ml	3.00.E+02	2.22.E+05	8.37.E+04	1.21.E+05	5.43.E+04	5.43.E+04	5.43.E+04	-	4.90.E+06	1.35.E+08	8.33.E+07	6.90.E+07
Nitrógeno Total	mg/L	2.40	10.60	7.80	3.68	10.40	14.13	12.27	2.64	7.50	8.73	8.12	0.87
Fósforo Total	mg/L	0.42	1.67	1.10	0.63	2.25	2.25	2.25	-	0.40	0.40	0.40	-

*Nota: DE: Desviación estándar, Adaptado de (Antonopoulou et al., 2013; Boyjoo et al., 2012; Chaillou et al., 2011; Craig & Richman, 2018; E. Friedler, 2004; Ghunmi et al., 2008a; Jamrah et al., 2006; Jamrah & Ayyash, 2008; Jefferson et al., 2004; Matos et al., 2013; Nolde, 2000; Oktor & Çelik, 2019; Santos et al., 2014; Teh et al., 2015; Yu et al., 2016)*

**Tabla 6**

*Número de datos de parámetros por fuente utilizados para identificar las características fisicoquímicas y microbiológicas de las AG encontrados en la literatura*

<b>Fuentes</b>	<b>pH</b>	<b>Turbidez</b>	<b>DQO</b>	<b>DBO5</b>	<b>SST</b>	<b>COT</b>	<b>Coliformes fecales</b>	<b><i>E.Coli</i></b>	<b>Coliformes totales</b>	<b>Nitrógeno Total</b>	<b>Fósforo Total</b>
<b>Ducha</b>	11	5	10	8	4	4	4	2	3	4	3
<b>Lavamanos</b>	6	2	5	4	3	3	2	1	1	2	1
<b>AGC</b>	4	2	5	4	3	3	1	2	3	2	1

*Nota:* Adaptado de (Antonopoulou et al., 2013; Boyjoo et al., 2012; Chaillou et al., 2011; Craig & Richman, 2018; E. Friedler, 2004; Ghunmi et al., 2008a; Jamrah et al., 2006; Jamrah & Ayyash, 2008; Jefferson et al., 2004; Matos et al., 2013; Nolde, 2000; Oktor & Çelik, 2019; Santos et al., 2014; Teh et al., 2015; Yu et al., 2016)

- Los valores de pH presentados en los diversos estudios se encuentran cercanos al valor neutro (6.13-7.47) (Tabla 5).
- Otra consecuencia del uso de diversos artículos para el aseo personal es el alto rango de valores de turbidez (20-540 UNT) (Tabla 5). Con valores promedio para AGC, ducha y lavamanos de: 196.96 UNT, 180 UNT y 60.60 UNT respectivamente, pero siendo menores a los presentados en la revisión de literatura realizada por Avellaneda & Salcedo (2019), para AG provenientes de lavandería y cocina (363.3 UNT, 385 UNT y 326.30 UNT).
- Las fuentes de AGC (ducha y lavamanos) presentan una menor cantidad promedio de SST 188.25 mg/L y 202.71 mg/L respectivamente, en comparación con fuentes de otros estudios realizados, como la cocina (314.01 mg/L), con una diferencia aproximada de 100 mg/L (Avellaneda & Salcedo, 2019).
- No se encontraron valores de grasas y aceites, esto puede ser relacionado con la exclusión de AG proveniente de actividades de cocina, por tanto, se puede presentar una disminución drástica de las cantidades de estos contaminantes.

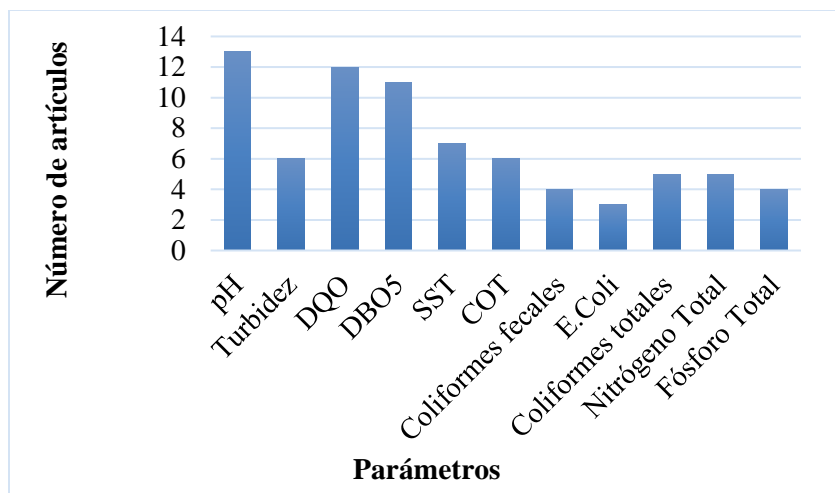
En la Figura 5, se observa que los parámetros más estudiados según la literatura son: el pH, SST, DQO y DBO<sub>5</sub>.

De acuerdo a la revisión de literatura realizada, y el análisis de las características fisicoquímicas y microbiológicas de las AGC, es evidente la necesidad de un tratamiento físico y biológico para reducir valores de: turbidez, SST, DBO<sub>5</sub> y DQO (Chaillou et al., 2011), (Nolde, 2000), (Arunbabu et al., 2015), (EPA, 2012). Además, debido a la presencia de patógenos (i.e. *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Enterococci*) que son un riesgo para la salud humana, son de vital

importancia los procesos de desinfección con el fin disminuir su presencia y evitar el recrecimiento en las AG tratadas [11], [33], (Oktor & Çelik, 2019), (E Friedler et al., 2005).

## Figura 5

*Parámetros estudiados en la literatura*



### 4.1.4. Producción de AG provenientes de duchas y lavamanos

#### 4.1.4.1. Caracterización de la vivienda.

Los aforos se realizaron en una vivienda unifamiliar del AMB, habitada por 4 personas adultas con rango de edad entre 20 y 70 años. La vivienda cuenta con un área de 69 metros cuadrados (m<sup>2</sup>) dividida en: 3 habitaciones, cocina, zona de lavado de ropas, sala y 1 baño donde se encuentran las fuentes de producción (1 ducha y 1 lavamanos) de AGC. En el Apéndice F, se presentan los planos de la vivienda e información de los puntos de recolección de las AGC.

#### 4.1.4.2. Cantidad de AGC producidas.

Debido a la situación de emergencia sanitaria de 2020, periodo en el cual se desarrolló parte de este proyecto, los datos obtenidos de producción de AGC se analizaron por separado. Siendo la primera semana de aforos antes de la cuarentena, en condiciones normales donde una sola persona

permanecía en la vivienda durante todo el día, mientras que la segunda semana de aforos se realizó en el tiempo de confinamiento, durante el cual todos los residentes estuvieron la mayoría del tiempo en la vivienda. En la Tabla 7, se presentan consumos promedios diarios registrados en los aforos.

Se observa que entre la primera y segunda semana de aforos se presentó una diferencia aproximada de 37.43 L/día en el consumo promedio diario total. De la misma manera, el consumo de las duchas varió en 14.84 L/día aproximadamente. Por otra parte, se presentó una diferencia notable en el consumo de agua del lavamanos para las dos condiciones, aumentando el consumo durante el periodo de cuarentena 1.7 veces respecto a la primera semana posiblemente como resultado de los protocolos de bioseguridad establecidos para disminuir la posibilidad de contagios de COVID-19 que promueven un uso más frecuente del lavamanos durante la emergencia sanitaria (Tabla 7).

**Tabla 7**

*Aportes de ducha y lavamanos al consumo promedio total de agua*

Fuente	Consumo promedio diario [L/día]		Porcentaje (%)	
	S1	S2	S1	S2
Agua Potable	698.57	736.00	100.00	100.00
Ducha	113.10	127.94	16.19	17.38
Lavamanos	19.40	33.00	2.78	4.48
AGC	132.50	160.94	18.97	21.87
Descarga de inodoros	-	114.00	-	15.49

*Nota: S1: Semana 1 S2: Semana 2*

Debido a los hábitos de consumo en condiciones normales, en la primera semana se registró un gasto máximo de agua tanto para la ducha como para el lavamanos en la franja horaria de 6:00 - 7:00, con un promedio diario de 29.89 L, seguido de 22:00 – 23:00 con 14.5 L, 8:00-9:00 con 13.92 L y 16:00-17:00 con 13.61 L. Estos horarios de consumo máximo son consecuencia

principalmente del aporte de la ducha que es apreciablemente mayor que el aporte del lavamanos (ver Apéndice Q). En cuanto a los consumos registrados durante el confinamiento, se observó un consumo máximo promedio diario de 43.98 L en el horario de 7:00-8:00, seguido de un consumo de 29.7 L en la franja de 8:00-9:00 y un tercer pico de consumo de 20.74 L entre las 16:00 y 17:00 horas (ver Apéndice R).

En la Tabla 8, se presentan valores máximos y mínimos de consumos de agua extraídos de la revisión de literatura.

**Tabla 8**

*Comparación de aforos con consumos máximos, mínimos y promedios de la literatura*

Fuente	Consumo [L/día-persona]				
	Aforos			Literatura	
	S1	S2	Media	Mín.	Máx.
<b>Ducha n=13</b>	28.27	31.99	30.13	13.20	57.60
<b>Lavamanos n=10</b>	4.85	8.25	6.55	4.67	28.00
<b>Descarga de inodoros n=13</b>	-	28.50	28.50	7.50	59.40

*Nota:* **S1:** Semana 1; **S2:** Semana 2; Adaptado de (Abu Ghunmi et al., 2011; Al-Mughalles et al., 2012; Antonopoulou et al., 2013; Craig & Richman, 2018; E. Friedler, 2004; Jamrah et al., 2006; Jamrah & Ayyash, 2008; Li et al., 2009; Mandal et al., 2011; Matos et al., 2013, 2010; Mourad et al., 2011; Oron et al., 2014; Zadeh et al., 2014).

El valor promedio de consumo (30.13 L/persona-día) de duchas obtenido en este estudio es cercano a los encontrados en la literatura, especialmente en países como: India (Mandal et al., 2011) con 30 L/persona-día, Yemen (Al-Mughalles et al., 2012) con 32.17 L/persona-día y Grecia (Antonopoulou et al., 2013) con 33.9 L/persona-día. Por otra parte, se presenta una alta diferencia respecto a consumos registrados en países como: Reino Unido (Zadeh et al., 2014) con 57.6 L/persona-día donde el gasto es aproximadamente el doble. Por el contrario, Siria (Mourad et al.,

2011) registra un consumo de 13.56 L/persona-día siendo menos de la mitad del medido en esta investigación

El valor promedio registrado del consumo para lavamanos en la primera semana es menor respecto a los encontrados en la mayoría de la literatura, aproximándose al valor reportado en Yemen (Al-Mughalles et al., 2012) de 4.67 L/persona-día que fue el menor encontrado. Esto puede estar vinculado a la escasez de agua potable en países desérticos. Mientras que para la segunda semana el consumo promedio registrado se acercó a los valores tomados en: Grecia (Antonopoulou et al., 2013) con 8.6 L/persona-día y Portugal 2010 con 10.4 L/persona-día. No obstante, estos dos gastos promedios semanales son mucho menores a las estimaciones reportadas en Jordania (Ghunmi et al., 2008b) de 28 L/persona-día, seguido de 17 L/persona-día para Portugal 2013 (Matos et al., 2013).

Se observa que el valor promedio para descargas de inodoros (28.5 L/persona-día) se asemeja a valores presentados en Reino Unido (Zadeh et al., 2014) con un gasto promedio de 28.8 L/persona-día, Alemania (Nolde, 2000) con 26.5 L/persona-día e India (Mandal et al., 2011) con 25 L/persona-día. Por otra parte, la cantidad de agua requerida en Jordania (Jamrah & Ayyash, 2008), aproximadamente de 16 L/persona-día, al igual que en Canadá (Craig & Richman, 2018) con 21 L/persona-día y Portugal 2013 (Matos et al., 2013) con 20.79 L/persona-día, es baja frente al promedio obtenido en este estudio. En contraposición, el gasto encontrado en Grecia (Antonopoulou et al., 2013) de 59.4 L/persona-día es mucho mayor en comparación con el resto de estudios. Esto puede deberse al uso de bañeras, poco comunes en países en vía de desarrollo. Nolde (2000), afirma en su estudio realizado en el año 2000 en Alemania, que las AGC tratadas pueden ser utilizadas para la descarga de inodoros debido a que existe un equilibrio entre la demanda de agua para descarga de inodoros y las AGC provenientes de duchas y lavamanos. Esta

afirmación se ajusta a los resultados en este estudio, siendo la producción de AGC mayor que los requerimientos para descarga de inodoros incluso en la semana de mayor demanda.

En el Apéndice T, se encuentra la tabla con los datos de los estudios de producción de AG encontrados en la revisión de literatura.

#### **4.2. Selección de tecnologías**

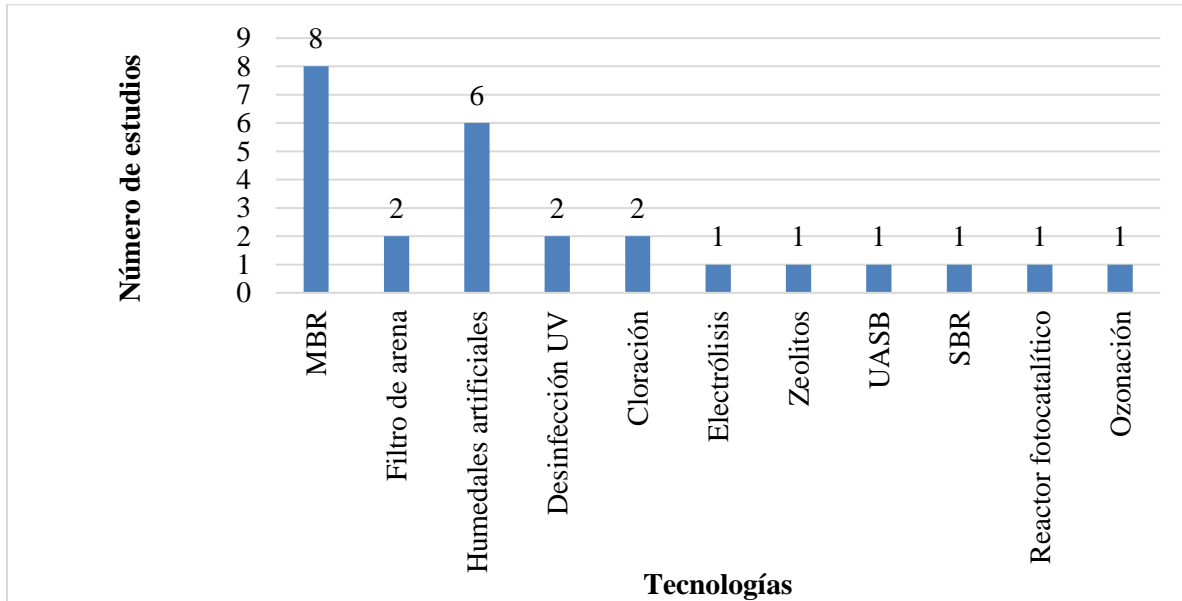
En la revisión de literatura se encontraron 35 artículos acerca del tratamiento de las AG enfocados en reúso para la descarga de inodoros. Nueve documentos estaban centrados en trenes de tratamiento, mientras que 26 estudiaban tecnologías específicas (ver Apéndice D y E).

La mayoría de los estudios abordó la tecnología de Reactores biológicos de membrana (MBR), con el objetivo de buscar alternativas para reducir su alto costo económico y gasto energético. En segundo lugar, se obtuvo una alta frecuencia de estudios relacionados con los humedales artificiales, buscando aumentar su eficiencia y disminuir su área requerida. La Figura 6 presenta las tecnologías encontradas en los artículos leídos.

Los sistemas de tratamiento encontrados en la revisión de literatura según los criterios planteados, se presentan a continuación en la Tabla 9, se decidió evaluar trenes con tecnologías como MBR y RBC, a pesar de que su implementación no es factible a nivel residencial debido a que podrían ser aplicables en un futuro. Así mismo, se agregaron los dos trenes propuestos por los autores de este estudio con el fin de comparar una tecnología convencional de filtración con arena y una membrana de ultrafiltración con tecnología moderna.

**Figura 6**

*Tecnologías encontradas en la literatura*



#### 4.3. Selección de sistema de tratamiento óptimo

Después de escogidos los trenes a evaluar se aplicó el método de selección multivariable, utilizando como principal referencia las fichas de caracterización de cada tecnología presentadas en el Apéndice U, las cuales se elaboraron como resultado de la revisión de literatura y una búsqueda de información en artículos adicionales y páginas web como: (*Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM)*) y (*Centre for Affordable Water and Sanitation Technology (CAWST)*).

Para el primer aspecto del criterio ambiental, donde se analizó el consumo energético, en los casos en que no se encontró información acerca del gasto de energía para el tren evaluado, se realizó una estimación sumando el gasto encontrado para cada tecnología. En la Tabla 10 se presentan los valores asignados al criterio ambiental.

**Tabla 9***Sistemas a evaluar seleccionados*

<b>Tren</b>	<b>Etapas del tratamiento</b>
(E. Friedler et al., 2006) MBR + DC	Biorreactor de membrana + Desinfección con cloro
(E. Friedler et al., 2006) RBC+SD+FA+DC	RBC + Sedimentación + Filtro de arena + Desinfección con cloro
(Teh et al., 2015) TA+DH <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Tanque de aireación + Desinfección con peróxido de hidrógeno
(Nolde, 2000) SD+RBC+DUV	Sedimentación + RBC + Desinfección UV
(Gour & Batra, 2019) TA+FA+DC	Tanque de aireación + Filtro de arena + Desinfección con cloro
[Este estudio] SD+FA+DC	Sedimentación + Filtro de arena + Desinfección con cloro
[Este estudio] SD+MUF+DC	Sedimentación + Membrana de Ultrafiltración + Desinfección con cloro

*Nota:* Adaptado de (Nolde, E. (2000). Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings - over ten years experience in Berlin. *Urban Water*, 1(4), 275–284); (Friedler, E, Kovalio, R., & Galil, N. I. (2005). On-site greywater treatment and reuse in multi-storey buildings. In *Water Science and Technology* (Vol. 51, Issue 10, pp. 187–194); Gour, K., & Batra, P. (2019). Physicochemical characterization of grey water and treatment. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(8))

En la Tabla 11 se evaluó el criterio económico, con base en la información presentada en las fichas de caracterización.

**Tabla 10***Valores asignados criterio ambiental*

<b>Tren</b>	<b>Energía (kWh/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Emisión de olores</b>	<b>Generación de lodos</b>
<b>MBR + DC</b>	1.7	3.0	3.0
<b>RBC+SD+FA+DC</b>	1.2	1.0	1.0
<b>TA+DH<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b>	0.5	3.0	3.0
<b>SD+RBC+DUV</b>	1.5	1.0	1.0
<b>TA+FA+DC</b>	0.5	3.0	3.0
<b>SD+FA+DC</b>	0.0	3.0	1.0
<b>SD+MUF+DC</b>	0.0	3.0	1.0

*Nota: Sí=1; No=3*

La asignación de valores para criterios técnicos, se realizó evaluando parámetros acerca de simplicidad de operación y manejo, sumado a su desempeño en la remoción de contaminantes. Por último, el área requerida para la implementación del sistema. La simplicidad de operación y manejo se evaluó con base en las fichas de caracterización (ver Apéndice U). Respecto a la eficiencia de las remociones, se decidió evaluar este desempeño de manera cualitativa debido a que el afluente de AGC a tratar varía su calidad y cantidad para cada estudio. Se asignaron valores realizando una comparación entre la calidad del efluente del sistema de tratamiento correspondiente (ver Apéndice V), con los valores recomendados de parámetros de calidad de AGC tratada para reúso en inodoros presentados en la Tabla 2 .

En el Apéndice V se observa que para el efluente del tren (MBR + DC), los SST presentan una concentración de 12 mg/L, que a pesar de no cumplir con el valor recomendado (<10 mg/L) (Tabla 2), su diferencia no es tan alta (2 mg/L). Por ello, se considera que su efectividad removiendo este parámetro es buena.

**Tabla 11***Valores asignados criterio económico*

<b>Tren</b>	<b>Costos de instalación, O&amp;M</b>
<b>MBR + DC</b>	1
<b>RBC+SD+FA+DC</b>	1
<b>TA+DH<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b>	2
<b>SD+RBC+DUV</b>	1
<b>TA+FA+DC</b>	2
<b>SD+FA+DC</b>	3
<b>SD+MUF+DC</b>	2

*Nota:* **O&M:** Operación y mantenimiento; **Bajo=3; Medio=2; Alto=1**

El valor presentado de DQO para el efluente (114 mg/L), del tren de Teh (Teh et al., 2015) (TA+DH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), que no cumple con la concentración recomendada (<100 mg/L)(ver Apéndice V); sin embargo, el afluente presenta mayor contaminación por este parámetro (445 mg/L) comparado con los demás trenes evaluados (69-211 mg/L) (ver Apéndice V), siendo aproximadamente el doble. Además de lo mencionado, el mayor problema del tren estudiado por Teh (Teh et al., 2015) es la remoción insuficiente de los coliformes totales por parte del peróxido de hidrógeno, considerando que el agua cruda está bastante contaminada (3.87 x10<sup>7</sup> UFC/100ml) y su efluente presenta una concentración de 4x10<sup>6</sup> UFC/100ml (ver Apéndice V), estando muy lejos de cumplir la normativa (<100 UFC/100ml).

Debido que los trenes propuestos por los autores de estudio no fueron evaluados, para la asignación de valores de remociones en el tren (SD+MUF+DC), se consultó por separado el desempeño de las tecnologías que lo conforman (ver Apéndice V). Mientras que para la unidad de

tratamiento (SD+FA+DC), se encontraron datos para un tren compuesto por las mismas tecnologías (ver Apéndice V), observando que sus remociones no cumplen con los estándares para el uso de AGC tratada. También se observó que la ultrafiltración presenta mayores remociones de DBO<sub>5</sub>, DQO y SST que el filtro de arena (ver Apéndice V).

En la asignación de valores respecto al área requerida para los trenes de tratamiento, se utilizó como unidad de evaluación el número de etapas que componen cada tren. Considerando que los caudales de AGC a tratar son relativamente pequeños (aprox. 160 L/día), por ende, el área requerida para cada tecnología es baja y no existe una diferencia notable entre estas.

Los resultados obtenidos de la asignación de valores según los criterios técnicos se presentan en la Tabla 12.

**Tabla 12**

*Valores asignados criterio técnico*

Tren	Simplicidad O&M	DBO <sub>5</sub>	SST	MP	Área (Número de etapas)
<b>MBR + DC</b>	1	3	2	3	2
<b>RBC + SD + FA + DC</b>	1	3	3	3	4
<b>TA + DH<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b>	2	2	3	1	2
<b>SD + RBC + DUV</b>	1	2	3	2	3
<b>TA + FA + DC</b>	3	2	3	3	3
<b>SD + FA + DC</b>	3	1	1	3	3
<b>SD + MUF + DC</b>	3	1	2	3	3

*Nota:* **MP:** Microorganismos patógenos (Coliformes totales, coliformes fecales y *E. Coli*); **Alto**=3; **Medio**=2; **Bajo**=1

Después de realizadas las evaluaciones de los parámetros, se normalizaron los valores según las fórmulas presentadas en el Apéndice J. Por último, estos se presentan en el Apéndice W y se sintetizaron en la Tabla 13.

En la Tabla 13, se presentan los puntajes totales obtenidos del desempeño de los trenes evaluados. Además, en el Apéndice X se muestran a través de un gráfico de radar. Se observa que la unidad de tratamiento con mayor puntaje obtenido es el estudiado por Gour 2019 (Gour & Batra, 2019) (Tanque de aireación + Filtro de arena + Desinfección con cloro), presentando un buen índice de remociones y cumpliendo con los parámetros de calidad de las AG tratadas establecidos (Ver Apéndice V). Siendo una opción económica comparada con los demás trenes evaluados; por otro lado, necesita una operación y un mantenimiento relativamente sencillos con un gasto energético menor que sistemas con MBR y RBC.

**Tabla 13**

*Puntaje total obtenido por tren*

<b>Tren</b>	<b>CA</b>	<b>CE</b>	<b>CT</b>	<b>TOTAL</b>
MBR + DC	66.67	0.00	70.00	136.67
RBC + SD + FA+DC	9.80	0.00	60.00	69.80
TA + DH <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	90.20	50.00	60.00	200.20
SD + RBC + DUV	3.92	0.00	50.00	53.92
TA + FA + DC	90.20	50.00	80.00	220.20
SD + FA + DC	66.67	100.00	50.00	216.67
SD + MUF + DC	66.67	50.00	60.00	176.67

*Nota:* **CA:** Criterio ambiental; **CE:** Criterio económico; **CT:** Criterio técnico

Del mismo modo, otras opciones interesantes según la evaluación realizada son los trenes compuestos por: (TA+DH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), (SD+FA +DC) y (SD+MUF +DC). Mientras que los trenes que contenían MBR o RBC presentaron un desempeño bajo debido a sus altos costos de instalación y su gasto energético elevado.

#### 4.4. Recomendaciones de diseño e implementación del sistema

De la evaluación anterior se observa que el tren más adecuado para implementar a nivel residencial es el propuesto por Gour (Gour & Batra, 2019) que comprende los procesos TA+FA+DC, recomendando su estudio e implementación en un futuro para viviendas en el AMB.

De igual manera, el tren de Teh [51] podría ser aplicable con los estudios suficientes acerca de características de AGC para el AMB; además, podría ser necesario agregar etapas adicionales de desinfección para garantizar una mayor remoción de microorganismos patógenos.

Tecnologías como RBC y MBR no son factibles a nivel residencial; por ello, es necesario una optimización futura para la reducción de sus costos, sumado a la simplificación de su operación y mantenimiento.

Finalmente, los trenes que fueron propuestos y diseñados en este estudio: (SD+FA+DC) y (SD+MUF +DC) (ver Apéndice K y L), podrían ser aplicables en un contexto del AMB, considerando que no se cuenta información acerca de la calidad del afluente. Sin embargo, su efluente podría no cumplir con los criterios para el reúso, por lo que sería necesario agregar una etapa con un proceso biológico que genere un aumento en la remoción de materia orgánica. Según Chaillou (Chaillou et al., 2011), el carbón activado es una tecnología prometedora para este aspecto, si esta actúa después de un proceso de filtración.

Los sistemas de tratamiento no solo abarcan el uso de tecnologías con procesos físicos, químicos y biológicos, según Oron (Oron et al., 2014) y Suárez (Suárez et al., 2012) estos están conformado principalmente por los siguientes componentes: sistema de recolección; tren de tratamiento; almacenamiento de la AGC tratada; componente de bombeo (desde el sistema de recolección hasta el sistema de distribución) y mantenimiento del sistema. Teniendo en cuenta lo

anterior, algunas recomendaciones importantes encontradas en la literatura para el diseño e implementación de un sistema de tratamiento de AG en una vivienda son las siguientes:

- Realizar una caracterización completa de la vivienda (número de pisos, espacio disponible para el sistema de tratamiento, ubicación de las duchas, lavamanos e inodoros conectados al sistema), para un óptimo diseño de la red de tuberías y bombas (Alfiya et al., 2013).
- Debe existir una válvula de separación que dirija excesos de AGC al sistema de alcantarillado (Alfiya et al., 2013).
- Implementar válvulas que controlen la presión y el caudal, tanto al inicio como al final de cada componente del sistema.
- Evitar contacto directo entre los residentes de la vivienda y el AGC cruda (Oron et al., 2014).
- Garantizar la separación de redes de tuberías para que las AGC tratadas no se mezclen con el agua potable (Nolde, 2000), (Nolde, 2005).
- Asegurar un nivel de cloro residual, para evitar riesgos generados por microorganismos patógenos (Ekeren et al., 2016).
- Bombas, tuberías y tanques deben ser diseñados y diferenciados correctamente con colores, además de protegidos contra un uso no autorizado (Nolde, 2005), (Oron et al., 2014).

Por otro lado, el principal reto de la aplicación de un sistema de tratamiento de AG en una vivienda privada es garantizar un efluente de calidad durante el mayor periodo de tiempo posible y evitar sobrecostos, considerando que esta responsabilidad recae sobre sus residentes. Por esta razón es necesario realizar una revisión documentada de la operación y mantenimiento del sistema al menos una vez al año, teniendo en cuenta los siguientes aspectos sugeridos en la literatura:

- Calidad del afluente, se debe constatar que su carga contaminante se mantiene entre el rango esperado y descartar la existencia de filtraciones de otros flujos de aguas residuales.
- Calidad del efluente bajo los parámetros establecidos en la normativa, debido al riesgo de salpicadura y contactos con el AGC tratada (Christova-Boal et al., 1996).
- El tiempo de almacenamiento del agua tratada en el tanque del inodoro no debe ser mayor que el usual(12h-24h), debido a que se puede presentar degradación biológica y producir malos olores (Christova-Boal et al., 1996).

## 5. Conclusiones

Las AGC se caracterizaron por una alta variabilidad, predominando parámetros como: DBO<sub>5</sub>, DQO, SST y *E. Coli*. Dicha variabilidad se asocia a las condiciones particulares del contexto de estudio tales como hábitos, uso y tipo de productos de limpieza. Esto muestra la necesidad de hacer estudios específicos en el contexto del AMB, acerca de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las AGC, además de características de su producción (consumo promedio diario, consumos horarios, consumo para las fuentes de AGC, demanda de la descarga de inodoros). Esta información es de vital importancia, para determinar de manera más precisa tratamientos y posibles reúsos.

La producción de aguas grises provenientes de lavamanos y duchas representan 20.42% del consumo total de la vivienda. Esta producción satisface los requerimientos de uso de agua gris tratada para descarga de inodoros que necesita 114 L/día. Este reuso para las AG, es uno de los más comunes establecidos en la normativa internacional, por ejemplo, la de países como: Chile (Ministerio de Salud, 2018), Italia (MINISTRO DELL'AMBIENTE, 2006) y Canadá (Health

Canada, 2010), que fueron utilizadas en esta investigación. No obstante, es necesaria la creación de una normativa colombiana para el control y estudio de futuros sistemas de tratamiento.

Las tecnologías de mayor aplicación para el tratamiento de AG claras son: filtro de arena, MBR, RBC, desinfección con cloro. Se estructuraron cinco trenes de tratamiento a partir de revisión de literatura y se estructuraron dos trenes adicionales considerando la implementación de un modelo experimental de tecnología de UF debido a su nulo consumo de energía y su mayor remoción comparándolo con una tecnología convencional de filtración con arena. Según el índice de remociones, tecnologías como MBR y RBC son altamente efectivas eliminando contaminantes, sin embargo, sus principales problemas son el alto gasto energético y costos elevados de instalación, operación y mantenimiento, aunque su aplicación en el AMB podría ser factible en un futuro cuando se optimicen estos aspectos.

El principal reto de la aplicación de un sistema de tratamiento de AGC a nivel residencial en el AMB es garantizar su correcto funcionamiento bajo los parámetros de diseño, realizando un mantenimiento que asegure un efluente que no represente un riesgo para la salud humana.

### Referencias

- Abdel-Kader, A. M. (2013). Studying the efficiency of grey water treatment by using rotating biological contactors system. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*.  
<https://doi.org/10.1016/j.jksues.2012.05.003>
- Abu Ghunmi, L., Zeeman, G., Fayyad, M., & van Lier, J. B. (2011). Grey water biodegradability. *Biodegradation*, 22(1), 163–174. <https://doi.org/10.1007/s10532-010-9385-5>  
Cited By :15Export Date: 20 May 2020
- Agudelo-Vera, C. M., Keesman, K. J., Mels, A. R., & Rijnaarts, H. H. M. (2013). Evaluating the potential of improving residential water balance at building scale. *Water Research*, 47(20), 7287–7299. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.10.040>  
Cited By :13Export Date: 20 May 2020
- Agudelo, C., Mels, A., & Braadbaart, O. (2007). Multi-criteria framework for the selection of urban sanitation systems. *2nd SWITCH Scientific Meeting, November, 10*.
- Al-Mughalles, M. H., Rahman, R. A., Suja', F. B., Mahmud, M., & Jalil, N. A. (2012). Household greywater quantity and quality in Sana'a, Yemen. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 17 H, 1025–1034. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84861177255&partnerID=40&md5=7d2a5794ed37e417749fa93db5a4c239>  
Cited By :8Export Date: 20 May 2020
- Alfiya, Y., Gross, A., Sklarz, M., & Friedler, E. (2013). Reliability of on-site greywater treatment systems in Mediterranean and arid environments - A case study. *Water Science and Technology*, 67(6), 1389–1395. <https://doi.org/10.2166/wst.2013.687>  
Cited By :17Export Date: 20 May 2020
- Antonopoulou, G., Kirkou, A., & Stasinakis, A. S. (2013). Quantitative and qualitative greywater

characterization in Greek households and investigation of their treatment using physicochemical methods. *Science of the Total Environment*, 454–455, 426–432. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.03.045>

Cited By :37Export Date: 20 May 2020

Arunbabu, V., Sruthy, S., Antony, I., & Ramasamy, E. V. (2015). Sustainable greywater management with *Axonopus compressus* (broadleaf carpet grass) planted in sub surface flow constructed wetlands. *Journal of Water Process Engineering*, 7, 153–160. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2015.06.004>

Cited By :12Export Date: 20 May 2020

Assayed, A., Chenoweth, J., & Pedley, S. (2014). Drawer compacted sand filter: A new and innovative method for on-site grey water treatment. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 35(19), 2435–2446. <https://doi.org/10.1080/09593330.2014.909886>

Cited By :8Export Date: 20 May 2020

Australian Capital Territory. (2007). Greywater Use: Guidelines for residential properties in Canberra. *Australian Capital Territory, October*, 1–24.

Avellaneda, P. A., & Salcedo, A. (2019). *Evaluación de opciones tecnológicas para el tratamiento de aguas grises con fines de reúso en edificios residenciales en el contexto del área metropolitana Bucaramanga (Colombia)*. Universidad Industrial de Santander.

Birks, R., & Hills, S. (2007). Characterisation of Indicator Organisms and Pathogens in Domestic Greywater for Recycling. *Environmental Monitoring and Assessment*, 129(1), 61–69. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-9427-y>

Boyjoo, Y., Ang, M., & Pareek, V. (2012). Photocatalytic treatment of shower water using a pilot scale reactor. *International Journal of Photoenergy*, 2012.

<https://doi.org/10.1155/2012/578916>

Cited By :13Export Date: 20 May 2020

Brikké, F., & Bredero, M. (2003). Linking technology choice with operation and maintenance in the context of community water supply and sanitation. In *World Health Organization and IRC Water and Sanitation Centre*.

CAWST. (2012). *Manual de construcción del filtro de bioarena*.

<https://resources.cawst.org/construction-manual/a90b9f50/biosand-filter-construction-manual>

Centre for Affordable Water and Sanitation Technology (CAWST). (n.d.). <https://www.cawst.org/>

Chaillou, K., Gérente, C., Andrès, Y., & Wolbert, D. (2011). Bathroom greywater characterization and potential treatments for reuse. *Water, Air, and Soil Pollution*, 215(1–4), 31–42.

<https://doi.org/10.1007/s11270-010-0454-5>

Cited By :43Export Date: 20 May 2020

Christova-Boal, D., Eden, R. E., & McFarlane, S. (1996). An investigation into greywater reuse for urban residential properties. *Desalination*, 106(1–3), 391–397.

[https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(96\)00134-8](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(96)00134-8)

Cited By :204Export Date: 20 May 2020

Craig, M., & Richman, R. (2018). Towards development of a standard methodology for testing field performance of residential greywater reuse systems: Case study of a greywater reuse system installed in 22 homes in southern ontario (canada). *Journal of Water Reuse and Desalination*, 8(2), 135–152. <https://doi.org/10.2166/wrd.2017.020>

Export Date: 20 May 2020

Donner, E., Eriksson, E., Revitt, D. M., Scholes, L., Lützhøft, H. C. H., & Ledin, A. (2010).

Presence and fate of priority substances in domestic greywater treatment and reuse systems. *Science of the Total Environment*, 408(12), 2444–2451. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.02.033>

Drewnowski, J., Remiszewska-Skwarek, A., Duda, S., & Łagód, G. (2019). Aeration process in bioreactors as the main energy consumer in a wastewater treatment plant. Review of solutions and methods of process optimization. *Processes*. <https://doi.org/10.3390/pr7050311>

Edwin, G. A., Gopalsamy, P., & Muthu, N. (2014). Characterization of domestic gray water from point source to determine the potential for urban residential reuse: a short review. *Applied Water Science*, 4(1), 39–49. <https://doi.org/10.1007/s13201-013-0128-8>

Ekeren, K. M., Hodgson, B. A., Sharvelle, S. E., & De Long, S. K. (2016). Investigation of pathogen disinfection and regrowth in a simple graywater recycling system for toilet flushing. *Desalination and Water Treatment*, 57(54), 26174–26186. <https://doi.org/10.1080/19443994.2016.1159992>

Cited By :5Export Date: 20 May 2020

EPA. (2012). Guidelines for water reuse. *Guidelines for Water Reuse, September*.

Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M., & Ledin, A. (2002). Characteristics of grey wastewater. *Urban Water*. [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(01\)00064-4](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(01)00064-4)

Friedler, E. (2004). Quality of individual domestic greywater streams and its implication for on-site treatment and reuse possibilities. *Environmental Technology*. <https://doi.org/10.1080/09593330.2004.9619393>

Friedler, E., Kovalio, R., & Ben-Zvi, A. (2006). Comparative study of the microbial quality of greywater treated by three on-site treatment systems. *Environmental Technology*, 27(6), 653–663. <https://doi.org/10.1080/09593332708618674>

Cited By :56Export Date: 20 May 2020

Friedler, E, Kovalio, R., & Galil, N. I. (2005). On-site greywater treatment and reuse in multi-storey buildings. In *Water Science and Technology* (Vol. 51, Issue 10, pp. 187–194).  
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-23344432651&partnerID=40&md5=44fc3b0f16073b621175f6da2582639b>

Cited By :105Export Date: 20 May 2020

Friedler, Eran, & 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>

Cited By :157Export Date: 20 May 2020

Ghisi, E., & Ferreira, D. F. (2007). Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil. *Building and Environment*, 42(7), 2512–2522. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.07.019>

Ghunmi, L. A., Zeeman, G., Van Lier, J., & Fayed, M. (2008a). Quantitative and qualitative characteristics of grey water for reuse requirements and treatment alternatives: The case of Jordan. In *Water Science and Technology* (Vol. 58, Issue 7, pp. 1385–1396).  
<https://doi.org/10.2166/wst.2008.444>

Cited By :28Export Date: 20 May 2020

Ghunmi, L. A., Zeeman, G., Van Lier, J., & Fayed, M. (2008b). Quantitative and qualitative characteristics of grey water for reuse requirements and treatment alternatives: The case of Jordan. *Water Science and Technology*, 58(7), 1385–1396.  
<https://doi.org/10.2166/wst.2008.444>

Gour, K., & Batra, P. (2019). Physicochemical characterization of grey water and treatment.

*International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(8), 1832–1834. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85067852079&partnerID=40&md5=eb368014f1f9f66b750029b9a42d616e>

Export Date: 20 May 2020

Gross, A., Maimon, A., Alfiya, Y., & Friedler, E. (2015). Greywater Reuse. In *Greywater Reuse*. <https://doi.org/10.1201/b18217>

Guerrero, J. (2017). *Factibilidad, técnica, social y financiera de la implementación de un sistema de reúso de aguas pluviales y aguas grises en un edificio estrato seis del Área Metropolitana de Bucaramanga*. Universidad Industrial de Santander.

Health Canada. (2010). *Canadian Guidelines for Domestic Reclaimed Water for Use in Toilet and Urinal Flushing*.

Huisman, L., & Wood, W. E. (1974). Slow sand filtration. *WORLD HLTH ORGAN*.

Hwang, C.-L., & Yoon, K. (1981). *Methods for Multiple Attribute Decision Making*. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9_3)

J.T. Visscher, & Veenstra, S. (1985). Slow Sand Filtration: Manual for Caretakers. In *The Hague: IRC International water and Sanitation Center. The Hague*.

Jabornig, S., & Podmirseg, S. M. (2015). A novel fixed fibre biofilm membrane process for on-site greywater reclamation requiring no fouling control. *Biotechnology and Bioengineering*, 112(3), 484–493. <https://doi.org/10.1002/bit.25449>

Cited By :20Export Date: 20 May 2020

Jamrah, A., Al-Omari, A., Al-Qasem, L., & Ghani, N. A. (2006). Assessment of availability and characteristics of greywater in Amman. *Water International*, 31(2), 210–220. <https://doi.org/10.1080/02508060.2006.9709671>

Jamrah, A., & Ayyash, S. (2008). Greywater generation and characterization in major cities in Jordan. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 2(4), 376–390.

[https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-](https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84991633651&partnerID=40&md5=57f0e36a79a4754b9111b59c7da53d2c)

[84991633651&partnerID=40&md5=57f0e36a79a4754b9111b59c7da53d2c](https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84991633651&partnerID=40&md5=57f0e36a79a4754b9111b59c7da53d2c)

Cited By :6Export Date: 20 May 2020

Jefferson, B., Palmer, A., Jeffrey, P., Stuetz, R., & Judd, S. (2004). Grey water characterisation and its impact on the selection and operation of technologies for urban reuse. In *Water Science and Technology* (Vol. 50, Issue 2, pp. 157–164). <https://doi.org/10.2166/wst.2004.0113>

Cited By :154Export Date: 20 May 2020

Jung, J., Fowdar, H., Henry, R., Deletic, A., & McCarthy, D. T. (2019). Biofilters as effective pathogen barriers for greywater reuse. *Ecological Engineering*, 138, 79–87.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.07.020>

Export Date: 20 May 2020

Kaparos, G., Katsiri, A., Katsiri, E., & Adreadakis, A. (2015). *Performance evaluation of Grey Water Treatment Systems for Urban Use Performance evaluation of Grey Water Treatment Systems for Urban Use using Multi-criteria Analysis. November.*

Li, F., Wichmann, K., & Otterpohl, R. (2009). Evaluation of appropriate technologies for grey water treatments and reuses. In *Water Science and Technology* (Vol. 59, Issue 2, pp. 249–260). <https://doi.org/10.2166/wst.2009.854>

Cited By :21Export Date: 20 May 2020

Mahmudul Hasan, M., Shafiquzzaman, M., Nakajima, J., Ahme, A. K. T., & Azam, M. S. (2015). Application of a low cost ceramic filter to a membrane bioreactor for greywater treatment.

*Water Environment Research*, 87(3), 233–241.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0->

[84928276704&partnerID=40&md5=d7d93af02688942fe0c9a417300f545a](https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84928276704&partnerID=40&md5=d7d93af02688942fe0c9a417300f545a)

Cited By :12Export Date: 20 May 2020

Maimon, A., & Gross, A. (2018). Greywater: Limitations and perspective. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 2, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2017.11.005>

Mandal, D., Labhasetwar, P., Dhone, S., Dubey, A. S., Shinde, G., & Wate, S. (2011). Water conservation due to greywater treatment and reuse in urban setting with specific context to developing countries. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(3), 356–361. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.11.001>

Cited By :39Export Date: 20 May 2020

Martin Systems. (2005). *CUBE Mini Module ( FM 045 ) General description of CUBE ® Mini Filter. Fm 045*, 0–2.

Matos, C., Sampaio, A., & Bentes, I. (2010). Possibilities of greywater reuse in non-potable in situ urban applications, according with its quality and quantity. *4th WSEAS International Conference on Waste Management, Water Pollution, Air Pollution, Indoor Climate, WWAI '10*, 6(7), 15–20. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-77954360899&partnerID=40&md5=81137717152e831816699112e19b02cb>

Cited By :5Export Date: 20 May 2020

Matos, C., Teixeira, C. A., Duarte, A. A. L. S., & Bentes, I. (2013). Domestic water uses: Characterization of daily cycles in the north region of Portugal. *Science of the Total Environment*, 458–460, 444–450. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.04.018>

Mendoza Santos, J. G., & Rincón Mendez, C. I. (2016). *Evaluación de la viabilidad social, técnica y económica de la implementación de un sistema de recolección, tratamiento y*

*aprovechamiento de aguas lluvias y aguas grises en un proyecto de vivienda de interés social.*

Universidad Industrial de Santander.

Metcalf, W., & Eddy, C. (2003). *Metcalf and Eddy Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse McGraw Hill. New York, NY.*

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Resolución número 1207 de 2014.*

Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural. (2010). *Guía para la aplicación del R.D. 1620/2007 por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. In Geneva (Vol. 1, Issue 1).* [http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/concesiones-y-autorizaciones/guia\\_rd\\_1620\\_2007\\_\\_tcm7-](http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/concesiones-y-autorizaciones/guia_rd_1620_2007__tcm7-178027.pdf)

[178027.pdf%5Cnhttp://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/bathing/srwe2full.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/bathing/srwe2full.pdf)

Ministerio de Salud. (2018). *Proyecto De Reglamento Sobre Condiciones Sanitarias Básicas Para La Reutilización De Aguas Grises.* 12. <http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/02/Reglamento-Aguas-Grises.pdf>

Ministerio de Salud -. (1998). Decreto 0475 de 1998. *Diario Oficial*, 1998(43), 14. [http://www.anla.gov.co/sites/default/files/normativa\\_ambiental/dec\\_0475-98\\_normas\\_tecnicas\\_sobre\\_calidad\\_del\\_agua\\_potable.pdf](http://www.anla.gov.co/sites/default/files/normativa_ambiental/dec_0475-98_normas_tecnicas_sobre_calidad_del_agua_potable.pdf)

MINISTRO DELL'AMBIENTE. (2006). *Decreto 2 Maggio 2006- Norme Tecniche per il Riutilizzo delle Acque Reflue.*

Monroy, A., & Zambrano, J. (2018). *Viabilidad técnica, financiera y social en la implementación de un sistema para el reusó de aguas grises y aprovechamiento de aguas lluvias en apartamentos estrato tres del Área Metropolitana de Bucaramanga, Colombia.* UIS.

Mourad, K. A., Berndtsson, J. C., & Berndtsson, R. (2011). Potential fresh water saving using greywater in toilet flushing in Syria. *Journal of Environmental Management*, 92(10), 2447–

2453. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.05.004>

Cited By :42Export Date: 20 May 2020

Nino Rodríguez, E. D., & Martínez Medina, N. C. (2013). *Estudio de las aguas grises domésticas en tres niveles socioeconómicos de la ciudad de Bogotá*. 177. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/11139>

Nolde, E. (2000). Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings - over ten years experience in Berlin. *Urban Water*, 1(4), 275–284. [https://doi.org/10.1016/s1462-0758\(00\)00023-6](https://doi.org/10.1016/s1462-0758(00)00023-6)

Cited By :225Export Date: 20 May 2020

Nolde, E. (2005). Greywater recycling systems in Germany - Results, experiences and guidelines. In *Water Science and Technology* (Vol. 51, Issue 10, pp. 203–210). <https://doi.org/10.2166/wst.2005.0368>

Cited By :65Export Date: 20 May 2020

Oktor, K., & Çelik, D. (2019). Treatment of wash basin and bathroom greywater with *Chlorella variabilis* and reusability. *Journal of Water Process Engineering*, 31. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.100857>

Export Date: 20 May 2020

ONU, O. de las N. U. (2014). *Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>

Oron, G., Adel, M., Agmon, V., Friedler, E., Halperin, R., Leshem, E., & Weinberg, D. (2014). Greywater use in Israel and worldwide: Standards and prospects. *Water Research*, 58, 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.03.032>

Cited By :58Export Date: 20 May 2020

Oteng-Peprah, M., de Vries, N. K., & Acheampong, M. A. (2018). Greywater characterization and generation rates in a peri urban municipality of a developing country. *Journal of Environmental Management*, 206, 498–506. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.10.068>

Cited By :11Export Date: 20 May 2020

Ottoson, J., & Stenström, T. A. (2003). Faecal contamination of greywater and associated microbial risks. *Water Research*. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(02\)00352-4](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00352-4)

Oviedo-Ocaña, E. R., Dominguez, I., Ward, S., Rivera-Sanchez, M. L., & Zaraza-Peña, J. M. (2018). Financial feasibility of end-user designed rainwater harvesting and greywater reuse systems for high water use households. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(20), 19200–19216. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8710-5>

Cited By :10Export Date: 20 May 2020

ProMinent. (2016). *Bombas de dosificación, componentes y sistemas de dosificación*.

Ramon, G., Green, M., Semiat, R., & Dosoretz, C. (2004). Low strength graywater characterization and treatment by direct membrane filtration. *Desalination*, 170(3), 241–250. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2004.02.100>

Rivera Sánchez, M. L., & Zaraza Peña, J. M. (2015). *Factibilidad técnica y económica de un sistema hidrosanitario para la reutilización de aguas grises y pluviales, caso de estudio en vivienda de alto consumo del A.M. de Bucaramanga. Colombia*. Universidad Industrial de Santander.

Romero, J. (2000). *Tratamiento de Aguas Residuales Teoría y Principios de Diseño*.

Plan de ordenamiento territorial de Bucaramanga, (2014).

Santos, C., Matos, C., & Taveira-Pinto, F. (2014). A comparative study of greywater from

domestic and public buildings. *Water Science and Technology: Water Supply*, 14(1), 135–141. <https://doi.org/10.2166/ws.2013.181>

Cited By :4Export Date: 20 May 2020

Sievers, J. C., & Londong, J. (2018). Characterization of domestic graywater and graywater solids. *Water Science and Technology*, 77(5), 1196–1203. <https://doi.org/10.2166/wst.2017.627>

Cited By :1Export Date: 20 May 2020

Suárez, J., Jácome, J., Río, H., & Torres, D. (2012). El reciclaje de aguas grises como complemento a las estrategias de gestión sostenible del agua en el medio rural. *Cuenca Fluvial y Desarrollo Sostenible*, July, 265–284. <https://www.redalyc.org/pdf/3442/344233949006.pdf>

Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM). (n.d.-a). *Aerated pond*. <https://sswm.info/sanitation-systems/sanitation-technologies/aerated-pond>

Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM). (n.d.-b). *Chlorination*. <https://sswm.info/sswm-solutions-bop-markets/affordable-wash-services-and-products/affordable-water-supply/chlorination>

Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM). (n.d.-c). *H2O2*. <https://sswm.info/sswm-university-course/module-6-disaster-situations-planning-and-preparedness/further-resources-0/h2o2>

Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM). (n.d.-d). *Membrane Bioreactor*. <https://sswm.info/step-nawatech/module-1-nawatech-basics/appropriate-technologies-0/membrane-bioreactor>

Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM). (n.d.-e). *Membrane Filtration*. <https://sswm.info/sswm-university-course/module-6-disaster-situations-planning-and-preparedness/further-resources-0/membrane-filtration>

Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM). (n.d.-f). *Rotating Biological Contactors*.

<https://sswm.info/water-nutrient-cycle/wastewater-treatment/hardwares/semi-centralised-wastewater-treatments/rotating-biological-contactors>

Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM). (n.d.-g). *Settler*.

<https://sswm.info/taxonomy/term/3930/settler>

Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM). (n.d.-h). *Slow Sand Filtration*.

<https://sswm.info/sswm-university-course/module-6-disaster-situations-planning-and-preparedness/further-resources-0/slow-sand-filtration>

*Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM)*. (n.d.-i). <https://sswm.info/>

Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM). (n.d.-j). *UV-tubes*.

<https://sswm.info/sswm-solutions-bop-markets/affordable-wash-services-and-products/affordable-water-supply/uv-tubes>

Teh, X. Y., Poh, P. E., Gouwanda, D., & Chong, M. N. (2015). Decentralized light greywater treatment using aerobic digestion and hydrogen peroxide disinfection for non-potable reuse.

*Journal of Cleaner Production*, 99, 305–311. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.015>

Cited By :30Export Date: 20 May 2020

The Egyptian-German Private Sector Development Programme. (n.d.). *Greywater Recycling And Reuse*. 94.

Tilley, E., Lüthi, C., Morel, A., Zurbrügg, C., & Schertenleib, R. (2008). Compendium of Sanitation Systems and Technologies. *Development*, 158.

[http://www.eawag.ch/organisation/abteilungen/sandec/publikationen/publications\\_sesp/downloads\\_sesp/compendium\\_high.pdf](http://www.eawag.ch/organisation/abteilungen/sandec/publikationen/publications_sesp/downloads_sesp/compendium_high.pdf)

Ultraaqua. (n.d.). *UV Systems*. <https://www.ultraaqua.com/uv-systems/uv-systems-for-general->

water-disinfection/

Van Dijk, & Oomen. (1978). *Filtracion lenta en arena para abastecimiento Publico de Paises en Desarrollo*. 205.

Yu, Z. L. T., Rahardianto, A., Stenstrom, M. K., & Cohen, Y. (2016). Performance and economic evaluation of a semibatch vertical-flow wetland for onsite residential bathroom graywater treatment. *Journal - American Water Works Association*, 108(7), E392–E404. <https://doi.org/10.5942/jawwa.2016.108.0079>

Cited By :1Export Date: 20 May 2020

Zadeh, S. M., Hunt, D. V. L., Rachel Lombardi, D., & Rogers, C. D. F. (2014). Carbon costing for mixed-use greywater recycling systems. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Water Management*, 167(8), 467–481. <https://doi.org/10.1680/wama.12.00093>

Cited By :2Export Date: 20 May 2020

ZHOU, P., ANG, B., & POH, K. (2006). Decision analysis in energy and environmental modeling: An update. *Energy*, 31(14), 2604–2622. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2005.10.023>

## Apéndices

## Apéndice A. Normativa internacional para el reúso de agua tratada

Parámetros	Unidades	Australia* [a]	Canadá** [b]	Alemania* [c]	Israel* [d]	Italia** [e]
pH	-	-	-	-	-	6-9.5
Turbidez	UNT	-	<2	Limpia	-	-
DQO	mg/L	-	-	-	<100	<100
BOD5	mg/L	<20	<10	-	<10	<20
SST	mg/L	<30	<10	Cerca a cero	<10	<10
COT	mg/L	-	-	-	-	-
Coliformes fecales	UFC/100ml	-	No detectado	<10	-	-
<i>E.Coli</i>	UFC/100ml	-	-	-	-	<10
Coliformes totales	UFC/100ml	-	-	<100	-	-
Nitrógeno Total	mg/L	-	-	-	-	-
Fósforo Total	mg/L	-	-	-	-	<2
Cloro residual	mg/L	-	>0.5	-	-	>1.5
Posibles usos	Irrigación	x				x
	Descarga de inodoros	x	x	x		x
	Lavado de carros	x				
	Reúso sin restricción				x	

## Información adicional

\*: Reúso de Aguas Grises, \*\*: Reúso de Aguas Residuales

## Referencias

[a] Australian Capital Territory. Greywater Use: Guidelines for residential properties in Canberra 2004; [b] Canadian guidelines 2007; [c] Nolde 1999; [d] Ramon et al. 2004; [e] Decreto 2 maggio 2006

Parámetros	Unidades	España** [f]	Estados Unidos** [g]	Portugal* [h]	Colombia** [i]	Chile* [j]
pH	-		6-9	6.5-8.4	6.5-9	
Turbidez	UNT	<2	<2	-	<5	<10
DQO	mg/L	-	-	-	-	
BOD5	mg/L	-	<10	-	-	
SST	mg/L	<10	-	<60	-	<10
COT	mg/L	-	-	-	-	
Coliformes fecales	UFC/100ml	-	0	<100	-	<10
<i>E.Coli</i>	UFC/100ml	0	-	-	-	
Coliformes totales	UFC/100ml	-	-	-	-	
Nitrógeno Total	mg/L	-	-	-	-	
Fósforo Total	mg/L	-	-	-	-	
Cloro residual	mg/L	-	>1	-	-	0.5<x<2
Posibles usos	Irrigación			x		x
	Descarga de inodoros			x		x
	Lavado de carros					
	Reúso sin restricción	x	x			

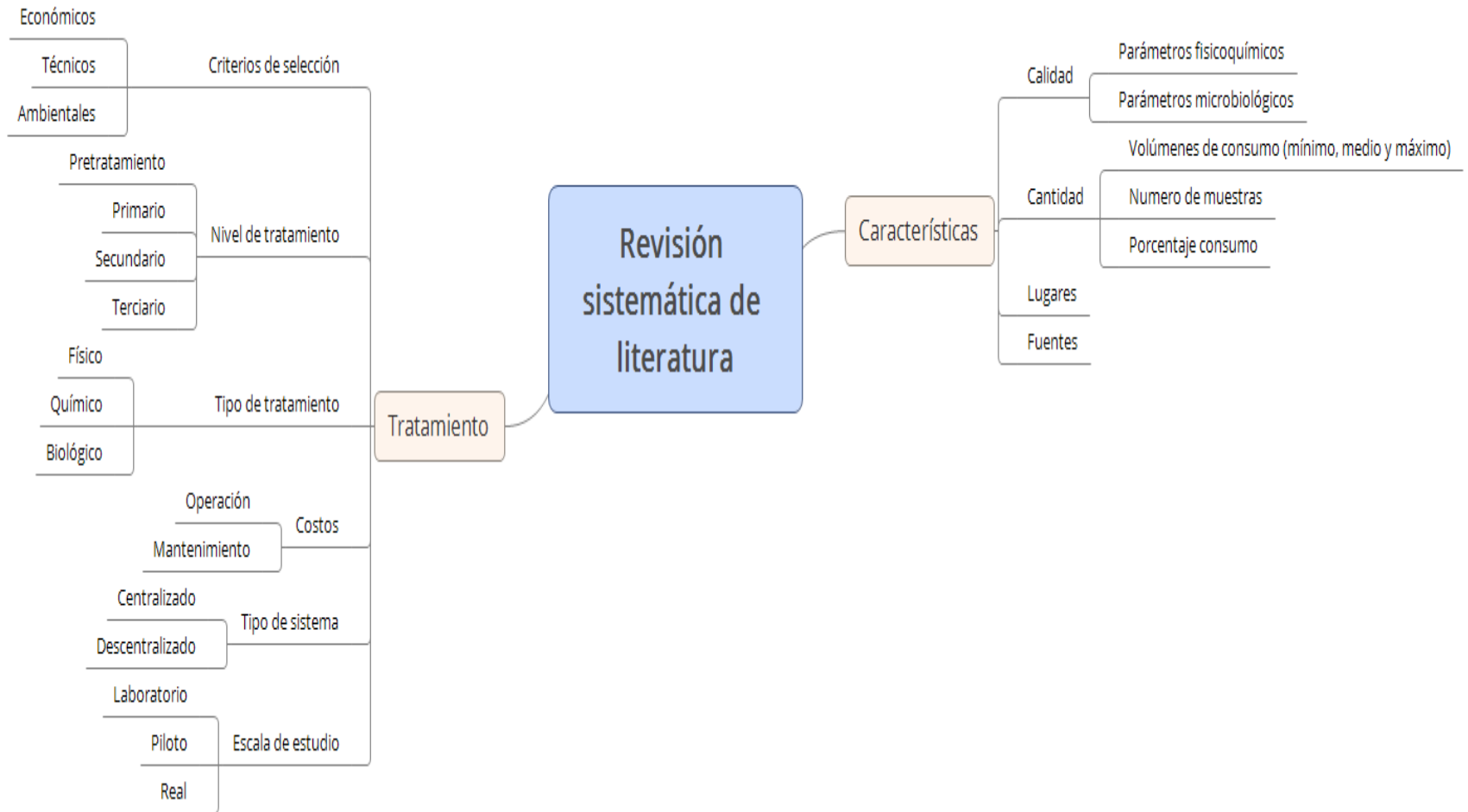
#### Información adicional

\*: Reúso de Aguas Grises, \*\*: Reúso de Aguas Residuales

#### Referencias

[f] Real Decreto 1620 2007; [g] US EPA 2012; [h] NORMA PORTUGUESA 4434-Reutilização de águas residuais urbanas tratadas para rega (2005); [i] Ley 475 1998; [j] Proyecto De Reglamento Sobre Condiciones Sanitarias Básicas Para La Reutilización De Aguas Grises 2018

*Apéndice B. Aspectos considerados en la revisión de literatura*



## Apéndice C. Artículos seleccionados en la revisión de literatura

<b>Autor</b>	<b>Título</b>	<b>Año</b>	<b>País</b>
Chaillou, K et al	Bathroom greywater characterization and potential treatments for reuse	2011	Francia
Oron, G	Greywater use in Israel and worldwide: Standards and prospects	2014	Israel
Nolde, E	Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings - over ten years experience in Berlin	2000	Alemania
Matos, C	Possibilities of greywater reuse in non-potable in situ urban applications, according with its quality and quantity	2010	Portugal
Oviedo-Ocaña, E R	Financial feasibility of end-user designed rainwater harvesting and greywater reuse systems for high water use households	2018	Colombia
Fountoulakis, M S	Single house on-site grey water treatment using a submerged membrane bioreactor for toilet flushing	2016	Grecia
Craig, M	Towards development of a standard methodology for testing field performance of residential greywater reuse systems: Case study of a greywater reuse system installed in 22 homes in southern Ontario (Canada)	2018	Canadá
Zadeh, S M	Carbon costing for mixed-use greywater recycling systems	2014	Reino Unido
Boyjoo, Y	Photocatalytic treatment of shower water using a pilot scale reactor	2012	Australia

Assayed, A	Assessing the efficiency of an innovative method for onsite greywater treatment: Drawer compacted sand filter - A case study in Jordan	2015	Jordania
Friedler, E	Economic feasibility of on-site greywater reuse in multi-storey buildings	2006	Israel
Yu, Z L T	Feasibility of a semi-batch vertical-flow wetland for onsite residential graywater treatment	2015	Estados Unidos
Arunbabu, V	Sustainable greywater management with Axonopus compressus (broadleaf carpet grass) planted in sub surface flow constructed wetlands	2015	India
Al-Mughalles, M H	Household greywater quantity and quality in Sana'a, Yemen	2012	Yemen
Mahmudul Hasan, Md.	Application of a low-cost ceramic filter to a membrane bioreactor for greywater treatment	2015	Japón
Yu, Z L T	Performance and economic evaluation of a semibatch vertical-flow wetland for onsite residential bathroom graywater treatment	2016	Estados Unidos
Jamrah, A	Greywater generation and characterization in major cities in Jordan	2008	Jordania
Ghunmi, L A	Quantitative and qualitative characteristics of grey water for reuse requirements and treatment alternatives: The case of Jordan	2008	Jordania
Gour, K	Physicochemical characterization of grey water and treatment	2019	India
Pansonato, N	Solar disinfection for the post-treatment of greywater by means of a continuous flow reactor	2011	Brasil
Katukiza, A Y	Grey water characterisation and pollutant loads in an urban slum	2014	Uganda

Jabornig, S	A novel fixed fibre biofilm membrane process for on-site greywater reclamation requiring no fouling control	2015	Austria
Alfiya, Y	Reliability of on-site greywater treatment systems in Mediterranean and arid environments - A case study	2013	Israel
Widiastuti, N	The potential application of natural zeolite for greywater treatment	2008	Australia
Assayed, A	Drawer compacted sand filter: A new and innovative method for on-site grey water treatment	2014	Jordania
Vrtov-ek, J	A compact reactor system for processing grey water and its reutilization for flushing toilet bowls	2014	Eslovenia
Mandal, D	Water conservation due to greywater treatment and reuse in urban setting with specific context to developing countries	2011	India
Teh, X Y	Decentralized light greywater treatment using aerobic digestion and hydrogen peroxide disinfection for non-potable reuse	2015	Malasia
Mourad, K A	Potential fresh water saving using greywater in toilet flushing in Syria	2011	Siria
Rodríguez-Martínez, S	Characterization of Biofilm Bacterial Communities in a Vertical Unsaturated-Flow Bioreactor Treating Domestic Greywater	2016	Israel
Santos, C	A comparative study of greywater from domestic and public buildings	2014	Portugal
Baban, A	Grey water treatment and reuse by using RBC: A kinetic approach	2010	Turquía
Prodanovic, V	Green walls for greywater reuse: Understanding the role of media on pollutant removal	2017	Australia

Ekeren, K M	Investigation of pathogen disinfection and regrowth in a simple graywater recycling system for toilet flushing	2016	Estados unidos
Oktor, K	Treatment of wash basin and bathroom greywater with <i>Chlorella variabilis</i> and reusability	2019	Turquía
Meuler, S	Membrane bio-reactors for decentralized wastewater treatment and reuse	2008	Alemania
Antonopoulou, G	Quantitative and qualitative greywater characterization in Greek households and investigation of their treatment using physicochemical methods	2013	Grecia
Christova-Boal, D	An investigation into greywater reuse for urban residential properties	1996	Australia
Jefferson, B	Grey water characterisation and its impact on the selection and operation of technologies for urban reuse	2004	Reino unido
Li, F	Evaluation of appropriate technologies for grey water treatments and reuses	2009	Alemania
Saran, S	Reclamation of grey water for non-potable purposes using pilot-scale solar photocatalytic tubular reactors	2019	India
Nolde, E	Greywater recycling systems in Germany - Results, experiences and guidelines	2005	Alemania
Selvaraju, N	Adsorption characteristics on sand and brick beds	2009	India
Hernández-Leal, L	Grey water treatment concept integrating water and carbon recovery and removal of micropollutants	2011	Países bajos
Friedler, E.	Quality of individual domestic greywater streams and its implication for on-site treatment and reuse possibilities	2004	Israel

Jabornig, S	Single household greywater treatment with a moving bed biofilm membrane reactor (MBBMR)	2013	Austria
Donner, E	Presence and fate of priority substances in domestic greywater treatment and reuse systems	2010	Reino unido
Noutsopoulos, C.	Greywater characterization and loadings – Physicochemical treatment to promote onsite reuse	2018	Grecia
Matos, Cristina	Domestic water uses: Characterization of daily cycles in the north region of Portugal	2013	Portugal
Wurochekke, Anwaruddin Ahmed	Constructed Wetland of <i>Lepironia Articulata</i> for Household Greywater Treatment	2014	Malasia
Palmarin, Matthew J.	Comparison of the treatment performance of a hybrid and conventional membrane bioreactor for greywater reclamation	2019	Canadá
Ziemba, Christopher	Comparing the anti-bacterial performance of chlorination and electrolysis post-treatments in a hand washing water recycling system	2019	Suiza
Vakil, K A	Characterization of greywater in an Indian middle-class household and investigation of physicochemical treatment using electrocoagulation	2014	India
Jamrah, Ahmad	Assessment of availability and characteristics of greywater in Amman	2006	Jordania

*Apéndice D. Trenes de tratamiento encontrados en la revisión de literatura*

<b>Autor</b>	<b>Título</b>	<b>Año</b>	<b>Tren</b>
Antonopoulou, G	Quantitative and qualitative greywater characterization in Greek households and investigation of their treatment using physicochemical methods	2013	Coagulación + Filtro de arena + Carbón activado
Chaillou, K	Bathroom greywater characterization and potential treatments for reuse	2011	Filtro de arena + Carbón activado + Desinfección con cloro
Friedler, E	Economic feasibility of on-site greywater reuse in multi-storey buildings	2006	Filtro de arena + Desinfección con cloro MBR + Desinfección con cloro RBC + Sedimentación + Filtración + Desinfección con cloro
Gour, K	Physicochemical characterization of grey water and treatment	2019	Tanque de aireación + Filtro de arena + Desinfección con cloro
Nolde, E	Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings - over ten years experience in Berlin	2000	Sedimentación + RBC + Desinfección UV
Nolde, E	Greywater recycling systems in Germany - Results, experiences and guidelines	2005	
Noutsopoulos, C.	Greywater characterization and loadings – Physicochemical treatment to promote onsite reuse	2018	Sedimentación + Filtro de arena + Carbón activado
Teh, X Y	Decentralized light greywater treatment using aerobic digestion and hydrogen peroxide disinfection for non-potable reuse	2015	Tanque de aireación + Desinfección con peróxido de hidrógeno
Vrtov-ek, J	A compact reactor system for processing grey water and its reutilization for flushing toilet bowls	2014	Lodos activados + Desinfección UV

*Apéndice E. Tecnologías de tratamiento encontrados en la revisión de literatura*

<b>Autor</b>	<b>Título</b>	<b>Año</b>	<b>Tecnología</b>
Fountoulakis, M S	Single house on-site grey water treatment using a submerged membrane bioreactor for toilet flushing	2016	MBR
Zadeh, S M	Carbon costing for mixed-use greywater recycling systems	2014	MBR
Assayed, A	Assessing the efficiency of an innovative method for onsite greywater treatment: Drawer compacted sand filter - A case study in Jordan	2015	Filtro de arena
Yu, Z L T	Feasibility of a semi-batch vertical-flow wetland for onsite residential graywater treatment	2015	Humedal artificial
Arunbabu, V	Sustainable greywater management with <i>Axonopus compressus</i> (broadleaf carpet grass) planted in sub surface flow constructed wetlands	2015	Humedal artificial
Mahmudul Hasan, Md.	Application of a low-cost ceramic filter to a membrane bioreactor for greywater treatment	2015	MBR
Yu, Z L T	Performance and economic evaluation of a semibatch vertical-flow wetland for onsite residential bathroom graywater treatment	2016	Humedal artificial
Pansonato, N	Solar disinfection for the post-treatment of greywater by means of a continuous flow reactor	2011	Desinfección UV
Jabornig, S	A novel fixed fibre biofilm membrane process for on-site greywater reclamation requiring no fouling control	2015	MBR
Alfiya, Y	Reliability of on-site greywater treatment systems in Mediterranean and arid environments - A case study	2013	Humedal artificial
Widiastuti, N	The potential application of natural zeolite for greywater treatment	2008	Zeolitos
Assayed, A	Drawer compacted sand filter: A new and innovative method for on-site grey water treatment	2014	Filtro de arena

Rodríguez-Martínez, S	Characterization of Biofilm Bacterial Communities in a Vertical Unsaturated-Flow Bioreactor Treating Domestic Greywater	2016	Humedal artificial
Baban, A	Grey water treatment and reuse by using RBC: A kinetic approach	2010	RBC
Prodanovic, V	Green walls for greywater reuse: Understanding the role of media on pollutant removal	2017	Humedal artificial
Ekeren, K M	Investigation of pathogen disinfection and regrowth in a simple graywater recycling system for toilet flushing	2016	Cloración, ozonación y UV
Oktor, K	Treatment of wash basin and bathroom greywater with <i>Chlorella variabilis</i> and reusability	2019	Humedal artificial ( <i>Chlorella variabilis</i> )
Meuler, S	Membrane bio-reactors for decentralized wastewater treatment and reuse	2008	MBR
Saran, S	Reclamation of grey water for non-potable purposes using pilot-scale solar photocatalytic tubular reactors	2019	Reactor fotocatalítico solar tubular
Selvaraju, N	Adsorption characteristics on sand and brick beds	2009	Filtro de arena
Hernández-Leal, L	Grey water treatment concept integrating water and carbon recovery and removal of micropollutants	2011	UASB, SBR
Jabornig, S	Single household greywater treatment with a moving bed biofilm membrane reactor (MBBMR)	2013	MBR
Wurochekke, Anwaruddin Ahmed	Constructed Wetland of <i>Lepironia Articulata</i> for Household Greywater Treatment	2014	Humedal artificial
Palmarin, Matthew J.	Comparison of the treatment performance of a hybrid and conventional membrane bioreactor for greywater reclamation	2019	MBR
Ziamba, Christopher	Comparing the anti-bacterial performance of chlorination and electrolysis post-treatments in a hand washing water recycling system	2019	Cloración, electrólisis
Boyjoo, Y	Photocatalytic treatment of shower water using a pilot scale reactor	2012	Reactor fotocatalítico

Apéndice F. Información de la vivienda

Pág 1 de 2						
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER - FORMATO DE INFORMACIÓN DE LA VIVIENDA						
Fecha realización: 09/02/2020			Día: Domingo		Hora: 10:00 h	
<b>1 Información del predio</b>			<b>2 Información del Medidor</b>			
Dirección: Cra 35 # 99-48			Localización en el inmueble: Primer piso de la edificación			
Comuna: Lagos del Cacique		Comuna No.: 16		Tipo de medidor		
Barrio: Porton de tejar		Localización: Sur de Bucaramanga		Volumétrico: <input type="checkbox"/>		
Estrato: 3		No. De pisos: 1		Velocidad: <input type="checkbox"/>		
Área del predio m2: 69		Área construida m2: 69		Compuesto: <input type="checkbox"/>		
<b>3 Características de la vivienda</b>			<b>4 Condiciones de Servicio</b>			
Tipo de vivienda: Casa: <input type="checkbox"/> Apto: <input checked="" type="checkbox"/>			Las condiciones de presión actualmente permiten bañarse, operar inodoros y tener agua suficiente en cada grifo de la casa. simultáneamente			
Personas que permanecen en la vivienda día: 1						
Personas que permanecen en la vivienda noche: 4			SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>			
Antigüedad de la vivienda (años): 35			Puntos hidráulicos existentes			
Presta servicio de acueducto a otro predio: No			Grifos: <input checked="" type="checkbox"/> Sanitarios: <input checked="" type="checkbox"/> Duchas: <input checked="" type="checkbox"/> Otros: <input checked="" type="checkbox"/>			
<b>5 Fuentes de aguas residuales en la vivienda y usos</b>						
Fuente	Cantidad (numero de accesorios)	Agua Gris	Agua Negra	Usos x Día	Usos x Semana	Nota:
Sanitario	1		x	-	-	
Lavamanos	1	x		29	99	
Duchas	1	x		6	31	
Lavaplatos	1	x		-	-	
Lavadero	1	x		-	-	
Lavadora	1	x		-	-	
Riego Jardín	0	x		-	-	
Otros				-	-	
<b>6 Plano de la vivienda [m] (Localización de puntos de recolección)</b>						

Pág 2 de 2	
7      Registro fotográfico	
	
<b>Descripción:</b> Aforo Aguas Grises provenientes de ducha	<b>Descripción:</b> Duchas
	
<b>Descripción:</b> Aforo de agua proveniente de lavamanos	<b>Descripción:</b> Medición de consumo de agua por descarga
<b>Observaciones</b>	
<b>Realizó:</b>	<b>Revisó:</b>
Nombre: Jesús David Álvarez Trujillo	Nombre: Brayan David Bonilla
Cargo: Aforador	Cargo: Supervisor
Firma:	Firma:

Apéndice G. Formatos aforos semana 1.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER-FORMATO DE MEDICIÓN DE AGUAS GRISES											
Fecha: 08/02/2020		Día: Sábado		Hora inicial: 00:00		Hora final: 24:00		Condiciones climáticas:			
Información del inmueble											
Dirección: Carrera 35 # 99-48						Tipo de vivienda:		Casa: <input type="text"/>		Apto: <input type="text"/>	
Comuna: Lagos del Cacique			Comuna No.: 16			Personas que permanecen en el día: 1					
Barrio: Portón del Tejar			Localización: Sur de Bucaramanga			Personas que permanecen en la noche: 4					
Estrato: 3			No. De pisos: 1			Área predio m2: 69			Área construida m2: 69		
Puntos de recolección de Aguas Grises											
Lavamanos						Ducha					
Descarga	Volumen (L)	Hora inicial	Hora final	Duración (min)	Observación Específica	Descarga	Volumen (L)	Hora inicial	Hora final	Duración (min)	Observación Específica
1	1.2	2:03	2:06	0:03		1	19.6	6:32	6:39	0:07	
2	1.6	6:42	6:43	0:01		2	13.2	8:21	8:25	0:04	
3	0.7	7:46	7:47	0:01		3	15.9	7:47	7:53	0:06	
4	0.9	6:31	6:32	0:01		4	22.3	10:06	10:16	0:10	
5	1.5	6:15	6:17	0:02		5	18.4	16:19	16:22	0:03	
6	0.75	8:00	8:01	0:01		6	20.3	20:36	20:44	0:08	
7	0.7	11:31	11:32	0:01		7					
8	0.35	11:46	11:47	0:01		8					
9	0.5	12:05	12:06	0:01		9					
10	1.8	12:44	12:46	0:02		10					
11	1.2	13:11	13:12	0:01		11					
12	0.55	15:39	15:40	0:01		12					
13	0.9	17:34	17:35	0:01		13					
14	1.2	18:12	18:14	0:02		14					
15	0.65	19:24	19:25	0:01		15					
16	1.8	20:56	20:58	0:02		16					
17	0.4	21:43	21:44	0:01		17					
18	2.2	23:21	23:23	0:02		18					
19						19					
20						20					
21						21					
22						22					
23						23					
24						24					
25						25					
26						26					
27						27					
28						28					
29						29					
30						30					
Σ	18.9					Σ	109.7				
Observaciones:											
<b>Realizó:</b>						<b>Revisó:</b>					
Nombre: Jesús David Álvarez Trujillo						Nombre: Brayan David Bonilla					
Cargo: Aforador						Cargo: Supervisor					
Firma:						Firma:					

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER-FORMATO DE MEDICIÓN DE AGUAS GRISES											
Fecha: 09/02/2020		Día: Domingo		Hora inicial: 00:00		Hora final: 24:00		Condiciones climáticas:			
Información del inmueble											
Dirección: Carrera 35 # 99-48						Tipo de vivienda:		Casa: <input type="checkbox"/>		Apto: <input checked="" type="checkbox"/>	
Comuna: Lagos del Cacique		Comuna No.: 16		Personas que permanecen en el día: 1							
Barrio: Portón del Tejar		Localización: Sur de Bucaramanga		Personas que permanecen en la noche: 4							
Estrato: 3		No. De pisos: 1		Área predio m2: 69				Área construida m2: 69			
Puntos de recolección de Aguas Grises											
Lavamanos						Ducha					
Descarga	Volumen (L)	Hora inicial	Hora final	Duración (min)	Observación Específica	Descarga	Volumen (L)	Hora inicial	Hora final	Duración (min)	Observación Específica
1	1.4	5:45	5:52	0:00		1	14.3	6:18	6:22		
2	1.6	6:33	6:39	0:06		2	12.7	6:26	6:31		
3	0.45	9:17	9:18	0:01		3	21	9:44	9:51		
4	1.2	10:43	10:46	0:03		4	16.1	10:03	10:09		
5	0.8	11:59	12:00	0:01		5					
6	1.65	12:07	12:09	0:02		6					
7	0.45	12:52	12:53	0:01		7					
8	1	13:15	13:17	0:02		8					
9	0.75	15:22	15:23	0:01		9					
10	0.43	17:26	17:27	0:01		10					
11	0.9	18:46	18:47	0:01		11					
12	1.15	18:56	18:58	0:02		12					
13	0.6	19:13	19:14	0:01		13					
14	0.45	19:57	19:58	0:01		14					
15	1	20:23	20:23	0:00		15					
16	0.9	20:47	20:48	0:01		16					
17	0.75	21:12	21:13	0:01		17					
18	1.1	21:25	21:26	0:01		18					
19	1.45	0.925	0.926388889	0.00139		19					
20	0.95	0.992361111	0.994444444	0.00208		20					
21						21					
22						22					
23						23					
24						24					
25						25					
26						26					
27						27					
28						28					
29						29					
30						30					
<b>Σ</b>	18.98					<b>Σ</b>	64.1				

Observaciones:

Realizó:	Revisó:
Nombre: Jesús David Álvarez Trujillo	Nombre: Brayan David Bonilla
Cargo: Aforador	Cargo: Supervisor
Firma:	Firma:

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER-FORMATO DE MEDICIÓN DE AGUAS GRISES											
Fecha: 13/02/2020		Día: Miércoles		Hora inicial: 00:00		Hora final: 24:00		Condiciones climáticas:			
Información del inmueble											
Dirección: Carrera 35 # 99-48						Tipo de vivienda:		Casa: <input type="checkbox"/>		Apto: <input checked="" type="checkbox"/>	
Comuna: Lagos del Cacique		Comuna No.: 16		Personas que permanecen en el día: 1							
Barrio: Portón del Tejar		Localización: Sur de Bucaramanga		Personas que permanecen en la noche: 4							
Estrato: 3		No. De pisos: 1		Área predio m2: 69				Área construida m2: 69			
Puntos de recolección de Aguas Grises											
Lavamanos						Ducha					
Descarga	Volumen (L)	Hora inicial	Hora final	Duración (min)	Observación Específica	Descarga	Volumen (L)	Hora inicial	Hora final	Duración (min)	Observación Específica
1	0.8	5:38	5:39	0:01		1	22.9	6:16	6:27	0:11	
2	1.05	6:15	6:17	0:02		2	21.7	6:41	6:51	0:10	
3	0.75	9:17	9:18	0:01		3	14	8:03	8:10	0:07	
4	1.8	10:46	10:48	0:02		4	19.9	16:22	16:30	0:08	
5	0.75	11:28	11:29	0:01		5	21	19:17	19:22	0:05	
6	1.35	11:57	11:59	0:02		6	16	20:47	20:53	0:06	
7	0.6	12:42	12:43	0:01		7	27	22:45	22:53	0:08	
8	1.2	13:45	13:46	0:01		8	17	23:12	23:18	0:06	
9	0.75	15:22	15:23	0:01		9					
10	0.75	16:14	16:15	0:01		10					
11	0.75	17:23	17:24	0:01		11					
12	0.45	18:47	18:48	0:01		12					
13	0.8	19:45	19:46	0:01		13					
14	0.65	20:17	20:18	0:01		14					
15	0.9	20:39	20:41	0:02		15					
16	1	20:46	20:49	0:03		16					
17	0.7	21:15	21:16	0:01		17					
18	1.15	22:23	22:25	0:02		18					
19						19					
20						20					
21						21					
22						22					
23						23					
24						24					
25						25					
26						26					
27						27					
28						28					
29						29					
30						30					
Σ	16.2					Σ	159.5				
Observaciones:											
Realizó:						Revisó:					
Nombre: Jesús David Álvarez Trujillo						Nombre: Brayan David Bonilla					
Cargo: Aforador						Cargo: Supervisor					
Firma:						Firma:					

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER-FORMATO DE MEDICIÓN DE AGUAS GRISES											
Fecha: 13/02/2020		Día: Jueves		Hora inicial: 00:00		Hora final: 24:00		Condiciones climáticas:			
Información del inmueble											
Dirección: Carrera 35 # 99-48						Tipo de vivienda:		Casa: <input type="checkbox"/>		Apto: <input checked="" type="checkbox"/>	
Comuna: Lagos del Cacique			Comuna No.: 16			Personas que permanecen en el día: 1					
Barrio: Portón del Tejar			Localización: Sur de Bucaramanga			Personas que permanecen en la noche: 4					
Estrato: 3			No. De pisos: 1			Área predio m2: 69			Área construida m2: 69		
Puntos de recolección de Aguas Grises											
Lavamanos						Ducha					
Descarga	Volumen (L)	Hora inicial	Hora final	Duración (min)	Observación Específica	Descarga	Volumen (L)	Hora inicial	Hora final	Duración (min)	Observación Específica
1	1.4	4:51	4:53	0:02		1	18	6:08	6:13	0:05	
2	0.75	5:49	5:50	0:01		2	9	6:34	6:36	0:02	
3	1.6	6:06	6:09	0:03		3	16.7	8:52	8:57	0:05	
4	1.35	6:13	6:16	0:03		4	23	9:12	9:22	0:10	
5	0.5	9:22	9:23	0:01		5	21	22:45	22:53	0:08	
6	2	9:53	9:55	0:02		6					
7	0.35	10:18	10:19	0:01		7					
8	0.75	10:53	10:54	0:01		8					
9	0.95	11:14	11:15	0:01		9					
10	0.6	12:46	12:47	0:01		10					
11	1.3	12:58	13:00	0:02		11					
12	0.95	13:26	13:28	0:02		12					
13	1.2	15:32	15:34	0:02		13					
14	0.9	16:51	16:52	0:01		14					
15	1.6	18:03	18:05	0:02		15					
16	1	19:07	19:09	0:02		16					
17	0.75	20:01	20:02	0:01		17					
18	1.45	20:15	20:17	0:02		18					
19	0.45	21:52	21:53	0:01		19					
20	1.6	22:41	22:43	0:02		20					
21	0.8	23:03	23:04	0:01		21					
22	1.2	23:15	23:17	0:02		22					
23						23					
24						24					
25						25					
26						26					
27						27					
28						28					
29						29					
30						30					
<b>Σ</b>	23.45					<b>Σ</b>	87.7				
Observaciones:											
Realizó:						Revisó:					
Nombre: Jesús David Álvarez Trujillo						Nombre: Brayan David Bonilla					
Cargo: Aforador						Cargo: Supervisor					
Firma:						Firma:					

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER-FORMATO DE MEDICIÓN DE AGUAS GRISES											
Fecha: 14/02/2020		Día: Viernes		Hora inicial: 00:00		Hora final: 24:00		Condiciones climáticas:			
Información del inmueble											
Dirección: Carrera 35 # 99-48						Tipo de vivienda:		Casa: <input type="checkbox"/>		Apto: <input checked="" type="checkbox"/>	
Comuna: Lagos del Cacique		Comuna No.: 16		Personas que permanecen en el día: 1							
Barrio: Portón del Tejar		Localización: Sur de Bucaramanga		Personas que permanecen en la noche: 4							
Estrato: 3		No. De pisos: 1		Área predio m2: 69				Área construida m2: 69			
Puntos de recolección de Aguas Grises											
Lavamanos						Ducha					
Descarga	Volumen (L)	Hora inicial	Hora final	Duración (min)	Observación Específica	Descarga	Volumen (L)	Hora inicial	Hora final	Duración (min)	Observación Específica
1	0.95	5:57	5:58	0:01		1	19	6:06	6:11	0:05	
2	1.2	6:12	6:14	0:02		2	16.5	7:48	7:52	0:04	
3	1.45	6:34	6:36	0:02		3	22.8	8:06	8:17	0:11	
4	0.9	8:16	8:17	0:01		4	13.5	8:41	8:46	0:05	
5	0.75	8:28	8:29	0:01		5	27.4	16:06	16:14	0:08	
6	1	8:43	8:45	0:02		6	21.3	19:38	19:46	0:08	
7	0.5	9:17	9:18	0:01		7	19.3	22:56	23:02	0:06	
8	0.95	9:42	9:43	0:01		8					
9	0.6	9:53	9:54	0:01		9					
10	1.2	10:33	10:36	0:03		10					
11	0.75	11:12	11:13	0:01		11					
12	0.9	12:08	12:10	0:02		12					
13	1.5	12:27	12:29	0:02		13					
14	0.8	13:17	13:18	0:01		14					
15	0.45	14:13	14:14	0:01		15					
16	0.8	15:25	15:26	0:01		16					
17	0.7	16:23	16:24	0:01		17					
18	0.67	19:12	19:13	0:01		18					
19	1.6	20:48	20:51	0:03		19					
20	0.8	21:23	21:24	0:01		20					
21	1	22:23	22:25	0:02		21					
22						22					
23						23					
24						24					
25						25					
26						26					
27						27					
28						28					
29						29					
30						30					
Σ	19.47					Σ	139.8				
Observaciones:											
Realizó:						Revisó:					
Nombre: Jesús David Álvarez Trujillo						Nombre: Brayan David Bonilla					
Cargo: Aforador						Cargo: Supervisor					
Firma:						Firma:					

Apéndice H. Formatos aforos semana 2

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER-FORMATO DE MEDICIÓN DE AGUAS GRISES											
Fecha: 24/06/2020		Día: Miércoles		Hora inicial: 00:00		Hora final: 24:00		Condiciones climáticas:			
Información del inmueble											
Dirección: Carrera 35 # 99-48					Tipo de vivienda:			Casa: <input type="checkbox"/>		Apto: <input checked="" type="checkbox"/>	
Comuna: Lagos del Cacique		Comuna No.: 13		Personas que permanecen en el día: 4							
Barrio: Portón del Tejar		Localización: Sur de Bucaramanga		Personas que permanecen en la noche: 4							
Estrato: 3		No. De pisos: 1		Área predio m2: 69			Área construida m2: 69				
Puntos de recolección de Aguas Grises											
Lavamanos					Ducha						
Descarga	Volumen (L)	Hora inicial	Hora final	Duración (min)	Observación Específica	Descarga	Volumen (L)	Hora inicial	Hora final	Duración (min)	Observación Específica
1	1.2	0:13	0:15	0:02		1	15.8	6:36	6:41	0:05	
2	0.7	1:39	1:40	0:01		2	17.2	7:23	7:29	0:06	
3	0.8	6:49	6:50	0:01		3	18.3	8:23	8:29	0:06	
4	1.5	7:23	7:25	0:02		4	27.1	8:43	8:55	0:12	
5	1.9	7:40	7:43	0:03		5	22.9	18:19	18:29	0:10	
6	0.4	8:01	8:01	0:00		6	21	22:03	22:11	0:08	
7	1	8:18	8:19	0:01		7					
8	1.3	9:40	9:42	0:02		8					
9	0.9	10:19	10:20	0:01		9					
10	2	10:34	10:37	0:03		10					
11	1.4	11:32	11:34	0:02		11					
12	0.9	11:45	11:46	0:01		12					
13	1.4	12:08	12:09	0:01		13					
14	1.1	12:16	12:17	0:01		14					
15	1.9	12:30	12:33	0:03		15					
16	0.4	13:23	13:24	0:01		16					
17	1.3	14:02	14:04	0:02		17					
18	0.7	14:40	14:41	0:01		18					
19	0.5	15:02	15:02	0:00		19					
20	0.8	16:26	16:27	0:01		20					
21	1	16:35	16:36	0:01		21					
22	0.8	16:43	16:44	0:01		22					
23	1.8	17:16	17:19	0:03		23					
24	0.7	17:39	17:40	0:01		24					
25	1.1	17:53	17:54	0:01		25					
26	0.6	18:05	18:06	0:01		26					
27	0.9	18:21	18:22	0:01		27					
28	0.9	18:34	18:35	0:01		28					
29	1.4	19:14	19:16	0:02		29					
30	0.7	19:53	19:54	0:01		30					
31	1.5	20:21	20:23	0:02		31					
32	1.8	21:03	21:06	0:03		32					
33	0.7	21:28	21:29	0:01		33					
34	1.8	22:45	22:49	0:04		34					
35	1.4	23:22	23:24	0:02		35					
Σ	39.2					Σ	122.3				
Observaciones:											
Realizó:					Revisó:						
Nombre: Jesús David Álvarez Trujillo					Nombre: Brayan David Bonilla						
Cargo: Aforador					Cargo: Supervisor						
Firma:					Firma:						

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER-FORMATO DE MEDICIÓN DE AGUAS GRISES											
Fecha: 25/06/2020		Día: Jueves		Hora inicial: 00:00		Hora final: 24:00		Condiciones climáticas:			
Información del inmueble											
Dirección: Carrera 35 # 99-48						Tipo de vivienda:			Casa: <input type="checkbox"/>		Apto: <input checked="" type="checkbox"/>
Comuna: Lagos del Cacique		Comuna No.: 13		Personas que permanecen en el día: 4							
Barrio: Portón del Tejar		Localización: Sur de Bucaramanga		Personas que permanecen en la noche: 4							
Estrato: 3		No. De pisos: 1		Área predio m2: 69		Área construida m2: 69					
Puntos de recolección de Aguas Grises											
Lavamanos						Ducha					
Descarga	Volumen (L)	Hora inicial	Hora final	Duración (min)	Observación Específica	Descarga	Volumen (L)	Hora inicial	Hora final	Duración (min)	Observación Específica
1	0.7	0:45	0:47	0:02		1	23.7	7:06	7:17	0:11	
2	1.5	1:15	1:17	0:02		2	19.1	7:58	8:05	0:07	
3	0.4	7:16	7:17	0:01		3	20.8	8:15	8:26	0:11	
4	0.8	7:45	7:46	0:01		4	24.6	8:31	8:44	0:13	
5	0.7	8:00	8:01	0:01		5	19.8	16:13	16:22	0:09	
6	1.3	8:11	8:13	0:02		6	24.2	20:45	20:57	0:12	
7	1.8	8:28	8:31	0:03		7					
8	0.7	9:00	9:01	0:01		8					
9	0.9	9:13	9:14	0:01		9					
10	1.3	10:56	10:58	0:02		10					
11	0.5	11:12	11:13	0:01		11					
12	0.8	11:30	11:31	0:01		12					
13	0.6	11:58	11:59	0:01		13					
14	0.9	12:11	12:12	0:01		14					
15	1.1	12:30	12:31	0:01		15					
16	1.6	12:31	12:33	0:02		16					
17	0.9	14:22	14:23	0:01		17					
18	1.1	14:30	14:32	0:02		18					
19	0.7	15:32	15:33	0:01		19					
20	0.5	16:27	16:28	0:01		20					
21	0.8	16:35	16:35	0:00		21					
22	0.6	16:55	16:55	0:00		22					
23	1.1	17:03	17:04	0:01		23					
24	0.7	17:25	17:26	0:01		24					
25	1.2	18:00	18:03	0:03		25					
26	2	18:18	18:21	0:03		26					
27	0.9	18:25	18:26	0:01		27					
28	1.1	19:15	19:16	0:01		28					
29	0.4	19:25	19:26	0:01		29					
30	2	20:13	20:16	0:03		30					
31	0.6	20:27	20:28	0:01		31					
32	1.4	21:33	21:35	0:02		32					
33	1.8	21:37	21:39	0:02		33					
34						34					
35						35					
<b>Σ</b>	33.4					<b>Σ</b>	132.2				
Observaciones:											
Realizó:						Revisó:					
Nombre: Jesús David Álvarez Trujillo						Nombre: Brayán David Bonilla					
Cargo: Aforador						Cargo: Supervisor					
Firma:						Firma:					

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER-FORMATO DE MEDICIÓN DE AGUAS GRISES											
Fecha: 26/06/2020		Día: Viernes		Hora inicial: 00:00		Hora final: 24:00		Condiciones climáticas:			
Información del inmueble											
Dirección: Carrera 35 # 99-48						Tipo de vivienda:		Casa: <input type="checkbox"/>		Apto: <input checked="" type="checkbox"/>	
Comuna: Lagos del Cacique			Comuna No.: 13			Personas que permanecen en el día: 4					
Barrio: Portón del Tejar			Localización: Sur de Bucaramanga			Personas que permanecen en la noche:4					
Estrato: 3			No. De pisos: 1			Área predio m2: 69			Área construida m2: 69		
Puntos de recolección de Aguas Grises											
Lavamanos						Ducha					
Descarga	Volumen (L)	Hora inicial	Hora final	Duración (min)	Observación Específica	Descarga	Volumen (L)	Hora inicial	Hora final	Duración (min)	Observación Específica
1	1.9	0:12	0:15	0:03		1	17.9	6:36	6:42	0:06	
2	0.5	0:39	0:40	0:01		2	25.4	7:15	7:26	0:11	
3	1.7	6:15	6:17	0:02		3	22.6	7:45	7:55	0:10	
4	0.5	6:30	6:31	0:01		4	25.9	8:12	8:24	0:12	
5	1.5	7:45	7:47	0:02		5	20.9	15:32	15:42	0:10	
6	1.8	8:00	8:03	0:03		6					
7	0.4	8:13	8:14	0:01		7					
8	0.7	8:45	8:46	0:01		8					
9	0.8	9:03	9:04	0:01		9					
10	1.9	9:45	9:48	0:03		10					
11	0.7	10:45	10:46	0:01		11					
12	0.9	11:23	11:24	0:01		12					
13	0.4	11:50	11:51	0:01		13					
14	1.1	12:09	12:11	0:02		14					
15	1.9	13:35	13:38	0:03		15					
16	1.3	14:05	14:07	0:02		16					
17	0.7	14:15	14:16	0:01		17					
18	0.6	15:29	15:30	0:01		18					
19	1.1	16:00	16:02	0:02		19					
20	0.3	16:45	16:46	0:01		20					
21	0.5	17:43	17:44	0:01		21					
22	0.8	18:15	18:16	0:01		22					
23	1	18:14	18:15	0:01		23					
24	1.1	19:32	19:33	0:01		24					
25	2.1	19:59	20:03	0:04		25					
26	1.5	20:30	20:32	0:02		26					
27	0.7	21:23	21:24	0:01		27					
28	1.3	22:45	22:47	0:02		28					
29	0.9	23:32	23:33	0:01		29					
30						30					
31						31					
32						32					
33						33					
34						34					
35						35					
<b>Σ</b>	30.6					<b>Σ</b>	112.7				
Observaciones:											
Realizó:						Revisó:					
Nombre: Jesús David Álvarez Trujillo						Nombre: Brayan David Bonilla					
Cargo: Aforador						Cargo: Supervisor					
Firma:						Firma:					

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER-FORMATO DE MEDICIÓN DE AGUAS GRISES											
Fecha: 27/06/2020		Día: Sábado		Hora inicial: 00:00		Hora Final: 24:00		Condiciones Climáticas			
Información del inmueble											
Dirección: Carrera 35 # 99-48						Tipo de vivienda: Casa: <input type="checkbox"/>			Apto: <input checked="" type="checkbox"/>		
Comuna: Lagos del Cacique			Comuna No.: 13			Personas que permanecen en el día: 4					
Barrio: Portón del Tejar			Localización: Sur de Bucaramanga			Personas que permanecen en la noche: 4					
Estrato: 3			No. De pisos: 1			Área predio m2: 69			Área construida m2: 69		
Puntos de recolección de Aguas Grises											
Lavamanos						Ducha					
Descarga	Volumen (L)	Hora inicial	Hora final	Duración (min)	Observación Específica	Descarga	Volumen (L)	Hora inicial	Hora final	Duración (min)	Observación Específica
1	0.7	0:12	0:13	0:01		1	21.4	7:18	7:31	0:13	
2	0.9	0:36	0:37	0:01		2	19.8	7:34	7:45	0:11	
3	1.3	2:30	2:32	0:02		3	20.5	8:25	8:34	0:09	
4	1.9	7:15	7:18	0:03		4	18.7	8:12	8:24	0:12	
5	0.7	7:32	7:33	0:01		5	20.3	16:15	16:25	0:10	
6	1.9	8:23	8:26	0:03		6	16.9	16:47	16:56	0:09	
7	1.1	8:45	8:47	0:02		7	19	20:03	20:15	0:12	
8	1.7	8:49	8:52	0:03		8					
9	2	9:03	9:06	0:03		9					
10	0.9	9:26	9:27	0:01		10					
11	0.4	10:00	10:01	0:01		11					
12	0.6	10:43	10:44	0:01		12					
13	0.9	11:31	11:32	0:01		13					
14	0.7	11:57	11:58	0:01		14					
15	1.2	12:45	12:47	0:02		15					
16	0.5	12:53	12:54	0:01		16					
17	1.3	13:15	13:18	0:03		17					
18	1.2	13:30	13:32	0:02		18					
19	0.5	14:03	14:04	0:01		19					
20	1.2	15:16	15:18	0:02		20					
21	0.6	15:48	15:49	0:01		21					
22	0.8	16:39	16:40	0:01		22					
23	0.4	17:13	17:15	0:02		23					
24	0.7	18:25	18:26	0:01		24					
25	0.9	18:32	18:33	0:01		25					
26	0.5	18:34	18:35	0:01		26					
27	0.4	19:13	19:14	0:01		27					
28	0.8	20:38	20:39	0:01		28					
29	1.3	21:12	21:14	0:02		29					
30	1.8	22:18	22:21	0:03		30					
31	1	23:05	23:06	0:01		31					
32	0.7	23:48	23:49	0:01		32					
33						33					
34						34					
35						35					
<b>Σ</b>				31.5		12:51:00 a. m.	<b>Σ</b>		136.6		
Observaciones:											
Realizó:						Revisó:					
Nombre: Jesús David Álvarez Trujillo						Nombre: Brayan David Bonilla					
Cargo: Aforador						Cargo: Supervisor					
Firma:						Firma:					

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER-FORMATO DE MEDICIÓN DE AGUAS GRISES											
Fecha: 28/06/2020		Día: Domingo		Hora inicial: 00:00		Hora Final: 24:00		Condiciones Climáticas:			
Información del inmueble											
Dirección: Carrera 35 # 99-48						Tipo de vivienda:		Casa: <input type="checkbox"/>		Apto: <input checked="" type="checkbox"/>	
Comuna: Lagos del Cacique			Comuna No.: 13			Personas que permanecen en el día: 4					
Barrio: Portón del Tejar			Localización: Sur de Bucaramanga			Personas que permanecen en la noche: 4					
Estrato: 3			No. De pisos: 1			Área predio m2: 69			Área construida m2: 69		
Puntos de recolección de Aguas Grises											
Lavamanos						Ducha					
Descarga	Volumen (L)	Hora inicial	Hora final	Duración (min)	Observación Específica	Descarga	Volumen (L)	Hora inicial	Hora final	Duración (min)	Observación Específica
1	0.9	0:23	0:24	0:01		1	16	7:08	7:16	0:08	
2	1.8	0:37	0:40	0:03		2	16.7	7:27	7:36	0:09	
3	0.8	1:15	1:16	0:01		3	22.6	8:39	8:51	0:12	
4	0.4	7:05	7:06	0:01		4	13.3	10:34	10:43	0:09	
5	0.7	7:23	7:24	0:01		5	35	10:55	11:00	0:05	
6	1.6	8:36	8:38	0:02		6	15.1	16:14	16:21	0:07	
7	0.9	8:52	8:53	0:01		7	17.2	19:48	19:56	0:08	
8	1.3	9:03	9:06	0:03		8					
9	1.5	9:17	9:19	0:02		9					
10	0.4	9:33	9:34	0:01		10					
11	0.6	10:15	10:15	0:00		11					
12	1	10:43	10:44	0:01		12					
13	7	10:51	10:56	0:05		13					
14	0.5	15:25	15:26	0:01		14					
15	0.4	16:03	16:04	0:01		15					
16	1	16:26	16:28	0:02		16					
17	0.6	16:31	16:32	0:01		17					
18	1.5	18:19	18:21	0:02		18					
19	0.7	18:25	18:26	0:01		19					
20	0.5	19:05	19:06	0:01		20					
21	1.2	19:08	19:10	0:02		21					
22	0.5	20:28	20:29	0:01		22					
23	0.6	20:44	20:45	0:01		23					
24	1.8	21:27	21:30	0:03		24					
25	1.7	22:48	22:50	0:02		25					
26	0.5	22:36	22:37	0:01		26					
27						27					
28						28					
29						29					
30						30					
31						31					
32						32					
33						33					
34						34					
35						35					
Σ	30.4			12:41:00 a. m.		Σ	135.9				
Observaciones:											
Realizó:						Revisó:					
Nombre: Jesús David Álvarez Trujillo						Nombre: Brayan David Bonilla					
Cargo: Aforador						Cargo: Supervisor					
Firma:						Firma:					

*Apéndice I. Materiales y procedimiento de los aforos***Materiales**

A continuación, se presentan los materiales empleados para la realización de los aforos:

- 2 recipientes de plástico para un volumen de 13 litros.
- 1 recipiente de plástico para un volumen de 54 litros.

**Procedimiento**

El procedimiento utilizado durante la medición de producción de AG en la vivienda se describe a continuación:

- Se realizaron 10 jornadas de toma de datos en un horario de 00:00 a 24:00, durante 3 días entre semana (lunes a viernes) y los 2 días del fin de semana.
- En cada jornada se diligenciaron con letra legible los datos generales acerca de la vivienda, requeridos en los formatos.
- Se identificaron los puntos de recolección y se adecuaron en cada uno de estos los recipientes debidamente tarados y calibrados.
- Se midió por cada descarga del usuario el volumen utilizado, la hora de inicio y la hora de finalización, por ende, la duración de esta.

A continuación, se presenta el proceso para cada punto de recolección

- Lavamanos: Se adecuaron recipientes plásticos (baldes) con un volumen de 13 L justo debajo del grifo captando el agua utilizada para el lavado de manos.
- Ducha: Se utilizaron recipientes plásticos (tinajas) con un volumen de 54 L, que se colocaron de tal forma que el agua producida en la ducha cayera directa en el recipiente. Por higiene se vació el recipiente por cada persona que utilizó la ducha.

- Descarga de inodoros: Se contabilizó la cantidad de descargas por día y se multiplicó por el consumo del dispositivo utilizado en cada uso.
- Consumo total: Para registrar el consumo de agua total de la vivienda se hizo lectura del medidor a las 00 horas del día en cuestión y pasadas 24 horas se tomó de nuevo la medida.

*Apéndice J. Fórmulas de normalización y ponderación para los criterios de selección de tecnologías*

<b>Indicador</b>	<b>Unidades</b>	<b>Normalización y ponderación</b>
<b>Criterio 1. Ambiental</b>		
Requerimientos de energía para tratamiento	kWh/m <sup>3</sup>	<b>Objetivo:</b> Mínimo valor posible <b>Normalización:</b> $dpuntaje = \left  \frac{d-d_{mín}}{d_{máx}-d_{mín}} \right  - 1 \times 100$
Emisión de olores	3. No 1. Sí	<b>Objetivo:</b> No <b>Normalización:</b> Si d= 1, entonces dpuntaje= 0 Si d= 3, entonces dpuntaje= 100
Generación de lodos	3. No 1. Sí	<b>Objetivo:</b> No <b>Normalización:</b> Si d= 1, entonces dpuntaje= 0 Si d= 3, entonces dpuntaje= 100
<b>Promedio de las normalizaciones</b>		
<b>Criterio 2. Económico</b>		
Costos de instalación, operación y mantenimiento	3. Bajo 2. Medio 1. Alto	<b>Objetivo:</b> Mínimo valor posible <b>Normalización:</b> Si d= 1, entonces dpuntaje= 0 Si d= 2, entonces dpuntaje= 50 Si d= 3, entonces dpuntaje= 100
<b>Criterio 3. Técnico</b>		
Simplicidad de operación y mantenimiento (Cualitativo)	3. Alto 2. Medio 1. Bajo	<b>Objetivo:</b> Máximo valor posible <b>Normalización:</b> Si d= 1, entonces dpuntaje= 0 Si d= 2, entonces dpuntaje= 50 Si d= 3, entonces dpuntaje= 100
Eficiencia remoción materia orgánica (DBO <sub>5</sub> )	3. Alto 2. Medio 1. Bajo	<b>Objetivo:</b> Máximo valor posible <b>Normalización:</b> Si d= 1, entonces dpuntaje= 0 Si d= 2, entonces dpuntaje= 50 Si d= 3, entonces dpuntaje= 100
Eficiencia remoción sólidos suspendidos totales (SST)	3. Alto 2. Medio 1. Bajo	<b>Objetivo:</b> Máximo valor posible <b>Normalización:</b> Si d= 1, entonces dpuntaje= 0 Si d= 2, entonces dpuntaje= 50 Si d= 3, entonces dpuntaje= 100
Eficiencia remoción coliformes fecales, coliformes totales y <i>E. Coli</i>	3. Alto 2. Medio 1. Bajo	<b>Objetivo:</b> Máximo valor posible <b>Normalización:</b> Si d= 1, entonces dpuntaje= 0 Si d= 2, entonces dpuntaje= 50 Si d= 3, entonces dpuntaje= 100
Requerimiento de área para implantación del sistema	Número de etapas	<b>Objetivo:</b> Mínimo valor posible <b>Normalización:</b> $dpuntaje = \left  \frac{d-d_{mín}}{d_{máx}-d_{mín}} \right  - 1 \times 100$
<b>Promedio de las normalizaciones</b>		

*Apéndice K. Proceso de diseño trenes propuestos***DISEÑO DE SEDIMENTADOR PRIMARIO**

Para el diseño del sedimentador se utilizó como referencia el libro (Romero, 2000), el procedimiento para el diseño se muestra a continuación:

El caudal utilizado para el diseño será el que trae la membrana de ultrafiltración por defecto y en base a este se dimensionará cada elemento de el tren de tratamiento de las AG.

$$Q = 16 \text{ Litro/hora}$$

Para el cálculo del volumen se asume un tiempo de retención de 120 minutos.

$$V = Q * T_R$$

$$V = 16 \frac{\text{Litros}}{\text{hora}} * \frac{120 \text{ minutos} * 1 \text{ hora}}{60 \text{ minutos}}$$

$$V = 32 \text{ Litros}$$

Para que las dimensiones sean congruentes se asume una altura de 20 cm

$$H_e = 0.35 \text{ m} = 35 \text{ cm}$$

Con una relación base: Longitud de 1:4 se obtienen las dimensiones principales:

$$B = 0.1511 \text{ m} \equiv 16 \text{ cm}$$

$$L = 0.604 \equiv 61 \text{ cm}$$

$$H_{BL} = 0.42 \text{ m} = 42 \text{ cm}$$

Para el resto de elementos, se presentan los cálculos a continuación:

- Altura baffle:

$$H_b = 0.9 * H_e = 0.9 * 35 \text{ cm} = 31.5 \text{ cm}$$

- Espacio Fondo-baffle:

$$H_{bf} = 0.1 * H_e = 0.1 * 35 \text{ cm} = 3.5 \text{ cm}$$

- Ubicación baffle

$$U_{bf} = 0.75 * L = 0.75 * 61 \text{ cm} = 43.75 \text{ cm}$$

- Tubería:

$$H_{bf} = 0.5 * B = 0.5 * 16 \text{ cm} = 8 \text{ cm}$$

- Altura de la tubería de entrada:

$$H_{bf} = 0.35 * H_e = 0.35 * 35 \text{ cm} = 12.25 \text{ cm}$$

$$V_H = \frac{16}{\frac{1000 * 3600}{0.16 * 0.61}} = 6 * 10^{-6} \frac{m}{s}$$

- Velocidad de suspensión máxima:

$$V_{rl} = \sqrt{\frac{8 * 0.04}{0.03} * 9.81 * (2650 - 1000) * 0.00005} = 0.0929 \text{ m/s}$$

Se cumple la condición de  $V_{rl} > V_h$

### FILTRO DE ARENA

Para el diseño del filtro lento de arena se utilizó como principal referencia la guía presentada por (CAWST, 2012) debido a que contiene instrucciones acerca del diseño, mantenimiento y funcionamiento.

Se comienza estimando el área superficial del filtro, utilizando el caudal de funcionamiento de la membrana, asumiendo que el sistema trabaja con una unidad debido a que existe pretratamiento, también se asumen 3 turnos de 8 horas y se escoge la velocidad de filtración de la siguiente tabla.

Velocidad de filtración según proceso requerido.

Procesos	$V_f(\text{m/h})$
Filtración lenta	0.1-0.2
Sedimentación o prefiltración lenta + Filtración lenta	0.15- 0.3
Sedimentación + prefiltración lenta + Filtración lenta	0.3-0.5

Adaptado de (Romero, 2000)

$$A_s = \frac{Q}{N * V_f} = \frac{0.008 \frac{m^3}{h}}{1 \text{ unidad} * 0.1 \text{ m/h}} = 0.08$$

Con esta información se procede a realizar el dimensionamiento del filtro:

$$k = \frac{2N}{N + 1} = \frac{2 * 1}{1 + 1} = 1$$

$$B = \sqrt{A_s * K} = \sqrt{0.08 * 1} = 0.28 \text{ m}$$

$$A = \sqrt{A_s / K} = \sqrt{0.08 / 1} = 0.28 \text{ m}$$

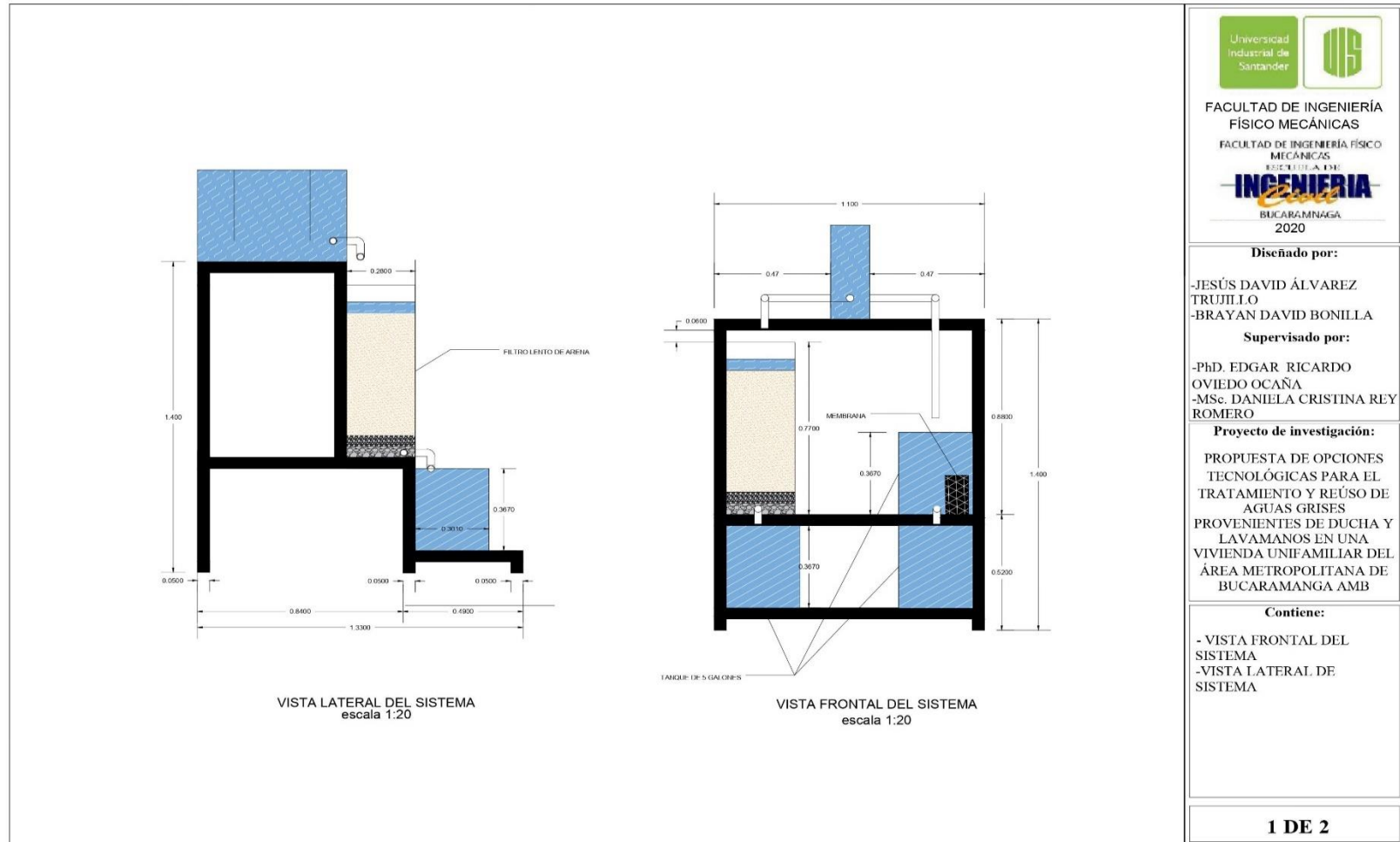
Como se había mencionado anteriormente se utilizará la granulometría planteada en el manual de CAWST (CAWST, 2012), que se presenta a continuación:

Alturas de capas de filtro de arena recomendadas por CAWST

<b>Material</b>		<b>Altura (m)</b>
<b>Arena</b>	<b>&lt;0,7</b>	0.545
<b>mm)</b>		
<b>Grava</b>	<b>(0.7-6)</b>	0.05
<b>mm</b>		
<b>Grava</b>	<b>(6-12)</b>	0.05
<b>mm</b>		

Adaptado de: (Romero, 2000)

Apéndice L. Planos trenes de tratamientos propuestos



FACULTAD DE INGENIERÍA  
FÍSICO MECÁNICAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO  
MECÁNICAS  
INGENIERIA  
BUCHARMANGA  
2020

**Diseñado por:**

-JESÚS DAVID ÁLVAREZ  
TRUJILLO  
-BRAYAN DAVID BONILLA

**Supervisado por:**

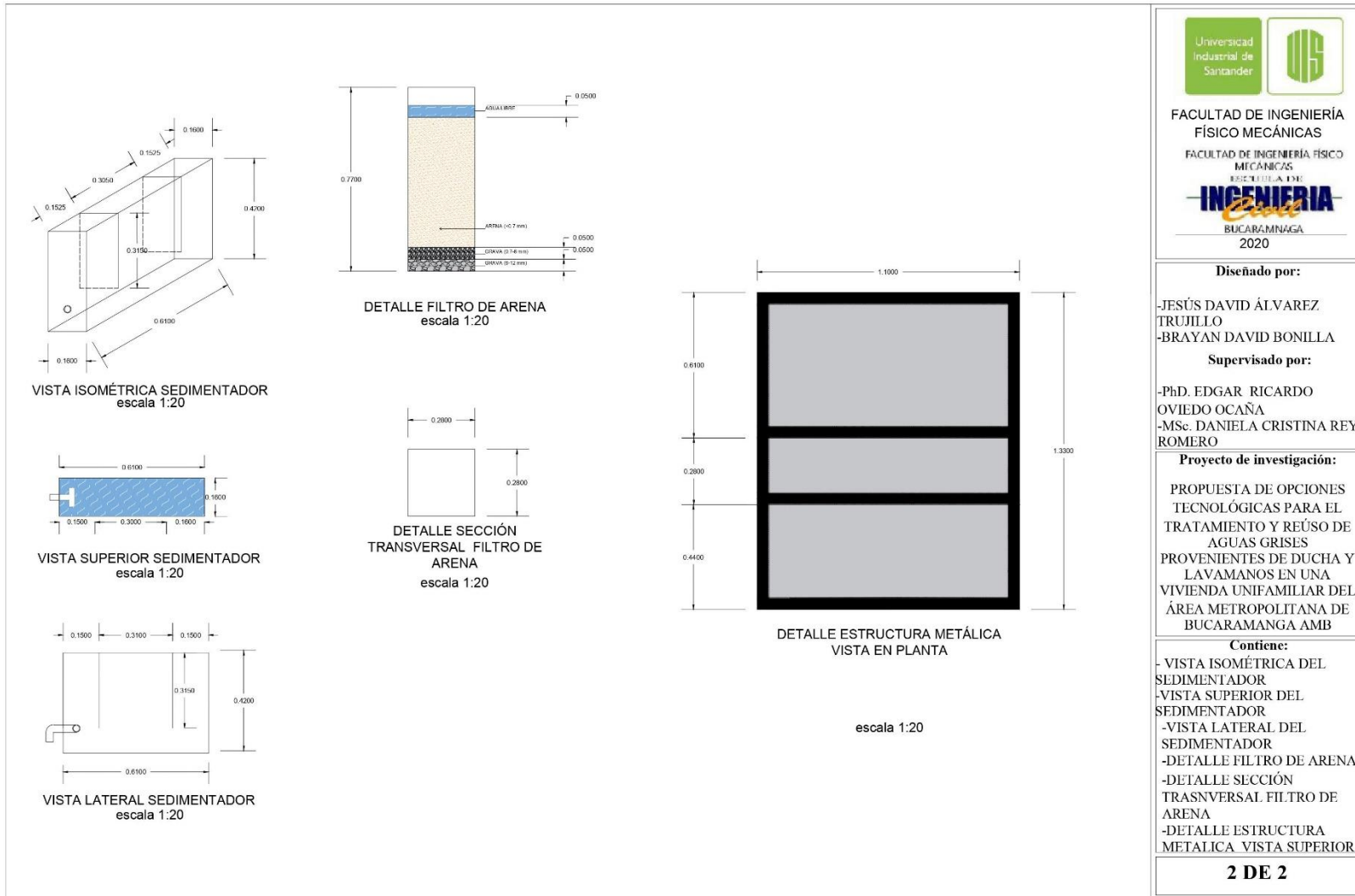
-PhD. EDGAR RICARDO  
OVIEDO OCAÑA  
-MSc. DANIELA CRISTINA REY  
ROMERO

**Proyecto de investigación:**

PROPUESTA DE OPCIONES  
TECNOLÓGICAS PARA EL  
TRATAMIENTO Y REÚSO DE  
AGUAS GRISES  
PROVENIENTES DE DUCHA Y  
LAVAMANOS EN UNA  
VIVIENDA UNIFAMILIAR DEL  
ÁREA METROPOLITANA DE  
BUCHARMANGA AMB

**Contiene:**

- VISTA FRONTAL DEL  
SISTEMA  
-VISTA LATERAL DE  
SISTEMA



FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO MECÁNICAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO MECÁNICAS  
INGENIERÍA  
BUCARAMANGA 2020

**Diseñado por:**

-JESÚS DAVID ÁLVAREZ TRUJILLO  
-BRAYAN DAVID BONILLA

**Supervisado por:**

-Ph.D. EDGAR RICARDO OVIEDO OCAÑA  
-MSc. DANIELA CRISTINA REY ROMERO

**Proyecto de investigación:**

PROPUESTA DE OPCIONES TECNOLÓGICAS PARA EL TRATAMIENTO Y REÚSO DE AGUAS GRISES PROVENIENTES DE DUCHA Y LAVAMANOS EN UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR DEL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA AMB

**Contiene:**

- VISTA ISOMÉTRICA DEL SEDIMENTADOR  
-VISTA SUPERIOR DEL SEDIMENTADOR  
-VISTA LATERAL DEL SEDIMENTADOR  
-DETALLE FILTRO DE ARENA  
-DETALLE SECCIÓN TRANSVERSAL FILTRO DE ARENA  
-DETALLE ESTRUCTURA METÁLICA VISTA SUPERIOR

**2 DE 2**

Parámetros	Unidades	Francia [a] n=5				Alemania [b] n= 10 años						Portugal [c] n= 8		
		Media	Máx.	Mín.	DE	AGC			Ducha			AGC	Lavama nos	Ducha
						Máx.	Mín.	Medi a	Máx.	Mín.	Medi a	Media	Media	Media
pH	-	7.64	7.71	7.34	0.15	-	-	-	-	-	-	6.90	7.10	6.70
Turbidez	UNT	150.00	462.00	35.30	177.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DQO	mg/L	399.00	1001.00	112.00	360.00	100.00	200.00	150.00	113.00	633.00	373.00	270.00	196.80	540.20
DBO <sub>5</sub>	mg/L	240.00	670.00	78.00	246.00	-	-	-	-	-	-	140.00	-	-
SST	mg/L	125.00	360.00	37.00	136.00	-	-	-	-	-	-	15.00	-	-
COT	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1100.00	-	-
Coliformes fecales	UFC/10 0ml	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.20E+04	3.33E+02	4.45E+04
<i>E.Coli</i>	UFC/10 0ml	4.76E+05	2.07E+06	2.34E+04	8.95E+05	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coliformes totales	UFC/10 0ml	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.90E+06	5.43E+04	2.22E+05
Nitrógeno Total	mg/L	9.50	15.90	4.30	5.80	5.00	10.00	7.50	-	-	-	-	-	-
Fósforo Total	mg/L	0.42	1.12	0.20	0.39	0.20	0.60	0.40	-	-	-	-	-	-

## Información adicional

n: Número de muestras, DE: Desviación estándar

## Referencias

[a] Chailou 2011 et al; [b] Nolde et al 2000; [c] Matos et al

Parámetros	Unidades	Canadá [d] n=6	Australia [e] n=na	Estados Unidos [f] n= 5	Jordania [g] n= 57		Jordani a [h] n= 4 meses	Malasia [i] n=17			
		Ducha	Ducha	AGC	Ducha	Lavamanos	Ducha	AGC			
		Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Máx.	Mín.	DE
pH	-	7.70	7.37	7.35	8.00	7.97	7.15	6.13	6.40	5.94	0.20
Turbidez	UNT	39.82	-	20.59	-	-	-	-	-	-	-
DQO	mg/L	112.00	-	148.03	141.33	190.23	537.00	445.00	903.00	146.00	221.13
DBO <sub>5</sub>	mg/L	70.00	-	49.00	90.07	121.67	120.00	349.00	673.00	168.00	184.51
SST	mg/L	-	-	40.02	262.00	288.13	-	81.00	224.00	36.00	53.92
COT	mg/L	-	24.62	33.62	-	-	-	-	-	-	-
Coliformes fecales	UFC/100 ml	2.37E+04	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>E.Coli</i>	UFC/100 ml	-	-	-	-	-	-	4.50E+05	5.20E+06	0.00E+00	1.50E+06
Coliformes totales	UFC/100 ml	2.87E+04	-	1.35E+08	-	-	-	1.10E+08	1.91E+08	6.04E+07	3.83E+07
Nitrógeno Total	mg/L	-	-	-	-	-	2.40	-	-	-	-
Fósforo Total	mg/L	-	-	-	-	-	1.20	-	-	-	-

#### Información adicional

n: Número de muestras, DE: Desviación estándar

#### Referencias

[d] Craig et al 2017; [e] Boyjoo Y et al 2012; [f] Yu et al 2016; [g] Jamrah et al 2008; [h] Ghunmi, L A et al 2008; [i] Teh et al 2015

Parámetros	Unidades	Portugal [j] n= 8				Turquía [k] n= na		Grecia [l] n= 6			
		Lavamanos		Ducha		Lavamanos	Ducha	Lavamanos		Ducha	
		Media	DE	Media	DE	Media	Media	Media	DE	Media	DE
pH	-	7.10	0.50	6.70	1.10	-	-	7.07	0.25	7.22	0.14
Turbidez	UNT	197.00	-	540.00	-	-	-	-	-	-	-
DQO	mg/L	-	-	-	-	1171.00	654.00	-	-	-	-
DBO <sub>5</sub>	mg/L	-	-	-	-	568.00	385.00	-	-	-	-
SST	mg/L	-	-	-	-	-	-	61.00	37.00	63.00	38.00
COT	mg/L	-	-	-	-	-	-	335.00	207.00	399.00	183.00
Coliformes fecales	UFC/100ml	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>E.Coli</i>	UFC/100ml	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coliformes totales	UFC/100ml	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitrógeno Total	mg/L	-	-	-	-	14.13	10.60	-	-	-	-
Fósforo Total	mg/L	-	-	-	-	2.25	1.67	-	-	-	-

## Información adicional

n: Número de muestras, na: No presenta información, DE: Desviación estándar

## Referencias

[j] Santos et al 2014; [k] Oktor et al 2019; [l] Antonopoulos et al 2013

Parámetros	Unidades	Reino Unido [m] n= 102			Israel [n] n=148			Jordania [o] n= 75	
		Lavamanos	Ducha	AGC	Ducha	Lavamanos	Ducha	Media	Media
		Media	Media	Media	Media	DE	Media	DE	Media
pH	-	7.32	7.52	7.47	7.43	0.36	7.00	0.30	7.42
Turbidez	UNT	164.00	84.80	100.60	-	-	-	-	35.20
DQO	mg/L	587.00	420.00	451.00	645.00	289.00	386.00	230.00	77.00
DBO <sub>5</sub>	mg/L	155.00	146.00	146.00	444.00	219.00	205.00	42.50	40.20
SST	mg/L	-	-	-	303.00	205.00	259.00	130.00	-
COT	mg/L	99.00	65.30	72.60	120.00	69.60	119.00	44.30	-
Coliformes fecales	UFC/100ml	-	-	-	4.00E+06	8.50E+06	3.53E+03	3.40E+03	6.40E+01
<i>E.Coli</i>	UFC/100ml	1.00E+01	1.49E+03	2.02E+03	-	-	-	-	-
Coliformes totales	UFC/100ml	-	-	-	-	-	-	-	3.00E+02
Nitrógeno Total	mg/L	10.40	8.70	8.73	-	-	-	-	-
Fósforo Total	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-

## Información adicional

n: Número de muestras, na: No presenta información, DE: Desviación estándar

## Referencias

[m] Jefferson et al 2004; [n] Friedler et al 2004; [o] Jamrah et al 2006

*Apéndice N. Volúmenes totales de aforo semana 1*

Hora	Lavamanos				Ducha				AGC			
	Consumo por hora [L]	Consumo por hora acumulado [L]	Consumo promedio diario por hora [L]	Consumo promedio acumulado diario por hora [L]	Consumo por hora [L]	Consumo por hora acumulado [L]	Consumo promedio diario por hora [L]	Consumo promedio acumulado diario por hora [L]	Consumo por hora [L]	Consumo por hora acumulado [L]	Consumo promedio diario por hora [L]	Consumo promedio acumulado diario por hora [L]
00:00-01:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01:00-02:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
02:00-03:00	1.20	1.20	0.24	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20	1.20	0.24	0.24
03:00-04:00	0.00	1.20	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20	0.00	0.24
04:00-05:00	1.40	2.60	0.28	0.52	0.00	0.00	0.00	0.00	1.40	2.60	0.28	0.52
05:00-06:00	3.90	6.50	0.78	1.30	27.00	27.00	5.40	5.40	30.90	33.50	6.18	6.70
06:00-07:00	12.25	18.75	2.45	3.75	137.20	164.20	27.44	32.84	149.45	182.95	29.89	36.59
07:00-08:00	0.70	19.45	0.14	3.89	46.40	183.60	9.28	42.12	47.10	230.05	9.42	46.01
08:00-09:00	3.40	22.85	0.68	4.57	66.20	249.80	13.24	55.36	69.60	299.65	13.92	59.93
09:00-10:00	5.75	28.60	1.15	5.72	44.00	293.80	8.80	64.16	49.75	349.40	9.95	69.88
10:00-11:00	5.30	33.90	1.06	6.78	16.10	309.90	3.22	67.38	21.40	370.80	4.28	74.16
11:00-12:00	5.65	39.55	1.13	7.91	0.00	309.90	0.00	67.38	5.65	376.45	1.13	75.29
12:00-13:00	9.30	48.85	1.86	9.77	0.00	309.90	0.00	67.38	9.30	385.75	1.86	77.15
13:00-14:00	5.15	54.00	1.03	10.80	0.00	309.90	0.00	67.38	5.15	390.90	1.03	78.18
14:00-15:00	0.45	54.45	0.09	10.89	0.00	309.90	0.00	67.38	0.45	391.35	0.09	78.27
15:00-16:00	4.05	58.50	0.81	11.70	0.00	309.90	0.00	67.38	4.05	395.40	0.81	79.08
16:00-17:00	2.35	60.85	0.47	12.17	65.70	375.60	13.14	80.52	68.05	463.45	13.61	92.69
17:00-18:00	2.08	62.93	0.42	12.59	0.00	375.60	0.00	80.52	2.08	465.53	0.42	93.11
18:00-19:00	5.30	68.23	1.06	13.65	0.00	375.60	0.00	80.52	5.30	470.83	1.06	94.17
19:00-20:00	4.17	72.40	0.83	14.48	42.30	417.90	8.46	88.98	46.47	517.30	9.29	103.46
20:00-21:00	10.05	82.45	2.01	16.49	36.30	454.20	7.26	96.24	46.35	563.65	9.27	112.73
21:00-22:00	4.20	86.65	0.84	17.33	0.00	454.20	0.00	96.24	4.20	567.85	0.84	113.57

22:00-23:00	5.20	91.85	1.04	18.37	67.30	521.50	13.46	109.70	72.50	640.35	14.50	128.07
23:00-00:00	5.15	97.00	1.03	19.40	17.00	538.50	3.40	113.10	22.15	662.50	4.43	132.50

*Apéndice O. Volúmenes totales de aforo semana 2*

Hora	Lavamanos				Ducha				AGC			
	Consumo por hora [L]	Consumo por hora acumulado [L]	Consumo promedio diario por hora [L]	Consumo promedio acumulado diario por hora [L]	Consumo por hora [L]	Consumo por hora acumulado [L]	Consumo promedio diario por hora [L]	Consumo promedio acumulado diario por hora [L]	Consumo por hora [L]	Consumo por hora acumulado [L]	Consumo promedio diario por hora [L]	Consumo promedio acumulado diario por hora [L]
00:00-01:00	8.60	8.60	1.72	1.72	0.00	0.00	0.00	0.00	8.60	8.60	1.72	1.72
01:00-02:00	3.00	11.60	0.60	2.32	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	11.60	0.60	2.32
02:00-03:00	1.30	12.90	0.26	2.58	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30	12.90	0.26	2.58
03:00-04:00	0.00	12.90	0.00	2.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.90	0.00	2.58
04:00-05:00	0.00	12.90	0.00	2.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.90	0.00	2.58
05:00-06:00	0.00	12.90	0.00	2.58	15.80	15.80	3.16	3.16	15.80	28.70	3.16	5.74
06:00-07:00	3.40	16.30	0.68	3.26	35.10	50.90	7.02	10.18	38.50	67.20	7.70	13.44
07:00-08:00	9.80	26.20	1.96	5.22	210.10	261.00	42.02	52.20	219.90	287.10	43.98	57.42
08:00-09:00	15.40	41.60	3.08	8.30	133.10	394.10	26.62	78.82	148.50	435.60	29.70	87.12
09:00-10:00	11.70	53.30	2.34	10.64	0.00	394.10	0.00	78.82	11.70	447.30	2.34	89.46
10:00-11:00	14.50	67.80	2.90	13.54	48.30	442.40	9.66	88.48	62.80	510.10	12.56	102.02
11:00-12:00	7.20	75.00	1.44	14.98	0.00	442.40	0.00	88.48	7.20	517.30	1.44	103.46
12:00-13:00	10.80	85.80	2.16	17.14	0.00	442.40	0.00	88.48	10.80	528.10	2.16	105.62
13:00-14:00	4.80	90.60	0.96	18.10	0.00	442.40	0.00	88.48	4.80	532.90	0.96	106.58
14:00-15:00	5.70	96.30	1.14	19.24	0.00	442.40	0.00	88.48	5.70	538.60	1.14	107.72
15:00-16:00	4.10	100.40	0.82	20.06	20.90	463.30	4.18	92.66	25.00	563.60	5.00	112.72
16:00-17:00	8.70	109.10	1.74	21.80	95.00	558.30	19.00	111.66	103.70	667.30	20.74	133.46
17:00-18:00	6.30	115.40	1.26	23.06	0.00	558.30	0.00	111.66	6.30	673.60	1.26	134.72
18:00-19:00	12.70	128.10	2.54	25.60	0.00	558.30	0.00	111.66	12.70	686.30	2.54	137.26
19:00-20:00	8.90	137.00	1.78	27.38	36.20	594.50	7.24	118.90	45.10	731.40	9.02	146.28
20:00-21:00	7.50	144.50	1.50	28.88	24.20	618.70	4.84	123.74	31.70	763.10	6.34	152.62
21:00-22:00	7.70	152.20	1.54	30.42	0.00	618.70	0.00	123.74	7.70	770.80	1.54	154.16

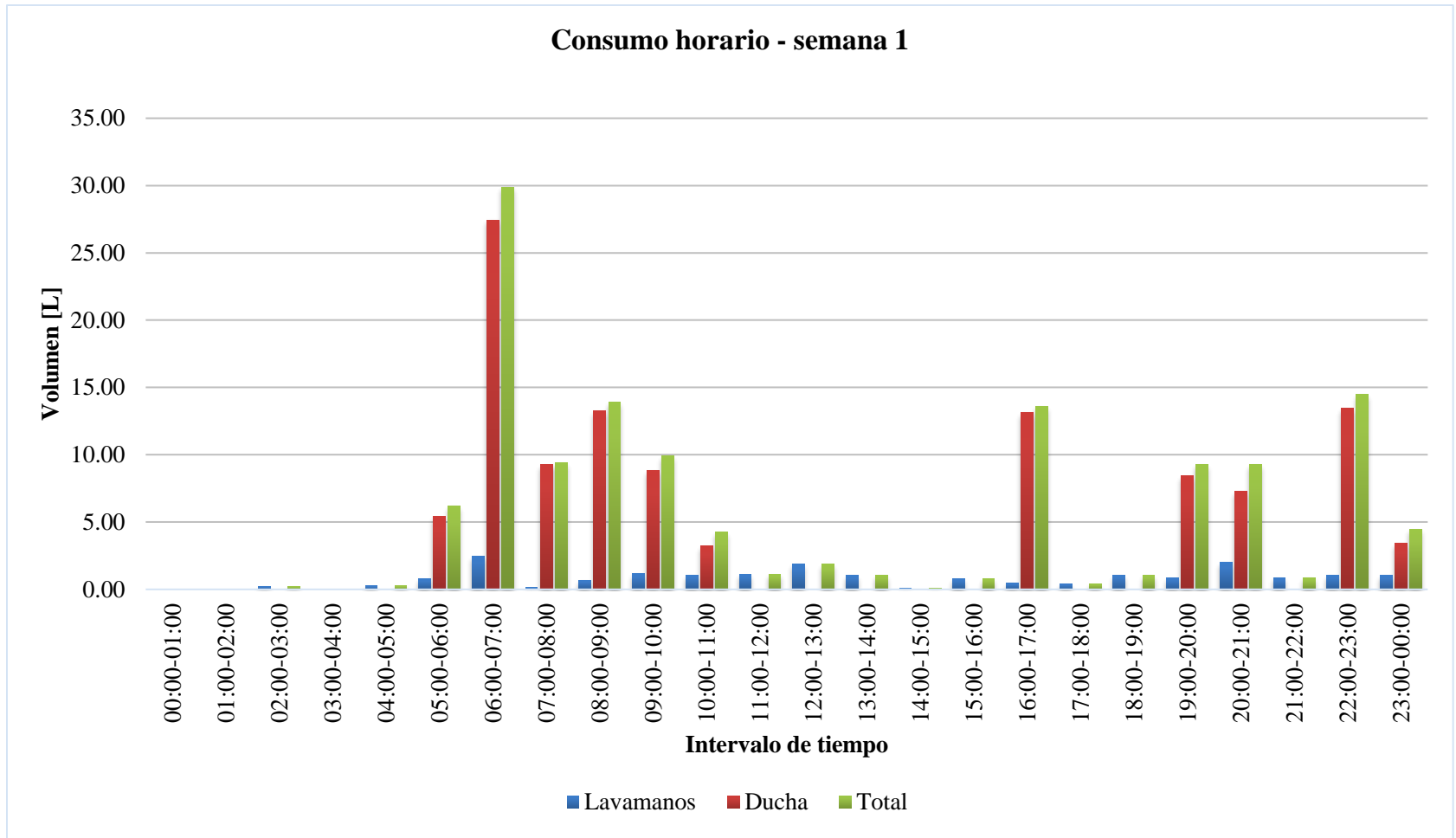
22:00-23:00	8.90	161.10	1.78	32.20	21.00	639.70	4.20	127.94	29.90	800.70	5.98	160.14
23:00-00:00	4.00	165.10	0.80	33.00	0.00	639.70	0.00	127.94	4.00	804.70	0.80	160.94

*Apéndice P. Volúmenes totales de aforo para las dos semanas*

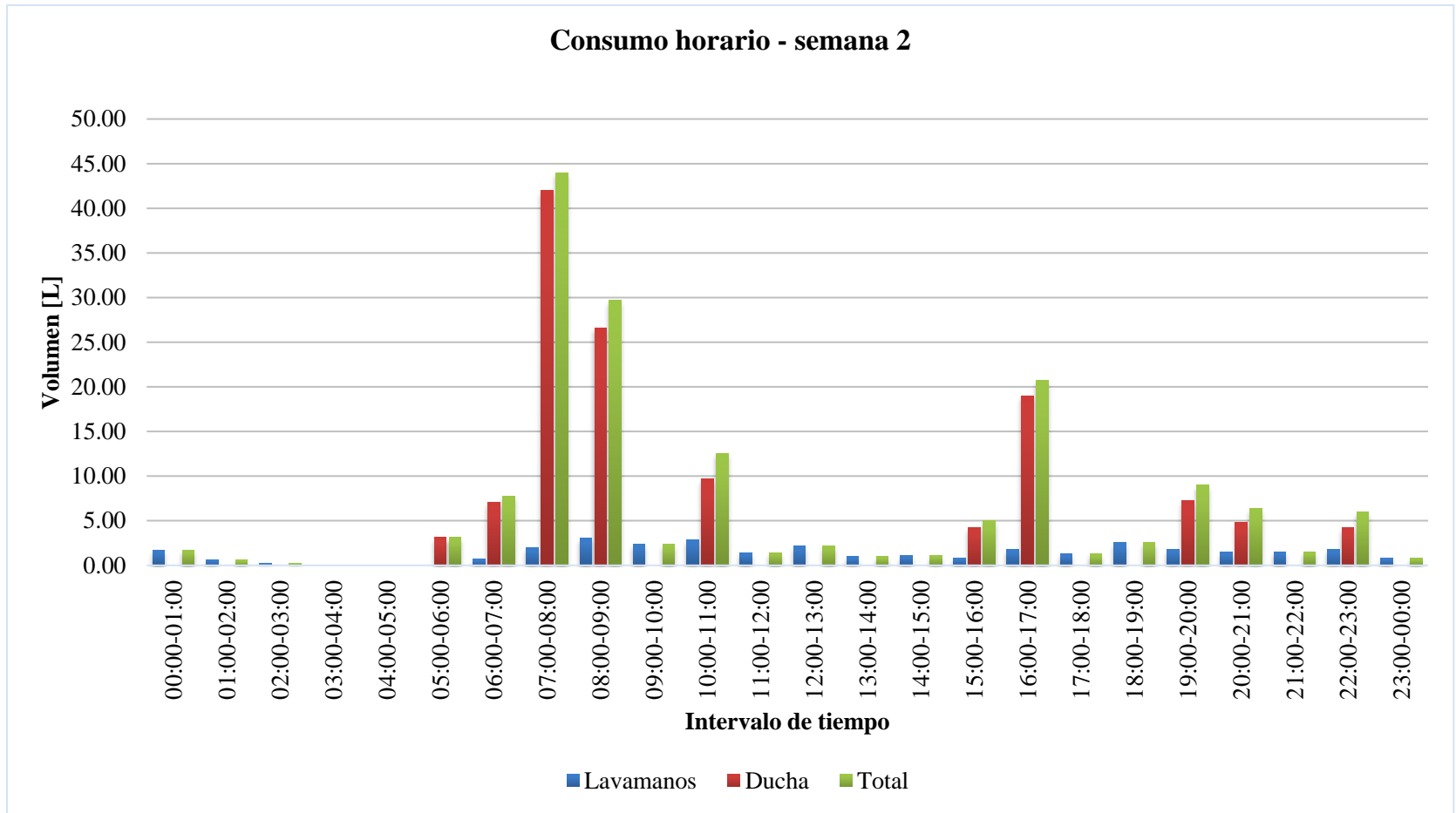
Hora	Lavamanos				Ducha				AGC			
	Consumo por hora [L]	Consumo por hora acumulado [L]	Consumo promedio diario por hora [L]	Consumo promedio acumulado diario por hora [L]	Consumo por hora [L]	Consumo por hora acumulado [L]	Consumo promedio diario por hora [L]	Consumo promedio acumulado diario por hora [L]	Consumo por hora [L]	Consumo por hora acumulado [L]	Consumo promedio diario por hora [L]	Consumo promedio acumulado diario por hora [L]
00:00-01:00	8.60	8.60	0.86	0.86	0.00	0.00	0.00	0.00	8.60	8.60	0.86	0.86
01:00-02:00	3.00	11.60	0.30	1.16	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	11.60	0.30	1.16
02:00-03:00	2.50	12.90	0.25	1.41	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30	12.90	0.13	1.29
03:00-04:00	0.00	12.90	0.00	1.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.90	0.00	1.29
04:00-05:00	1.40	12.90	0.14	1.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.90	0.00	1.29
05:00-06:00	3.90	12.90	0.39	1.94	42.80	15.80	4.28	4.28	15.80	28.70	1.58	2.87
06:00-07:00	15.65	16.30	1.57	3.51	172.30	50.90	17.23	21.51	38.50	67.20	3.85	6.72
07:00-08:00	10.50	26.20	1.05	4.56	256.50	261.00	25.65	47.16	219.90	287.10	21.99	28.71
08:00-09:00	18.80	41.60	1.88	6.44	199.30	394.10	19.93	67.09	148.50	435.60	14.85	43.56
09:00-10:00	17.45	53.30	1.75	8.18	44.00	394.10	4.40	71.49	11.70	447.30	1.17	44.73
10:00-11:00	19.80	67.80	1.98	10.16	64.40	442.40	6.44	77.93	62.80	510.10	6.28	51.01
11:00-12:00	12.85	75.00	1.29	11.45	0.00	442.40	0.00	77.93	7.20	517.30	0.72	51.73
12:00-13:00	20.10	85.80	2.01	13.46	0.00	442.40	0.00	77.93	10.80	528.10	1.08	52.81
13:00-14:00	9.95	90.60	1.00	14.45	0.00	442.40	0.00	77.93	4.80	532.90	0.48	53.29
14:00-15:00	6.15	96.30	0.62	15.07	0.00	442.40	0.00	77.93	5.70	538.60	0.57	53.86
15:00-16:00	8.15	100.40	0.82	15.88	20.90	463.30	2.09	80.02	25.00	563.60	2.50	56.36
16:00-17:00	11.05	109.10	1.11	16.99	160.70	558.30	16.07	96.09	103.70	667.30	10.37	66.73
17:00-18:00	8.38	115.40	0.84	17.82	0.00	558.30	0.00	96.09	6.30	673.60	0.63	67.36
18:00-19:00	18.00	128.10	1.80	19.62	0.00	558.30	0.00	96.09	12.70	686.30	1.27	68.63
19:00-20:00	13.07	137.00	1.31	20.93	78.50	594.50	7.85	103.94	45.10	731.40	4.51	73.14
20:00-21:00	17.55	144.50	1.76	22.69	60.50	618.70	6.05	109.99	31.70	763.10	3.17	76.31
21:00-22:00	11.90	152.20	1.19	23.88	0.00	618.70	0.00	109.99	7.70	770.80	0.77	77.08

22:00-23:00	14.10	161.10	1.41	25.29	88.30	639.70	8.83	118.82	29.90	800.70	2.99	80.07
23:00-00:00	9.15	165.10	0.92	26.20	17.00	639.70	1.70	120.52	4.00	804.70	0.40	80.47

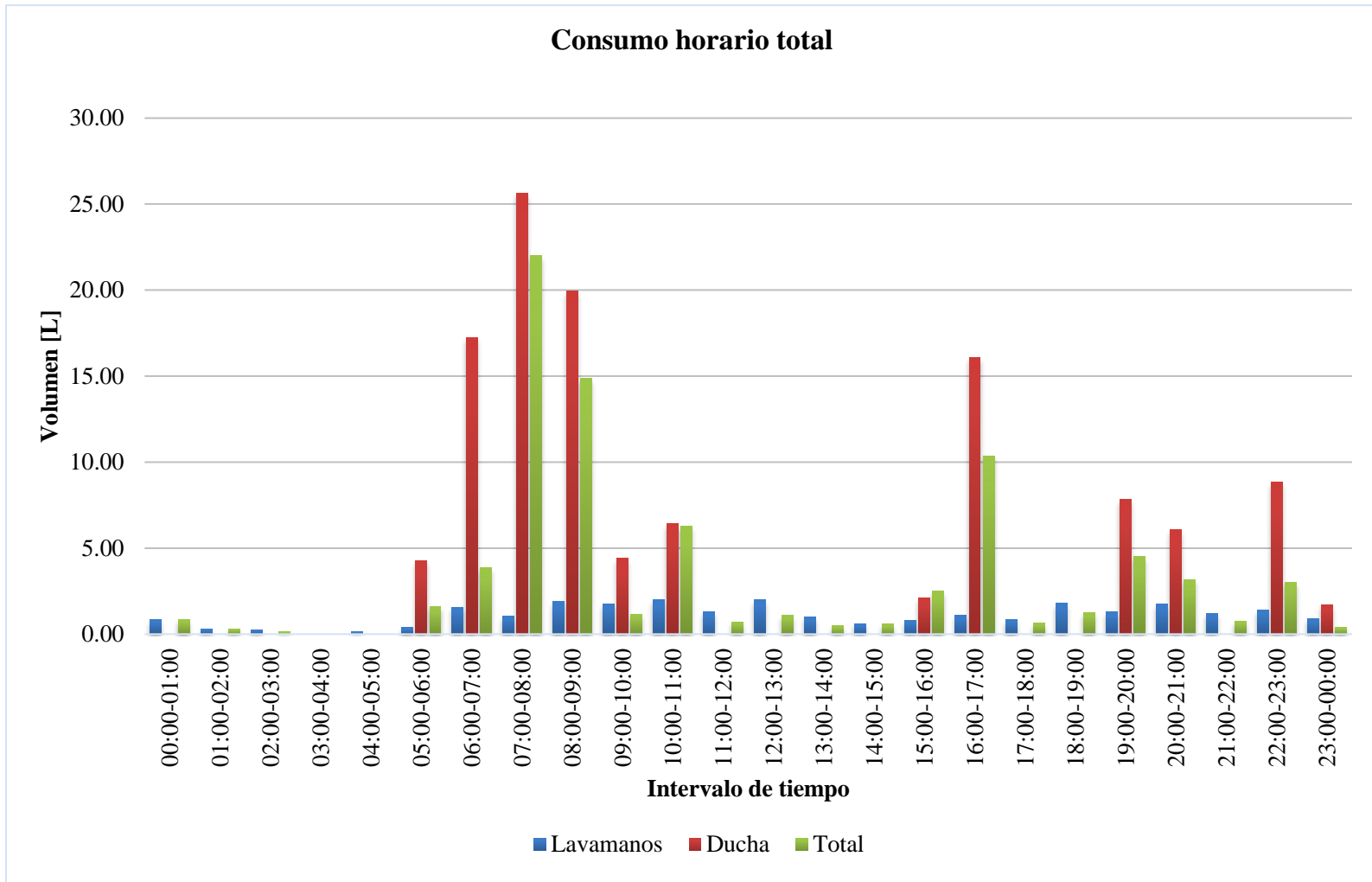
Apéndice Q. Consumo horario promedio en la semana 1



Apéndice R. Consumo horario promedio en la semana 2



Apéndice S. Consumo horario promedio para las dos semanas



## Apéndice T. Consumos de agua potable de diversos usos domésticos encontrados en la literatura

<b>Consumo [L/día-Persona]</b>							
Fuente	Colombia [a]	Israel [b]	Portugal [c]	Canadá [d]	Reino Unido [e]	Yemen [f]	Jordania [g]
Cocina	-	27-33	40.1	-	14.9	7.33	34.5
Ducha	30.13	45-55	38.20	-	57.60	32.17	15.60
Lavamanos	6.55	-	10.40	-	9.20	4.67	-
Lavadora y limpieza	-	8-10	7.50	-	16.80	22.50	10.47
Descarga de inodoros	28.50	50-65	-	21.00	28.80	31.00	15.03
Jardinería	-	8-10	-	-	-	-	5.33

## Referencias

[a] Este estudio 2020; [b] Oron et al 2014; [c] Matos et al 2010; [d] Craig et al 2018; [e] Zadeh et al 2014; [f] Al-Mughalles M H et al; [g] Jamrah et al 2008

Consumo [L/día-Persona]								
Fuente	Jordania [h]	India [i]	Siria [j]	Grecia [k]	Alemania [l]	Israel [m]	Portugal [n]	Jordania[o]
Cocina	-	37	-	18.8	12.6	30	19.65	32.76
Ducha	21.00	30.00	13.56	33.90	42.00	20.00	39.06	19.99
Lavamanos	28.00	17.00	11.27	8.60		15.00	17.20	-
Lavadora y limpieza	10.00	35.00	-	21.30	18.90	13.00	13.26	9.58
Descarga de inodoros	17.00	25.00	36.49	59.40	26.25	-	20.79	16.13
Jardinería	5.00	-	-	-	5.25	-	-	4.79

## Referencias

[h] Ghunmi , L A et al 2008; [i] Mandal et al 2011; [j] Mourad et al 2011; [k] Antonopoulou, G et al 2013; [l] Li et al 2009; [m] Friedler et al 2004; [n] Matos et al 2013; [o] Jamrah et al 2006

*Apéndice U. Fichas de caracterización de las tecnologías*

<b>FILTRO DE ARENA</b>	
Descripción	Capas de arena y grava de distintos tamaños que atrapan y absorben contaminantes mientras las AG fluyen a través de estas (Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM), n.d.-h).
Requerimientos de energía para tratamiento	Si trabaja por gravedad no requiere bombeo (Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM), n.d.-h), suponiendo un ahorro en gasto eléctrico o de combustible (Brikké & Bredero, 2003).
Costos de instalación	Relativamente bajos, dependen principalmente de la disponibilidad de materiales locales (J.T. Visscher & Veenstra, 1985).
O&M	Operación simple y mantenimiento sencillo que no requieren personal especializado (The Egyptian-German Private Sector Development Programme, n.d.), (J.T. Visscher & Veenstra, 1985). Costos bajos requeridos para la limpieza de las capas del filtro, no se necesitan agentes químicos ni herramientas avanzadas (Huisman & Wood, 1974).
Generación de lodos	NO
Emisión de olores	NO
Ventajas adicionales (Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM), n.d.-h)	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Efectivo removiendo bacterias, turbidez y metales pesados.</li> <li>*Simplicidad en el diseño.</li> <li>*Alta vida útil (estimado a más de 10 años).</li> </ul>
Desventajas adicionales (Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM), n.d.-h)	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Reduce patógenos, pero no los elimina.</li> <li>*Susceptible a que el agua se atasque y se produzcan inundaciones.</li> <li>*Temperaturas bajas pueden reducir su efectividad.</li> </ul>

---

**MBR (REACTORES BIOLÓGICOS DE MEMBRANA)**

---

Descripción	Combinación de procesos biológicos de tratamiento con filtración de membrana para generar un efluente de alta calidad (Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM), n.d.-d).
Requerimientos de energía para tratamiento	1.4 kWh/m <sup>3</sup> – 1.7 kWh/m <sup>3</sup> (Jabornig & Podmirseg, 2015), (Abdel-Kader, 2013).
Costos de instalación	Alto costo de instalación, siendo económicamente factible únicamente en edificios que excedan los 40 pisos (Eran Friedler & Hadari, 2006).
O&M	Costos de operación y mantenimiento son altos, sumado a su requerimiento de personal especializado (Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM), n.d.-i), (Mahmudul Hasan et al., 2015).
Generación de lodos	SÍ
Emisión de olores	NO
Ventajas adicionales (Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM), n.d.-d)	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Altamente efectivo si es diseñado y operado correctamente.</li> <li>*Puede tratar AG con diferentes grados de contaminación.</li> <li>*Bajo tiempo de retención.</li> </ul>
Desventajas adicionales (Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM), n.d.-d)	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Reduce patógenos, pero no los elimina.</li> <li>*Susceptible a que el agua se atasque y se produzcan inundaciones.</li> <li>*Temperaturas bajas pueden reducir su efectividad.</li> </ul>

---

<b>SEDIMENTACIÓN</b>	
Descripción	Remueve partículas pequeñas sólidas (arenas, arcillas y limos) y algunos contaminantes biológicos del agua bajo la influencia de la gravedad (Avellaneda & Salcedo, 2019). Es recomendado como un pretratamiento simple del agua antes de una filtración y métodos de desinfección (Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM), n.d.-g).
Requerimientos de energía para tratamiento	No requiere gasto energético, funciona bajo el efecto de la gravedad (Van Dijk & Oomen, 1978).
Costos de instalación	Costos bajos según disponibilidad de materiales en el mercado local (Van Dijk & Oomen, 1978).
O&M	No requiere personal especializado y/o herramientas específicas (Brikké & Bredero, 2003).
Generación de lodos	SÍ
Emisión de olores	SÍ
Ventajas adicionales (Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM), n.d.-g)	*Eficiente removiendo sólidos suspendidos.
Desventajas adicionales (Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM), n.d.-g)	* Requiere un tiempo de retención alto.

<b>RBC (CONTACTORES BIOLÓGICOS ROTATIVOS)</b>	
Descripción	Es una tecnología de tratamiento de aguas residuales, en la que microorganismos degradan la materia orgánica adheridos a un material de soporte, que gira semisumergido en el agua a depurar. Este mecanismo expone su superficie alternativamente al agua y al aire, desarrollándose una película de biomasa con bacterias que se alimentan de la materia orgánica soluble presente en las AG (Avellaneda & Salcedo, 2019; Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM), n.d.-f).
Requerimientos de energía para tratamiento	Requerimiento de energía calculado de 1.2 kWh/m <sup>3</sup> (Abdel-Kader, 2013).
Costos de instalación	Sistemas basados en este proceso son económicamente factibles en edificios de más de 16 pisos (Eran Friedler & Hadari, 2006), además su disponibilidad en el mercado es reducida [89].
O&M	Altos costos debido a que requiere personal calificado, necesario para la lubricación y reemplazo de las piezas en movimiento, motores y cojinetes, además de limpieza de partes en contacto con el suelo (Metcalf & Eddy, 2003).
Generación de lodos	SÍ
Emisión de olores	SÍ
Ventajas adicionales [89]	*Efluente de alta calidad. *Estabilidad del proceso ante cambios abruptos de cargas contaminantes. *Tiempo de retención bajo.
Desventajas adicionales [89]	*Proceso silencioso respecto a dosificación con bombeo para aireación. *Necesita protección ante a la luz solar, el viento y la lluvia.

<b>TANQUE DE AIREACIÓN</b>	
Descripción	Provee oxígeno y mantiene suspendidos los organismos aeróbicos, además los mezcla con agua para lograr un alto rango de degradación orgánica (Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM), n.d.-a).
Requerimientos de energía para tratamiento	0.5 kWh/m <sup>3</sup> (Drewnowski et al., 2019).
Costos de instalación	Moderados o altos dependiendo del caso de estudio, aunque su diseño debe ser hecho por un profesional especializado (Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM), n.d.-a).
O&M	El mecanismo de aeración debe tener un mantenimiento permanente y ser realizado por personal calificado, además el tanque necesita ser limpiado y vaciado cada 2 años (Tilley et al., 2008).
Generación de lodos	SÍ
Emisión de olores	NO
Ventajas adicionales (Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM), n.d.-a)	<p>*Altamente efectivo si es diseñado y operado correctamente.</p> <p>*Puede tratar AG con diferentes grados de contaminación.</p> <p>*Bajo tiempo de retención.</p>

<b>DESINFECCIÓN CON CLORO</b>	
Descripción	Proceso que consta de añadir compuestos de cloro al agua (tabletas o soluciones químicas) para reducir microorganismos patógenos (Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM), n.d.-b).
Requerimientos de energía para tratamiento	A escala residencial no requiere energía (Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM), n.d.-b).
Costos de instalación	Costos bajos dado que su implementación consta de materiales con alta disponibilidad en el mercado local (Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM), n.d.-b).
O&M	Técnica simple y confiable, no requiere habilidades especiales del operador (Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM), n.d.-b)
Generación de lodos	NO
Emisión de olores	NO
Ventajas adicionales (Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM), n.d.-b)	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Altamente efectivo aniquilando bacterias si está diseñado y operado correctamente.</li> <li>*Alta disponibilidad.</li> <li>*Efecto de desinfección residual que evita el recrecimiento de patógenos.</li> </ul>
Desventajas adicionales (Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM), n.d.-b)	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Puede crear productos tóxicos.</li> <li>*Requiere agua clara para una mayor efectividad.</li> <li>*Dosis depende del del producto.</li> <li>*Requiere una alta frecuencia de aplicación.</li> </ul>

**DESINFECCIÓN UV**

Descripción	Recipiente con una lámpara UV donde circula el agua, usada para eliminar microorganismos patógenos (Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM), n.d.-j).
Requerimientos de energía para tratamiento	0.2 kWh/m <sup>3</sup> (Ultraaqua, n.d.)
Costos de instalación	Pueden ser producidos en el mercado local e instalados en un nivel residencial, aunque sus costos son más altos que un sistema de desinfección con cloro (Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM), n.d.-j).
O&M	El costo de mantenimiento de los tubos es generalmente bajo, aunque se debe garantizar que la intensidad de la luz en la bombillas funcione correctamente y ser revisadas con cuidado de manera regular, debido a su contenido de mercurio(Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM), n.d.-j).
Generación de lodos	NO
Emisión de olores	NO
Ventajas adicionales (Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM), n.d.-j)	<p>*Grandes cantidades de agua desinfectada puede ser obtenida rápidamente.</p> <p>*Funcionamiento correcto independiente del pH y la temperatura.</p> <p>*No tiene efecto en el sabor ni el olor del agua tratada.</p> <p>*No es necesario la manipulación de sustancias químicas.</p>
Desventajas adicionales (Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM), n.d.-j)	<p>*Puede ser afectado negativamente por variaciones en el contenido de materia orgánica de las AG.</p> <p>*No genera un efecto de desinfección residual.</p>

---

**DESINFECCIÓN CON PERÓXIDO DE HIDRÓGENO**


---

Descripción	La introducción de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> en agua produce un proceso de oxidación avanzada para reducir microorganismos y contaminantes (Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM), n.d.-c).
Requerimientos de energía para tratamiento	Requiere dosificador, aunque su consumo energético a nivel residencial es despreciable comparado con las demás tecnologías (ProMinent, 2016).
Costos de instalación	Costos moderados. Sin embargo, en su diseño de dosificación requiere profesionales calificados (Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM), n.d.-c).
O&M	Requiere personal especializado y una constante entrada de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM), n.d.-c).
Generación de lodos	NO
Emisión de olores	NO
Ventajas adicionales (Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM), n.d.-c)	<p>*Destruye compuestos orgánicos tóxicos sin transmitir contaminación a otro proceso de tratamiento.</p> <p>*No produce residuos peligros para la salud humana.</p> <p>*Puede ser combinado con otros procesos desinfectantes.</p> <p>*Eficiente tratando casi todos los contaminantes orgánicos además de ciertos metales tóxicos.</p>

---

---

**MEMBRANA DE ULTRAFILTRACIÓN**

Descripción	Mini filtro desarrollado para lograr un tratamiento moderno y sustentable del agua residual basado en un sistema de membrana de ultrafiltración sumergible (Martin Systems, 2005).
Requerimientos de energía para tratamiento	Flujo bajo efecto de la gravedad (Martin Systems, 2005).
Costos de instalación	Moderados para nivel residencial. Si se aumenta su escala disminuye su inversión (Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM), n.d.-e).
O&M	Operación simple, confiable y casi totalmente automática (Martin Systems, 2005; Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM), n.d.-e). Mantenimiento 1 o 2 veces por año, usando químicos en su limpieza para mantener la eficiencia de diseño (Martin Systems, 2005).
Generación de lodos	NO
Emisión de olores	NO
Ventajas adicionales (Martin Systems, 2005)	*Durabilidad alta de sus materiales. *Ultrafiltración y NO microfiltración, produciendo un mayor rango de remoción de patógenos.

---

## Apéndice V. Remociones de los trenes evaluados

Parámetro	Unidad	Referencia AGC	Valores normativa	MBR + DC		RBC+SD+FA+DC		TA+DH <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	
				Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
DBO <sub>5</sub>	mg/L	171	<20	69.00	1.80	69.00	1.10	349.00	-
DQO	mg/L	292.81	<100	211.00	42.00	211.00	40.00	445.00	114.00
SST	mg/L	45	<20	92.00	12.00	92.00	7.50	81.00	7.00
Coliformes fecales	UFC/100ml	8.20.E+04	<10	3.40E+05	ND	3.40E+05	ND	-	-
<i>E. coli</i>	UFC/100ml	2.26.E+05	<10	-	-	-	-	1.50E+06	ND
Coliformes totales	UFC/100ml	8.33.E+07	<100	-	-	-	-	3.87E+07	4.00E+06

ND: No detectado

MBR + DC: MBR + Desinfección con cloro

RBC+SD+FA+DC: RBC + Sedimentación + Filtro de arena + Desinfección cloro

TA+DH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: Tanque de Aireación + Desinfección con peróxido de hidrógeno

Parámetro	Unidad	Referencia AGC	Valores normativa	SD+RBC+DUV		TA+FA+DC		SD+FA+DC		SD+MUF+DC	
				Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
DBO <sub>5</sub>	mg/L	171	<20	50.00-100.00	5.00	400.00	18.00	69.00	62.00	195.00	86.00
DQO	mg/L	292.81	<100	100.00-200.00	-	-	-	211.00	130.00	280.00	130.00
SST	mg/L	45	<20	28.00	4.59	160.00	10.00	92.00	32.00	35.00	18.00
Coliformes fecales	UFC/100ml	8.20.E+04	<10	1.00E+05	10.000	2.40E+06	ND	3.40E+05	ND	-	ND
<i>E. coli</i>	UFC/100ml	2.26.E+05	<10	-	-	1.30E+06	ND	-	-	-	-
Coliformes totales	UFC/100ml	8.33.E+07	<100	1.00E+06	100	3.50E+06	ND	-	-	-	-

ND: No detectado

SD+RBC+DUV: Sedimentación + RBC + Desinfección UV

TA+FA+DC: Tanque de Aireación + Filtro de arena + Desinfección con cloro

SD+FA+DC: Sedimentación + Filtro de arena + Desinfección con cloro

SD+MUF+DC: Sedimentación + Membrana de Ultrafiltración + Desinfección con cloro

*Apéndice W. Puntajes normalizados de los trenes evaluados*

	<b>Tren</b>						
	MBR + DC	RBC+SD+FA +DC	TA+DH <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	SD+RBC+D UV	TA+FA+ DC	SD+FA+ DC	SD+MUF+ DC
Criterio 1. Ambiental	66.67	9.80	90.20	3.92	90.20	66.67	66.67
Requerimientos de energía para tratamiento	0.00	29.41	70.59	11.76	70.59	100.00	100.00
Emisión de olores	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	100.00	100.00
Generación de lodos	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	0.00
Criterio 2. Económico	0.00	0.00	50.00	0.00	50.00	100.00	50.00
Costos de instalación, operación y mantenimiento	0.00	0.00	50.00	0.00	50.00	100.00	50.00
Criterio 3. Técnico	70.00	60.00	60.00	50.00	80.00	50.00	60.00
Simplicidad de operación y mantenimiento	0.00	0.00	50.00	0.00	100.00	100.00	100.00
Eficiencia remoción materia orgánica (DBO <sub>5</sub> )	100.00	100.00	50.00	50.00	50.00	0.00	0.00
Eficiencia remoción sólidos suspendidos totales (SST)	50.00	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00	50.00
Eficiencia remoción coliformes fecales, coliformes totales <i>E. Coli</i>	100.00	100.00	0.00	50.00	100.00	100.00	100.00
Requerimiento de área para implantación del sistema	100.00	0.00	100.00	50.00	50.00	50.00	50.00

Apéndice X. Gráfico de radar del desempeño de los trenes evaluados

