

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)

Paula Andrea Avellaneda Galvis

Adriana Salcedo Parada

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Director:

Edgar Ricardo Oviedo Ocaña

Doctor en Ingeniería, área de énfasis Ingeniería Sanitaria y Ambiental

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2019

Contenido

	Pág.
Introducción	12
1. Objetivos	14
1.1 Objetivo general	14
1.2 Objetivos específicos	14
2. Marco de referencia	15
3. Metodología	18
3.1 Revisión de literatura	18
3.2 Filtro de documentos y criterios de selección	19
3.3 Organización de la información	20
3.4 Revisión y análisis de datos	20
3.5 Selección de trenes de tratamiento	21
3.5.1 Selección de trenes de tratamiento a evaluar	21
3.5.2 Caracterización de las tecnologías	21
3.5.3 Criterios de selección	22
3.5.4 Herramienta de selección	22
3.5.5 Aplicación de la herramienta de selección	22
4. Resultados	23

4.1 Revisión de literatura y filtro de documentos	23
4.2 Normativa	25
4.2.1 Normativa nacional.....	25
4.2.2 Normativa internacional.....	26
4.3 Características de las aguas grises	28
4.3.1 Evolución y estado actual de la información	28
4.3.2 Características fisicoquímicas y microbiológicas de las AG.....	32
4.4 Sistemas de tratamientos empleados.....	36
4.4.1 Evolución y estado actual de la información	36
4.4.2 Tratamiento de las AG.....	37
4.5 Usos de las aguas grises tratadas	42
4.6 Selección de trenes de tratamiento.....	43
4.6.1 Selección de trenes de tratamiento a evaluar	43
4.6.2 Criterios de selección.....	44
4.6.3 Herramienta de selección.....	45
4.6.4 Caracterización de tecnologías.	46
4.6.5 Aplicación de la herramienta de selección.....	47
5. Conclusiones.....	52
Referencias bibliográficas.....	54

Lista de figuras

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Esquema del proceso de filtrado	24
<i>Figura 2.</i> Distribución de artículos encontrados (n=93) según año de publicación.	29
<i>Figura 3.</i> Distribución de artículo seleccionados (n=43) por (a) país de estudio, (b) continente	30
<i>Figura 4.</i> Origen de las AG	31
<i>Figura 5.</i> Artículos encontrados (n=103) según años de publicación	36
<i>Figura 6.</i> Distribución de autores encontrados (n=37) por (a) país de estudio, (b) continente	37
<i>Figura 7.</i> Frecuencia de los tipos de tratamientos encontrados	40
<i>Figura 8.</i> Primer tren de tratamiento.	50
<i>Figura 9.</i> Segundo tren de tratamiento.	51

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Niveles de las AG</i>	17
Tabla 2. <i>Normatividad de calidad para el agua segura</i>	25
Tabla 3. <i>Valores límite de las AG para su reutilización según políticas internacionales.</i>	27
Tabla 4. <i>Distribución de países según su estado de desarrollo</i>	30
Tabla 5. <i>Caracterización de las AG según diferentes fuentes</i>	35
Tabla 6. <i>Trenes de tratamiento</i>	41
Tabla 7. <i>Usos encontrados de las AG tratadas</i>	43
Tabla 8. <i>Trenes de tratamiento seleccionados para ser evaluados</i>	44
Tabla 9. <i>Criterios para la selección de tecnologías para el tratamiento de AG</i>	44
Tabla 10. <i>Matriz de calificación</i>	46
Tabla 11. <i>Resultados obtenidos de la caracterización de tecnologías</i>	47
Tabla 12. <i>CT para costos de inversión y de O&M</i>	48
Tabla 13. <i>Calificación por tecnología</i>	48
Tabla 14. <i>Calificación por tren de tratamiento</i>	49

Lista de apéndices

Los apéndices relacionados a continuación se encuentran en la base de Datos de la Universidad

Apéndice A. Pre búsqueda de tecnologías y tratamientos de aguas grises

Apéndice B. Organización para la selección de artículos (sección).

Apéndice C. Resultado revisión de literatura de las características de las aguas grises

Apéndice D Caracterización de las AG según diferentes fuentes

Apéndice E. Comparación de los parámetros de las características de las aguas grises de acuerdo a la normativa

Apéndice F. Tratamientos para las AG encontrados tipo caso de estudio

Apéndice G. Tratamientos para las AG encontrados tipo revisión

Apéndice H. Trenes de tratamiento encontrados a partir de la revisión de literatura.

Apéndice I. Selección de trenes de tratamiento a evaluar.

Apéndice J. Caracterización de las tecnologías

Resumen

Título: 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)*

Autoras: Paula Andrea Avellaneda Galvis**
Adriana Salcedo Parada

Palabras clave: calidad, características, aguas grises, uso seguro, reúso, tratamientos, tecnologías.

Descripción

El constante crecimiento poblacional ha traído como consecuencia el incremento del consumo de agua en los últimos años, al mismo tiempo que con el calentamiento global se ha venido evidenciado un déficit del recurso hídrico para satisfacer la demanda. En el área metropolitana de Bucaramanga es evidente a los ojos la rápida urbanización y el creciente desarrollo que los edificios residenciales han tenido, por lo cual la aplicación de alternativas de reúso de las aguas grises (AG) en estos contextos puede ayudar a reducir el consumo de agua potable en usos como el riego y la descarga de inodoros.

En esta investigación se realizó una revisión sistemática de literatura con el fin de identificar los parámetros críticos de las AG y los posibles trenes de tratamientos que traten estos parámetros para su reúso seguro en contextos urbanos, teniendo en cuenta las políticas y guías que se han planteado en torno a esta temática en los últimos años.

La DBO₅, los SST, la turbiedad, el fósforo y el nitrógeno, fueron algunos de los parámetros identificados, los cuales indicaron presencia de sólidos sedimentables, carga orgánica y nutrientes en las AG provenientes de la ducha, la lavandería y la cocina. Se identificaron 4 trenes de tratamiento con tecnologías que se caracterizaron por presentar un efluente seguro y dentro de los valores límites establecidos dentro de las guías para el reúso seguro de las AG en la descarga de inodoros y el riego de jardines. A partir de una evaluación y análisis de variables como la emisión de olores, costos de inversión y costos de O&M, se propusieron dos trenes de tratamientos, uno compuesto por electrocoagulación y otro compuesto por sedimentación, RBC y desinfección UV como la mejor opción para su aplicabilidad en el Área Metropolitana de Bucaramanga.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Edgar Ricardo Oviedo Ocaña, Doctor en Ingeniería, área de énfasis Ingeniería Sanitaria y Ambiental

Abstract

Title: Evaluation of technological options for the treatment of greywater for the purpose of reuse in residential buildings in the context of the Bucaramanga Metropolitan Area (Colombia)*

Authors: Paula Andrea Avellaneda Galvis**
Adriana Salcedo Parada

Keywords: Quality, characteristics, gray water, safe use, reuse, treatments, technologies.

Description

The constant population growth has resulted in the increase of water consumption in recent years, at the same time that global warming has been evidenced a deficit of water resources. In the metropolitan area of Bucaramanga, the rapid urbanization and the growing development that vertical construction has had, is an alternative for gray water reuse in these contexts that can help to reduce drinking water consumption in uses such as irrigation and flushing of toilets.

In this research, a review of the literature system was carried out in order to identify the critical parameters of the GW and the possible train treatments that treat these parameters for their safe reuse in urban contexts, in addition to the policies and guidelines that have been raised around them.

BOD5, SST, turbidity, phosphorus and nitrogen were some of the parameters identified, which indicated the presence of settleable solids, organic load and nutrients in GW from the shower, laundry and kitchen. Four treatment trains were identified with technologies that were characterized by presenting a safe effluent in agreement with the limit values established in the guidelines for the safe reuse of GW for residential purposes. From an evaluation and analysis of variables such as the emission of odors, investment costs and O&M costs, two treatment systems were proposed, one composed of electrocoagulation and another composed of sedimentation, RBC and UV disinfection as the best option for its Applicability in the metropolitan area of Bucaramanga.

* Degree work

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: Edgar Ricardo Oviedo Ocaña, PhD in Engineering, emphasis area Sanitary and Environmental Engineering

Introducción

Colombia a pesar de estar catalogados entre los 10 países con más agua en el mundo, tiene una disponibilidad del recurso hídrico escasa; cerca del 80% de la población y las actividades económicas del país están situadas en cuencas hidrográficas con déficit de agua (IDEAM, 2010). Aproximadamente 300 cabeceras municipales están en riesgo de desabastecimiento de agua en periodos de sequía (IDEAM, 2014). En cuanto al tratamiento de aguas residuales, a pesar de ser una práctica reciente en el país, los problemas no son únicamente por falta de estructuras de tratamiento sino también por el inadecuado uso y mantenimiento, ya que se estima que solo el 10% es tratada a pesar de tener capacidad instalada para tratar más de un 20% (Martín, 2014).

El reúso de las AG tratadas es una alternativa que contribuye al uso eficiente del agua, realizándose en actividades que no requieren necesariamente agua potable (Chen, Ngo, & Guo, 2012, págs. 13–31), ayudando a reducir hasta en un 30% el gasto de agua potable (Wanjiru & Xia, 2018, págs. 1151–1166). La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha venido desarrollando pautas para el uso seguro de las AG en actividades como la agricultura y acuicultura (WHO, 2016); y a pesar de que aún no existen normas internacionales acerca del tratamiento y aprovechamiento de estas aguas a nivel doméstico, países como Estados Unidos, Francia, Israel y Australia han desarrollado guías internas a cerca de la reutilización de las AG en los hogares (Oh, Leong, Poh, Chong, & Lau, 2018, págs. 17–29).

Dependiendo de factores como el nivel socioeconómico y cultural de las comunidades, además de los usos de las AG tratadas, se han desarrollado distintos mecanismos de tratamiento en diferentes partes del mundo (de Koning, Bixio, Karabelas, Salgot, & Schäfer, 2008, págs. 92–104).

Parámetros característicos de las AG como la turbiedad y los sólidos suspendidos han sido generalmente tratados con filtros de arena, que retienen los contaminantes e impurezas a medida que las AG pasan a través de lechos de arena y otros compuestos (ej. Arena fina, arena gruesa y grava) (Usepa, & Agency, U. S. E. P. , 2002, págs. 1–367), por los cuales se hace pasar el agua residual a la que previamente se le han removido sólidos de gran tamaño (Edwin, Gopalsamy, & Muthu, 2014, págs. 39–49). La DBO₅ es removida por procesos biológicos, los cuales se pueden realizar con biorreactores, que emplean un cultivo bacteriano ya sea aerobio o anaeróbico, el cual degrada y descompone la materia orgánica (Patil & Munavalli, 2016, págs. 492–500). Los usos que comúnmente se le han dado a las AG tratadas son: la descarga de inodoros, limpieza, el riego del jardín, entre otros. Debido a que las AG contienen agentes bacterianos, patógenos y hongos, se ha hecho necesario emplear procesos de desinfección ya sea por medios sencillos como la cloración u otros más avanzados como la ozonización, que garanticen un reúso seguro de las AG (Finley, Barrington, & Lyew, 2009, págs. 235–245).

Por tal motivo, este estudio tiene como propósito hacer una revisión sistemática de literatura, que permita identificar las opciones tecnológicas con mayor potencial para ser aplicadas en el contexto del Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB). Además se tuvieron en cuenta los estudios previos realizados por (Guerrero, 2017) y (Monroy & Zambrano, 2018), en los que se identificaron algunos aspectos importantes para este estudio como los usos posteriores de las AG tratadas. Por otra parte, este estudio permitió contribuir al posicionamiento del tratamiento de las AG como una alternativa para el uso eficiente del agua y además, apuntaría al cumplimiento de la nueva legislación de construcción sostenible obligatoria desde junio de 2016, que busca que las nuevas edificaciones cuenten con sistemas que les permitan el ahorro de agua y energía (MINVIVIENDA, 2015).

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Evaluar opciones tecnológicas para el tratamiento de AG con fines de reúso en edificios residenciales del Área Metropolitana de Bucaramanga – Santander.

1.2 Objetivos específicos

- Identificar las características fisicoquímicas y microbiológicas de las AG producidas en viviendas en diferentes contextos a nivel mundial.
- Analizar los usos predominantes de las AG domésticas a nivel mundial y su viabilidad para la implementación en el Área Metropolitana de Bucaramanga – Santander.
- Caracterizar las opciones tecnológicas más apropiadas para el tratamiento descentralizado y reúso de AG domésticas en edificios residenciales del Área Metropolitana de Bucaramanga - Santander.

2. Marco de referencia

- **Aguas Grises**

Hacia el año de 1977 el término de AG empezó a ser aplicado formalmente hasta evolucionar a lo que se conoce hoy en día como las aguas residuales domésticas provenientes de duchas, lavamanos, fregaderos y lavadoras, las cuales están contaminadas con aceites, grasas corporales, productos químicos, nutrientes, materia orgánica, entre otros (Edwin, Gopalsamy, & Muthu, 2014), sin embargo tienen menos carga contaminante que las aguas negras por lo cual tienen una mayor capacidad de ser reutilizadas (Gross, Maimon, Alfiya, & Friedler, 2015, pág. 32) y (Shamabadi, Bakhtiari, Kochakian, & Farahani, 2015, págs. 1337–1346)

- **Características de las aguas grises**

Las características presentes en las AG dependen en gran medida de los hábitos de consumo, demografía del hogar y del tipo de productos químicos domésticos utilizados y otros hábitos personales de los residentes (Edwin, Gopalsamy, & Muthu, 2014). Entre las características físicas, la temperatura es un factor influyente debido a que por encima de 30°C – 40°C puede conducir al desarrollo de bacterias y favorecer la acumulación de residuos en tuberías y contenedores causando turbidez, color y olor. Otros parámetros a tener en cuenta son: el pH, el contenido de nutrientes (nitrógeno, fósforo), la demanda biológica de oxígeno y química (BOD, DQO) y sustancias como metales pesados, desinfectantes, entre otros (Gross, Maimon, Alfiya, & Friedler, 2015) y (Morel & Diener, 2006), Por otra parte los datos de la literatura revelan que las AG provenientes de baño representa aproximadamente el 50%–60% del total de AG y están contaminados con grandes

cantidades de aceites, grasas corporales y productos químicos que se originan del jabón, el champú, tintes para el cabello, pasta de dientes, nutrientes y de otros productos de limpieza. También contiene trazas de contaminación fecal. (Edwin, Gopalsamy, & Muthu, 2014).

- **Usos del agua tratada**

El uso de AG para el lavado de inodoros es una de las posibilidades, ya que el agua que se usa para el enjuague de inodoros en muchos países hoy en día es de calidad de agua potable. Se ha estimado que el 30% del consumo total de agua en el hogar se podría ahorrar mediante la reutilización de aguas residuales grises para inodoros de lavado (Eriksson, Auffarth, Henze, & Ledin, 2002, págs. 85–104), sin embargo, las AG han sido consideradas para muchas otras aplicaciones incluyendo riego de césped en cementerios, campos de golf y campus universitarios, lavado de vehículos, protección contra incendios, agua de alimentación de calderas, producción de concreto y preservación de los humedales (Jefferson, Palmer, Jeffrey, Stuetz, & Judd, 1999, págs. 157–164).

- **Proceso de tratamiento**

Los tipos de tratamientos a los cuales son sometidas las AG están basados en una serie de procesos fisicoquímicos y microbiológicos que tiene como fin eliminar los contaminantes presentes en las AG como el tratamiento preliminar de las AG que comienza por la separación física de sólidos más grandes por medio de tamizado, desarenado, desengrasado (tratamientos físicos), posteriormente la eliminación de materia sedimentable y flotante por coagulación, floculación (tratamientos químicos), seguido de la eliminación de materia orgánica disuelta o coloidal por procesos aeróbicos, anaeróbicos, oxidación-reducción (tratamientos biológicos) de

remoción de nitrógeno y fósforo (NSW Government, 2012); para ello se emplean tecnologías como tanques sépticos, reactores biológicos, membranas biológicas y desinfección por medio de radiación UV o cloración, etc. (Abdel-Kader, 2013); (Massoud, Tarhini, & Nasr, 2009, págs. 652–659)

Las AG pueden someterse a diferentes niveles de tratamientos dependiendo el grado de purificación que se requiera (Ver Tabla 1)

Tabla 1

Niveles de las AG

Pretratamiento	Tratamiento primario	Tratamiento secundario	Tratamiento terciario
Objetivo	Objetivo	Objetivo	Objetivo
Eliminación de objetos grueso, arenas y grasas	Eliminación de materia sedimentable y flotante	Eliminación de materia orgánica disuelta o coloidal	Eliminación de sólidos en suspensión, materia orgánica residual, nutrientes y patógenos
Operaciones básicas	Operaciones básicas	Procesos básicos	Procesos básicos
Tamizado	Decantación primaria	Degradación bacteriana	Floculación
Desarenado	Tratamientos discos químicos	Decantación secundaria	Filtración
Desengrasado	(coagulación- floculación)		Eliminación de N
			Desinfección
Procesos físicos	Procesos físicos y químicos	Procesos biológicas	Procesos físicos, químicos y biológicos

Adaptado de: Ardila Galvis, M. (2013). Viabilidad técnica y económica del aprovechamiento de aguas grises domésticas. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/45618/1/1010165974.2013.pdf>

3. Metodología

3.1 Revisión de literatura

Inicialmente se investigó acerca de la normativa vigente a nivel nacional e internacional referente al reúso de las AG tratadas empleando el buscador Google®. Se extrajo información relevante como los valores máximos permitidos de características fisicoquímicas y microbiológicas de las AG, para su reúso en diferentes contextos.

Antes de iniciar la búsqueda de los artículos en las bases de datos, se hizo una caracterización preliminar de las tecnologías empleadas para el tratamiento de AG, que permitieran profundizar en la revisión bibliográfica. Se recopiló información como funcionamiento, tipo de tratamiento y características de las AG que trata cada una de las tecnologías. Los resultados se tabularon en la herramienta Excel y se tuvieron en cuenta solo de manera informativa en la investigación (Ver Apéndice A),

Posteriormente se realizaron dos revisiones literarias siguiendo un protocolo de búsqueda (Reyes, Ocaña, Dominguez, Komilis, & Sánchez, 2018, págs. 486–499), empleando para el primer grupo denominado características fisicoquímicas y microbiológicas (CFQM) de las AG las palabras clave *“quality and greywater”*, *“quality and greywater and residential”* y *“quality and greywater and residential and building”* y para el segundo grupo denominado sistemas de tratamientos empleados (STE) se utilizaron las palabras clave *“greywater and treatment”* y *“greywater and technologies”* Para la localización de los documentos bibliográficos se utilizaron varias fuentes documentales (Guirao, Ferrer, & Olmedo, 2008) y bases de datos como Google

Scholar®, Science Direct®, Scopus®, Springer® y otras fuentes adicionales como trabajos de grados realizados por el grupo de investigación de Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental de la Universidad Industrial de Santander.

3.2 Filtro de documentos y criterios de selección

Con el fin de identificar la documentación más relevante para la investigación, se realizó un proceso de filtrado de los artículos obtenidos, donde se tuvieron en cuenta los siguientes criterios de selección:

- **Título:** Descarte de artículos cuyo título no presentaban relación con las características, calidad, tratamiento y reciclaje de las AG; además no se tuvieron en cuenta aquellos artículos que estuviesen relacionados con hospitales, fábricas y fines agrícolas.
- **Citaciones:** se incluyeron los estudios que contuvieran los temas abordados en esta investigación y que para su desarrollo hayan citado los artículos seleccionados anteriormente por título.
- **Resumen:** Lectura del resumen de cada artículo con el fin de seleccionar estudios que mencionaran las características presentes en las AG y las tecnologías empleados para sus tratamientos.
- **Contenido:** Lectura del contenido total del artículo en donde se identificaron los valores correspondientes de cada parámetro fisicoquímico y microbiológico presente en las AG, tecnologías y trenes de tratamiento especialmente en zonas residenciales o similares.

Adicionalmente los artículos seleccionados que contienen información acerca del tratamiento de las AG fueron seleccionados desde el año 2003.

3.3 Organización de la información

Para la organización de la información se seleccionaron los artículos más relevantes de los grupos CFQM y STE y del segundo grupo se desglosó un tercer grupo denominado usos del agua gris tratada (UAGT). Se hizo uso de la herramienta de Excel y para los grupos se extrajo información para su identificación como: año de publicación, autor, nombre, revista, tipo de país (i.e. en vías de desarrollo o desarrollado) (Ver Apéndice B).

3.4 Revisión y análisis de datos

De los documentos encontrados acerca de la normativa para los usos posteriores de las AG tratadas, se tabularon los valores límite de las características fisicoquímicas y microbiológicas permitidas para el reúso de las AG en diferentes contextos.

Por otra parte, de los artículos seleccionados del grupo denominado CFQM, se realizó una revisión de las características fisicoquímicas y microbiológicas de las AG y se clasificó acorde con la procedencia del AG. Por otra parte, para los artículos seleccionados del grupo denominado STE, se realizó una revisión de las tecnologías y trenes de tratamiento para tratar las AG, características fisicoquímicas y microbiológicas de las AG antes y después de ser tratadas y tipo de lugar del cual se recolectaron las AG (i.e. residencias, apartamentos, casas, etc.). Finalmente, para el grupo denominado UAGT se extrajo información de los posibles usos posteriores de las AG tratadas en

contextos urbanos (i.e. riego del jardín, descarga de inodoros, limpieza, etc.). Se realizó un análisis estadístico descriptivo a los datos recolectados en los tres grupos.

3.5 Selección de trenes de tratamiento

3.5.1 Selección de trenes de tratamiento a evaluar. A partir de los resultados obtenidos de la revisión y análisis de datos al grupo STE en el numeral 4.4, se seleccionó un grupo de trenes de tratamiento para las AG, teniendo en cuenta, que:

- Las tecnologías fuesen aplicables a sistemas descentralizados.
- Las AG provinieran de contextos estrictamente residenciales.
- Los posibles usos de las AG tratadas fuesen para riego y descarga de inodoros.
- Las características del AG del efluente cumplieran con una normativa seleccionada para los usos anteriormente mencionados.
- Las características del AG del afluente fuesen similares a las características encontradas en la revisión y análisis de datos del grupo CFQM.

3.5.2 Caracterización de las tecnologías. La caracterización de las tecnologías de los trenes de tratamiento se realizó empleando el buscador Google®, identificando características, funcionamiento, ventajas y desventajas de cada una de ellas.

3.5.3 Criterios de selección. Para la evaluación de las tecnologías de los trenes de tratamiento se seleccionaron tres aspectos principales y 6 variables tomando como referencia un proyecto de grado con temática similar, realizado en el municipio de Villanueva, Santander. (Díaz & Gualdrón, 2014)

- Ambientales: Generación de subproducto y emisión de olores.
- Técnicos: O&M y personal especializado para la O&M.
- Económicos: costos de inversión y costos de O&M.

3.5.4 Herramienta de selección. Se diseñó una herramienta de selección sencilla por medio de una matriz que contiene los aspectos y variables mencionados en el numeral anterior, para el estudio de cada tecnología. A los valores obtenidos se les asignó una ponderación teniendo en cuenta valores posibles y valores esperados. Posteriormente se le realizó una ponderación total a cada tren de tratamiento seleccionado.

3.5.5 Aplicación de la herramienta de selección. Para evaluar cada una de las variables de la matriz se realizó una búsqueda en Google® de la información necesaria para la aplicación de las variables propuestas, adjuntando esta información en tablas, resultados y en los anexos respectivos. De acuerdo a los resultados obtenidos en la herramienta de selección para cada uno de los trenes de tratamiento, se definió cual o cuales eran los mejores para su aplicación en el contexto de esta investigación.

4. Resultados

4.1 Revisión de literatura y filtro de documentos

Empleando el buscador Google®, se encontraron los decretos 475 de 1998 y 1285 de 2015, la resolución 1207 de 2014 y la ley 373 dispuestas en la normativa nacional que mencionan normas de calidad del agua segura, lineamientos de construcción sostenible para edificaciones, usos eficiente y ahorro de agua y usos de aguas residuales tratadas. Para normativas internacionales, se hizo uso de la guía española para la reutilización de aguas depuradas, en la que se encontraron normas, leyes decretos, resoluciones y guías de diferentes países que han logrado establecer lineamientos para la reutilización de las AG en diferentes contextos

Posteriormente de acuerdo con la estrategia de búsqueda mencionada para el grupo CFQM se encontraron 323 artículos y para el grupo STE se encontraron alrededor de 2000 artículo, los cuales en su mayoría no tenían relación con la temática de investigación, ya que sus enfoques eran no residenciales (ej. zonas rurales, agricultura, hospitales o aguas lluvias). Al realizar una búsqueda más avanzada por título, se obtuvo un total de 48 artículos pertenecientes al grupo CFQM y 77 artículos del grupo STE.

Adicionalmente se empleó el buscador Google Scholar® se revisaron los artículos que citaron los artículos seleccionados, escogiendo aquellos que tuvieran mayor número de citas y contribuyeran con el propósito del estudio, dando como resultado un total de 93 artículos en el grupo CFQM y 103 en el grupo STE. Seguidamente, se efectuó la lectura de los resúmenes de los artículos previamente filtrados; para el grupo CFQM se seleccionaron 63 artículos los cuales

presentaron datos relevantes de las características presentes en las AG y 45 artículos para el grupo STE los cuales presentaban información sobre tecnologías y trenes de tratamiento de las AG. Finalmente se realizó la lectura del contenido de los artículos en el cual se excluyeron artículos que no brindaron la información necesaria, por lo cual no resultaron aplicables al tema de estudio, esta selección dio un total de 35 artículos para el grupo CFQM y 21 artículos para el grupo STE, los cuales también fueron utilizados en el grupo UAGT. El esquema del proceso de filtrado de esta investigación se encuentra representado en la Figura 1.

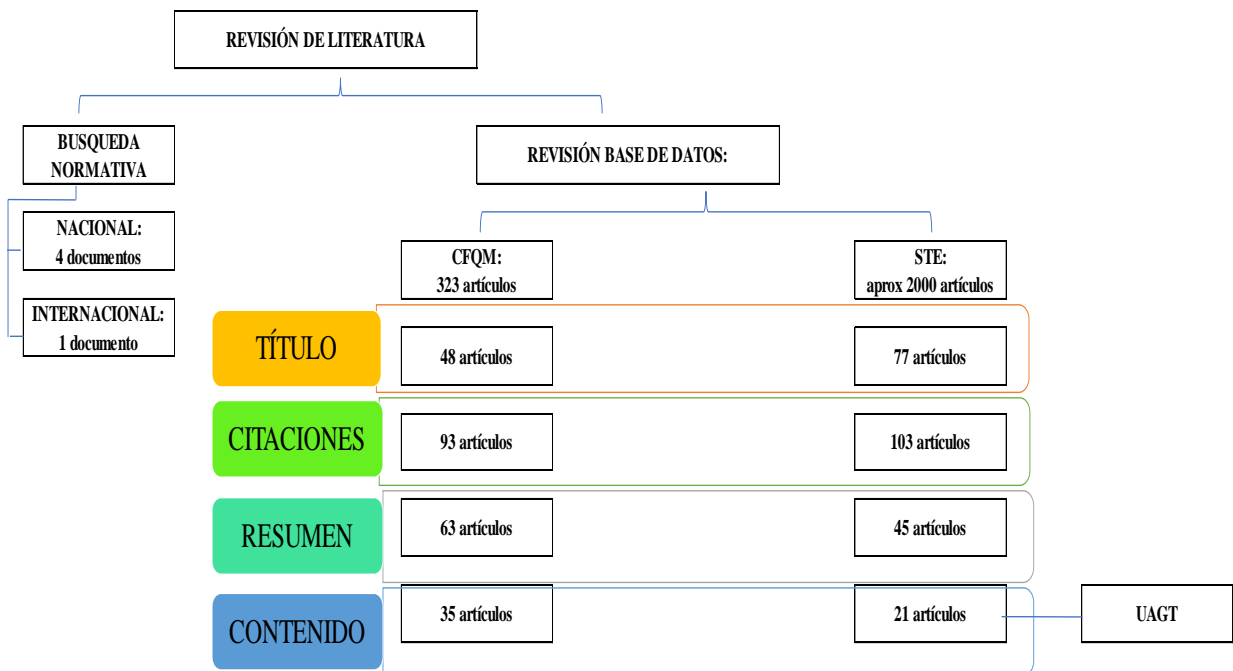


Figura 1. Esquema del proceso de filtrado

4.2 Normativa

4.2.1 Normativa nacional. La normatividad vigente en Colombia (i.e. Resolución 2115 de 2007) está específicamente encaminada hacia la calidad del agua potable; por tal motivo, se consideró el Decreto 475 de 1998 (ya derogado) (Corredor & Jaimes, 2015), que describe las características organolépticas, físicas y químicas del agua segura en el artículo 36 y 37 (Ver Tabla 2).

Tabla 2.

Normatividad de calidad para el agua segura

Parámetro	Limite
turbidez (NTU)	5
ST (mg/L)	<1000
pH	6,5–9
Mg (mg/L)	60
Zn (mg/L)	10
Cu (mg/L)	2
Pb (mg/L)	0,02
Ca (mg/L)	100
Cd (mg/L)	0,005
Fe (mg/L)	0,5

En 1997, el gobierno nacional promulgó la Ley 373 “*por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua*”, la cual sigue vigente y establece el reúso obligatorio de las aguas de origen superficial, subterráneo. Las autoridades ambientales, entidades encargadas de la

prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado, riego y drenaje, producción hidroeléctrica y demás usuarios del recurso hídrico, deben elaborar y presentar el programa de uso eficiente y ahorro de agua fijando meta anuales, para reducir las pérdidas en cada sistema de acueducto. (Congreso de Colombia, 1997)

El Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio presentó el Decreto 1285 del 2015 “por el cual se modifica el Decreto 1077 de 2015, decreto único reglamentario del sector Vivienda, Ciudad y Territorio, en lo relacionado con los lineamientos de construcción sostenible para edificaciones”, encaminados al mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes, estableciendo como medida porcentajes obligatorios de ahorro en agua y energía según el clima y tipo de edificaciones. (Ministry of Housing City and Territory, 2015)

4.2.2 Normativa internacional. El Código de Regulaciones de California (CRC), título 22 establece el uso de AG para el riego de paisajismo residencial, aclarando que debe ser un agua con tratamiento terciario y posteriormente desinfectada, por otra parte el CRC sugiere no realizar la coagulación si al pasar el agua por la filtración la turbidez no excede los 2 NTU, cabe aclarar que la turbidez del agua no puede exceder los 5 NTU por más de 15 min y nunca debe sobrepasar los 10 NTU, si excede esta capacidad se recomienda la adición de químicos o desviar las AG del filtro ya que puede ocasionar obstrucciones.

El Decreto 185 de 2003 en Francia, establece que la reutilización de las AG puede ser destinada a riego para la producción de alimentos, para el lavado de vías en centros urbanos y uso directo en descarga de inodoros teniendo en cuenta que las AG destinadas para el riego o la reutilización civil deben poseer, a la salida de la planta de recuperación, requisitos de calidad químico-físicos y microbiológicos, al menos iguales a los que se muestran en la Tabla 3.

El reglamento sobre condiciones sanitarias básicas para la reutilización de AG, Expedido por el ministerio de salud en Chile y El decreto 1620 de 2007 de España, establecen que los sistemas de reutilización de las AG podrán ser destinados a usos urbanos como la descarga de inodoros y urinarios y el riego de jardines privados. Los valores máximos admitidos se presentan en la Tabla 3.

La agencia de protección ambiental en EE. UU (EPA US) desarrollo un documento estableciendo que los valores límite de las AG para su uso en interiores, como el inodoro y el orinal, y el uso de agua sin restricciones en el exterior, como el riego del césped Tabla 3.

Tabla 3.

Valores límite de las AG para su reutilización según políticas internacionales.

Parámetros	Unidades	Reúso permitido	Francia ^a	Chile ^b	España ^c	Estados Unidos ^d
			Valores límite			
pH			6 - 9,5			6-9
Turbiedad	NTU		5		2	5
SST	mg/L		10	10	10	10
DBO5	mg/L		20	10		10
DQO	mg/L		100			
PT	mg/L	Descarga de inodoros	2	≤20		
NT	mg/L	Riego del jardín	15			
CE	µS. /cm		3000			
Aluminio	mg/L		1			
Bario	mg/L		10			
Boro	mg/L		1			
Cadmio	mg/L		0,005			

Tabla 3. Continuación

Parámetros	Unidades	Reúso permitido	Francia ^a	Chile ^b	España ^c	Estados Unidos ^d
			Valores límite			
pH			6 - 9,5			6-9
Cromo	mg/L		0,1			
Magnesio	mg/L		0,2			
Níquel	mg/L		0,2			
Plomo	mg/L		0,1			
Cobre	mg/L	Descarga de inodoros	1			
Zinc	mg/L	Riego del jardín	0,5			
Grasa y Aceites	mg/L		10			
Cloro			0,5 ≤ X ≤ 2			
E. coli	UFC/100 ml		100		0	14
Coliformes fecales	UFC/100 ml		10			

Adaptado de ^a Ministerio de ambiente. Decreto n° 185 de 2003 (2003), ^b Ministerio de salud. Proyecto De Reglamento Sobre Condiciones Sanitarias Básicas Para La Reutilización De Aguas Grises, ^c Ministerio de la Presidencia. Decreto n° 1620 de 2007 (2007) y ^d Usepa. (2012). Guidelines for Water Reuse

4.3 Características de las aguas grises

4.3.1 Evolución y estado actual de la información. La búsqueda bibliográfica realizada sobre las características de las AG evidencia un crecimiento en el número de artículos publicados a partir del año 2011 (Figura 2), es posible afirmar que el tema de investigación ha sido de gran importancia en los últimos años presentado una mayor cantidad de artículos en el año 2015 (13 artículos).

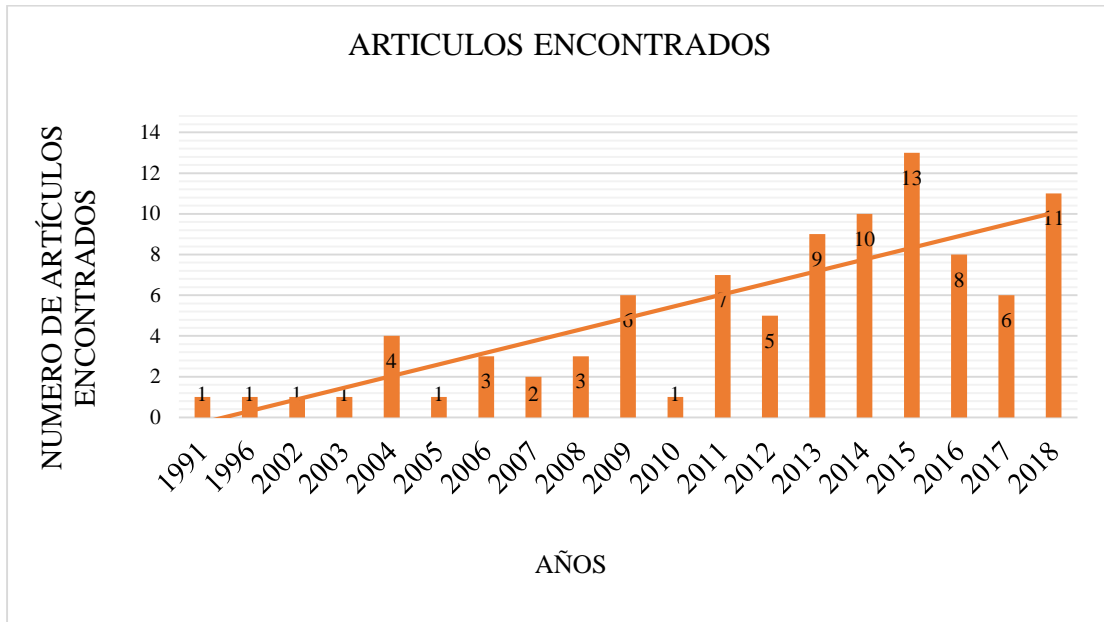


Figura 2. Distribución de artículos encontrados (n=93) según año de publicación. (Búsqueda realizada en el mes de agosto de 2018)

Se llevó a cabo la clasificación por países y continentes (Figura 3) de los artículos finalmente seleccionados en la revisión literaria. Los resultados obtenidos muestran que la mayoría de artículos que realizaran aportes a esta investigación provienen de Asia y Europa y se observa un rezago de estudios provenientes de América.

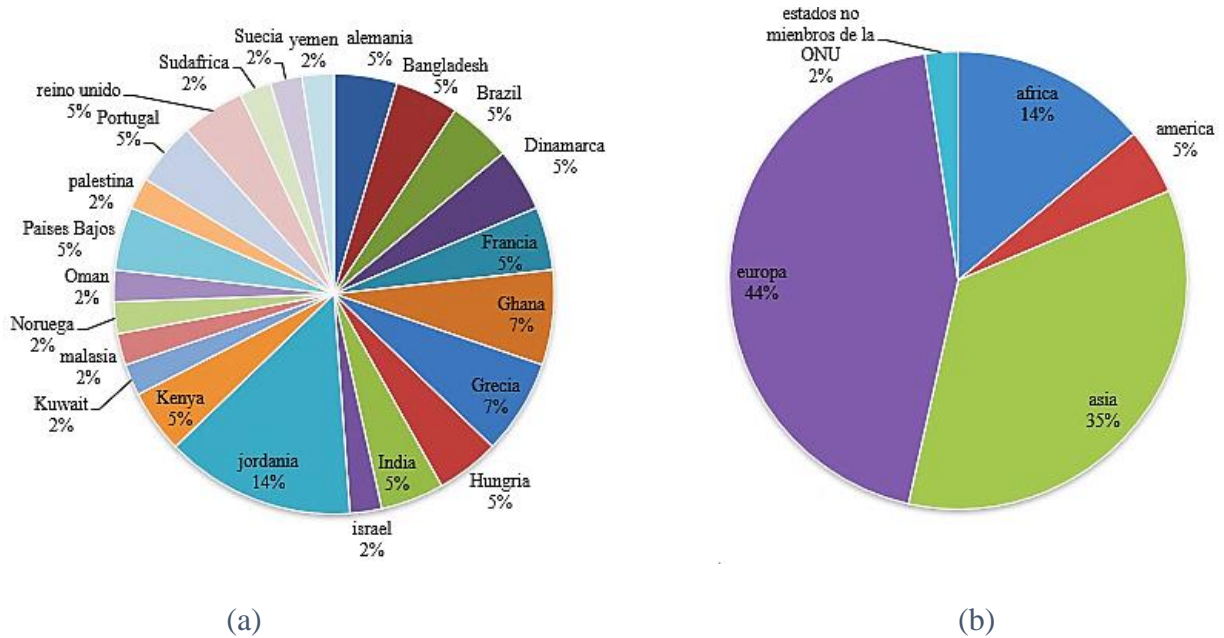


Figura 3. Distribución de artículo seleccionados (n=43) por (a) país de estudio, (b) continente

En la clasificación realizada por países desarrollados (PD) y en desarrollo (PED) (Tabla 4), es notable la ausencia de estudios enfocados a la caracterización y calidad de las AG en PED, donde sigue existiendo una falta de conocimiento y experiencia para abordar este tipo de temas.

Tabla 4

Distribución de países según su estado de desarrollo

PD	PED
Reino Unido	Brasil
Alemania	Ghana
Dinamarca	India
Francia	Jordania
Grecia	Kenia
Hungría	Palestina

Tabla 4. Continuación

PD	PED
Israel	Sudáfrica
Malasia	Yemen
Noruega	Bangladesh
Omán	Kuwait
Países Bajos	
Portugal	
Suecia	

La Figura 4 muestra los lugares más comunes de los cuales provienen las AG reportados en los artículos seleccionados a partir de la lectura de contenido. Se observa que la mayor proporción de las AG provienen de la lavandería, ducha, lavabo, cocina y mixto (ej. Aguas residuales mezcladas de lavandería, ducha y cocina), lo cual sirve como parámetro de referencia para consideraciones posteriores.

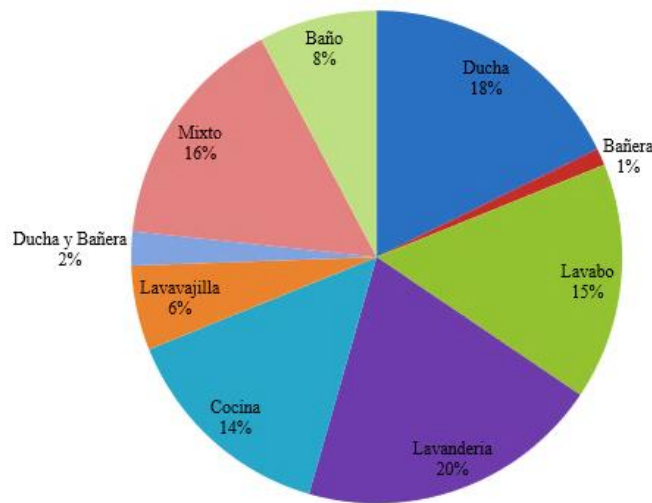


Figura 4. Origen de las AG

4.3.2 Características fisicoquímicas y microbiológicas de las AG. Las características fisicoquímicas y microbiológicas de las AG varían de acuerdo con la fuente de agua y las diferentes actividades que se realicen en la residencia como también el tipo de productos químicos utilizados en la ducha y labores de limpieza. Existen variaciones significativas en la composición y volumen de las AG tanto en el lugar como en el tiempo, lo que puede deberse a factores como el nivel social, estilo de vida, hábitos y costumbres, el estado de salud, la cantidad y edad de los ocupantes (Ramos Marques, Ribeiro Ide, & Loureiro Paulo, 2006) (Oteng-Peprah, Acheampong, & deVries, 2018, pág. 255).

Las AG contienen altas concentraciones de materiales orgánicos fácilmente biodegradables y algunos constituyentes básicos como los nitratos, el fósforo y sus derivados (Oteng-Peprah, Acheampong, & deVries, 2018). El análisis de los compuestos xenobióticos no se consideró como parte de este estudio.

Según el reporte realizado, se tuvieron en cuenta diferentes estudios que aportaron información respecto a las características fisicoquímicas y microbiológicas de las AG y con base en esto se determinó que los parámetros más importantes los cuales influyen significativamente en el proceso de tratamiento teniendo en cuenta dos factores como: parámetros críticos de las AG y parámetros más estudiados por los autores los cuales se tabularon. Es importante señalar que esta clasificación se realizó teniendo en cuenta que las AG presentan características diferentes en función de su procedencia (Apéndice C y D). Como resultado se generó las Tabla 5 en la cual se evidencian los siguientes aspectos:

- Se observó que los parámetros más estudiados por los autores corresponden en su mayoría a aquellos que de acuerdo a la normativa presentan valores críticos y requieren mayor atención como la turbiedad, SST, DBO₅, DQO, Zn, Mg, fósforo total (PT) y coliformes fecales (CF) Sin embargo, las grasas y aceites, cloro y escherichia coli (E coli) a pesar de encontrarse en el rango de valores críticos son pocos los autores que los han estudiado ya que solo se encontraron 3 datos dentro de los artículos consultados. Cabe resaltar que parámetros como pH, Conductividad eléctrica (CE) y nitrógeno total (NT) a pesar no presentar valores críticos según el rango de datos encontrar, es importante tenerlos en cuenta para este estudio (Apéndice E).

Para el análisis de datos se presentan los valores promedio de las propiedades fisicoquímicos y microbiológicas presentes en las AG considerados para este estudio ya que influyen significativamente para su respectivo tratamiento (Tabla 5). A partir de lo reportado, se puede afirmar que los AG se caracterizan por:

- Un alto contenido de turbiedad y SST lo cual sugiere la presencia de detergentes, jabones, grasas, presencia de residuos producidos por restos de alimentos, lavado de vegetales y tubérculos. La lavandería presenta los más altos niveles de turbiedad (385,55 NTU) mientras que la cocina presentó más alto nivel de SST (314,01 mg/L).

- Contar con un alto contenido de materia orgánica ya que los valores de DBO₅ y DQO variaron en un amplio rango de 146,4 a 1687,15 mg/L y 361 a 4036,43 mg/L respectivamente

- Presentar valores de pH y CE dentro del rango establecido por la normatividad, lo que lo significar que las AG no presentan acidez o alcalinidad ni un alto contenido de sales.

- Tener un alto contenido de grasa y aceites, PT y NT. A pesar de baja disponibilidad de datos, se puede evidenciar que las AG generadas en la cocina presentan alto contenido de grasas y aceites (323 mg/L), por otra parte, las AG generadas en la lavandería presenta el mayor valor de concentración de PT (26,39 mg/L) debido que existe mayor presencia de productos de detergentes y elementos de limpieza y las aguas mixtas son las principales contribuyentes de los altos niveles de NT (28,73 mg/L).
- La presencia de coliformes fecales, coliformes totales y Ecoli indica que existe contaminación relacionada con los residuos de alimentos contaminados, introducidos por el lavaplatos, ducha por limpieza corporal también ropa contaminada por el proceso de lavado.
- Alto contenido de metales como Mg y Zn de las AG proveniente de la lavandera con valores de 30,418 mg/L y 1544,07 mg/L respectivamente.

Por otra parte, el almacenamiento de las AG durante 24 h puede mejorar la calidad del agua debido al asentamiento, sin embargo, el almacenamiento durante más de 48 horas podría ser un problema, ya que el oxígeno disuelto disminuye sus valores lo cual puede generar olores desagradables en las AG (Ramos Marques, Ribeiro Ide, & Loureiro Paulo, 2006, págs. 271–278), (Siyu, y otros, 2013). La presencia de metales en las AG no representa un obstáculos para su reutilización en la descarga de inodoros (Eriksson & Donner, Metals in greywater: Sources, presence and removal efficiencies. *Desalination*, 248(1–3), 2009). Los valores recolectados más altos se obtuvieron de la cocina, pues presenta una alta concentración de carga orgánica, contaminantes, grasas, aceites y residuos de comida, por lo cual algunos autores descartan su procedencia para el tratamiento. Se debe presentar un tren de tratamiento capaz de remover metales, patógenos microbiológicos y carga orgánica.

Tabla 5

Caracterización de las AG según diferentes fuentes

Parámetro	Ducha			Lavandería			Cocina			Mixto			Decreto 185 de 2003 (Francia)*
	N	Media	Cf variación	N	Media	Cf variación	N	Media	Cf variación	N	Media	Cf variación	
turbidez (NTU)	6	185.73	0.63	10	385.55	0.52	5	334	0.45	8	326.30	0.55	5
SST (mg/L)	10	219.50	0.48	12	247.54	0.57	8	314.01	0.67	11	273.25	0.49	10
CE (µS./cm)	13	782.92	0.61	17	1840.30	0.56	12	520.62	0.77	6	831.70	0.79	3000
DBO5 (mg/L)	16	226.50	0.62	17	1687.15	0.55	11	1354.75	0.57	16	269.50	0.51	10
DQO (mg/L)	13	361	0.51	16	1036.71	0.75	10	4036.43	0.58	13	1000.79	0.72	100
pH	15	7.50	0.05	20	7.85	0.13	12	7.98	0.13	12	6.90	0.08	6-9
Aceite y grasas (mg/L)	1	53.20		2	97.20	1.22	2	277.80	0.23	3	79.15	0.17	10
NT (mg/L)	4	6.85	0.72	5	10.85	0.61	4	18.85	0.69	6	28.73	0.48	15
PT (mg/L)	5	0.70	0.71	5	26.39	0.79	4	25.50	0.88	7	9.45	0.58	2
FC cfu/100ml	6	22255	0.81	5	2000325	0.89	2	603500	1.39	2	2000133	1.09	10
E coli cfu (100ml)	2	1270.79	0.24	2	658113.88	0.74				9	997636.16	0.71	100
Mg (mg/L)	9	28.31	0.82	9	30.42	0.85	4	11.03	0.83	5	16.33	0.69	0.2
Zn (mg/L)	6	29.52	0.80	7	1544.07	0.76	5	0.08	0.26	4	32.20	0.74	0.5
Cl (mg/L)	6	144.10	0.67	6	23095	0.59	2	101.75	0.53	1	31.40		2

*Decreto 185 de 2003 de Francia fue escogido como normativa de referencia, ya que entre todas las normativas encontradas está fue la Única que contempló la presencia de metales en las AG y sirvió de referencia para seleccionar los parámetros críticos. Este decreto presentó valores limite permitidos para el reúso en descarga de inodoros y riego del jardín

4.4 Sistemas de tratamientos empleados

4.4.1 Evolución y estado actual de la información. Se recolectaron 103 artículos en total a partir del proceso de búsqueda por filtro y citas del grupo STE, en los cuales fue posible evidenciar que con el paso de los años ha surgido un creciente interés por parte de los autores en realizar estudios acerca de tratamientos y tecnologías para la reutilización de las AG.



Figura 5. Artículos encontrados (n=103) según años de publicación (Búsqueda realizada en el mes de agosto de 2018)

Después de leer el contenido de los artículos de STE se seleccionaron 21 artículos de los cuales 17 eran tipo caso estudio y 4 considerados como revisiones dando un total 37 autores tenidos en cuenta para esta investigación. A los autores seleccionados se les realizó una clasificación por país y continente de procedencia, donde se evidenció que Europa (36%) y Asia (48%) son los continentes con mayor número de aportes a esta investigación, específicamente con países como España, Alemania, Israel y Jordán.

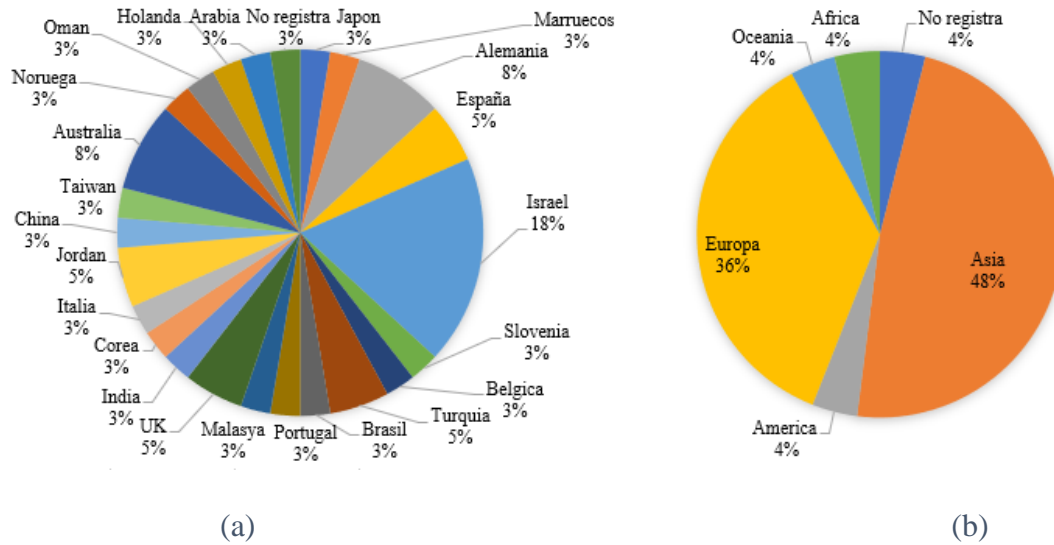


Figura 6. Distribución de autores encontrados (n=37) por (a) país de estudio, (b) continente

De los 23 países encontrados en la búsqueda 18 están considerados como PD y 5 como PED. El único país suramericano encontrado en el estudio fue Brasil, considera como PED junto con Marruecos, Jordán, Arabia e india.

4.4.2 Tratamiento de las AG. El poder adquisitivo de una comunidad y la eficiencia en la remoción de contaminantes son las variables más importantes al momento de seleccionar las tecnologías para reúso de las AG, dado que el enfoque de esta investigación son los edificios residenciales de una ciudad de un PED, se centró en los sistemas de tratamiento descentralizados.

Las AG suelen contener grandes cantidades de químicos, nutrientes y minerales provenientes de productos para el cuidado personal, la lavandería y en algunas ocasiones de la cocina (Ghaitidak & Yadav, 2013, págs. 2795–2809); es por esto que a pesar de que existen tantas tecnologías disponibles, se deben seleccionar las que estén más acordes a los requerimientos de las comunidades para garantizar que su reutilización sea segura, tratando parámetros característicos

encontrados en la literatura como pH, turbiedad, DBO₅, SST, NT, PT y coliformes totales (Ghaitidak & Yadav, 2013). De acuerdo al tipo de contaminantes removidos los tratamientos se puede clasificar en preliminares, primarios, secundarios, terciarios y avanzados o de acuerdo a las técnicas adoptadas para la remoción de contaminantes se pueden clasificar en físicos, químicos y biológicos. (Ghaitidak & Yadav, 2013)

Se encontraron 27 tratamientos diferentes de los cuales 30% se clasificaron como físicos, 22% químicos y 48% biológicos; de acuerdo con cada categoría los tratamientos más mencionados fueron la sedimentación (7), la cloración (10) y los reactores biológicos de membrana MBR (9) respectivamente.

La sedimentación se emplea como tratamiento primario para remover sólidos sedimentables presentes en las AG por medio de gravedad empleando un sedimentador y así prepararlas para el tratamiento biológico (Muñoz, 2018, págs. 175-184). En ocasiones la sedimentación de alta velocidad es empleada después del tratamiento secundario para remover material coloidal fino y recircular biomasa al reactor biológico con el fin de mantener el cultivo bacteriano que degrada la materia orgánica. (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003, págs. 1–24)

Por otra parte la cloración es la técnica más usada para la desinfección de las AG, ya que puede destruir microorganismos perjudiciales para la salud (Avvannavar & Shrihari, 2007, págs. 248–249), como bacterias y hongos. Comúnmente es empleado como tratamiento terciario ya que su dosificación debe realizarse cuando en las AG no exista gran cantidad de SS ni de materia orgánica. (Microlab Industrial, 2015)

Finalmente, los tratamientos denominados MBR son un proceso biológico que suele tratar parámetros como la DBO₅ y la DQO (Al-Jayyousi, 2003, págs. 181–192.) y que combina en un mismo sistema la aireación y la filtración, en este proceso se separan los sólidos de los líquidos

después del proceso biológico, lo que permite que exista una mayor concentración de biomasa en el reactor (Ghaitidak & Yadav, 2013). A pesar de que hoy en día el uso de membranas es más común que antes debido a su eficiencia (Rashidi, y otros, 2015, págs. 845–856) requiere altos costos de operación y mantenimiento por lo cual no es una tecnología recomendada para comunidades de escasos recursos. (Assayed, Chenoweth, & Pedley, 2015, págs. 525–533)

En cuanto a los estudios realizados por el grupo de Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental, se mencionaron tecnologías con MBR, contactores biológicos rotativos (RBC), humedales artificiales trenes de filtrado, trampas de grasas y filtros de arena.

En la Figura 7 se muestran los tratamientos para la reutilización de AG obtenidos en la investigación, donde también se destacan tecnologías como: los filtros de arena, los tanques sépticos, la coagulación, los filtros de carbón activado y la desinfección UV.

Las AG suelen estar contaminados con grandes cantidades de aceites provenientes de la cocina y productos del cuidado personal y grasas corporales (Edwin, Gopalsamy, & Muthu, 2014), por lo cual a pesar de que ningún autor nombro una tecnología enfocada a tratar estos contaminantes en sus investigaciones, es necesario considerar un pretratamiento de las AG empleando trampas de grasas.

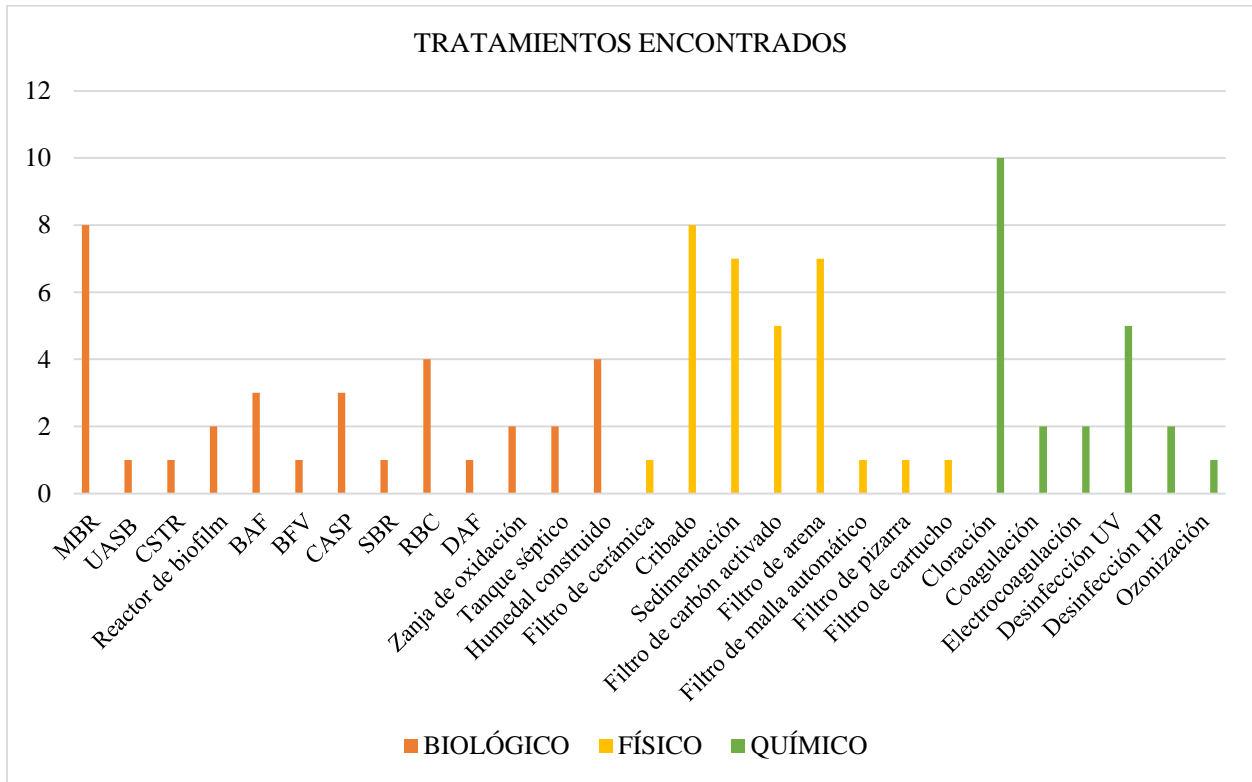


Figura 7. Frecuencia de los tipos de tratamientos encontrados

Usualmente para tratamiento de las AG no se emplea una sola tecnología o tipo de tratamiento, sino que se combinan formando un tren de tratamiento que consta de tratamiento preliminar, primario, secundario, terciario y en ocasiones avanzado, que permite que las características de las AG tratadas sean aptas para el reúso en zonas urbanas. Los autores evaluaron la eficiencia de diferentes trenes de tratamiento analizando parámetros característicos de las AG antes y después de ser tratadas (Apéndice F y G). Los trenes de tratamiento que tuvieron mejores porcentajes de remoción de acuerdo parámetros característicos de las AG se pueden ver en la Tabla 6.

Tabla 6

Trenes de tratamiento

Autor	Tren	Parámetro	Antes	Después	% remoción
(Ramona, Green, Semiat, & Dosoretz, 2004)	MBR	SST (mg/L)	28	0	100.0
(Friedler, 2004)	cribado + MBR + cloración	Turbiedad (NTU)	80	0	100.0
(Abdel-Kader, 2013)	RBC + sedimentación + desinfección UV	DQO (mg/L)	179	ND	100.0
(Teh, Poh, Gouwanda, & Chong, 2015)	BAF + desinfección HP	DBO (mg/L)	349	ND	100.0
(Atasoy, Murat, Baban, & Tiris, 2007)	cribado + MBR	NT (mg/L)	9	0.55	93.9
(Zamalloa, Boon, & Verstraete, 2013)	CSTR + sedimentación + filtro de arena	PT (mg/L)	5	0.1	98.0
(Lin, Lo, Kuo, & Wu, 2005)	electrocoagulación + cloración	Coliformes fecales CFU/100mL)	5100	ND	100.0
(Teh et al., 2015)	BAF + desinfección HP	Coliformes totales CFU/100mL)	5.E+05	ND	100.0

ND= no detectables, MBR= biorreactores de membrana, RBC= contactores biológicos rotativos, BAF= filtro biológico aireado, CSTR= reactor de tanque agitado continuo, HP= Hidróxido-Peróxido.

4.5 Usos de las aguas grises tratadas

El reciente avance científico en tecnologías para el tratamiento de las AG sugiere que existe un gran potencial para su recuperación y reutilización en usos no potables (ej. la jardinería, el riego y la descarga del inodoro) (Edwin, Gopalsamy, & Muthu, 2014).

Entre el 60 y el 75% del desagüe doméstico está compuesto por AG (Eriksson et al., 2002; Gonçalves, 2009) y su reutilización puede ahorrar hasta un 50% del consumo de agua potable de una residencia (Eriksson et al., 2002; Maimon et al., 2010, Ottoson & Stenström, 2003). Entre otros usos no residenciales del agua tratada está el mantenimiento y limpieza de espacios públicos como parques y centros deportivos, paisajismo (cascadas, fuentes, lagos) y lavado de autos. Algunas investigaciones sugieren que también se puede usar en la agricultura ya que el agua tratada es rica en nutrientes (Okun, 1997). Sin embargo, requiere de especial cuidado y tratamiento debido a la presencia de patógenos y en algunos casos metales pesados (Ramos Marques, Ribeiro Ide, & Loureiro Paulo, 2006).

Los 21 artículos seleccionados en el grupo STE, fueron también usados para UAGT, dando como resultado 25 autores que en sus investigaciones mencionan posibles usos de las AG tratadas. Los usos más populares son el riego y la descarga de inodoros con 16 y 19 menciones respectivamente, seguido de otros usos como lavado de autos (6), limpieza (4), lavandería (4), paisajismo (1), agua contra incendios (2) y la generación de energía (1).

Los países que más consideraron la reutilización de las AG tratadas en los usos más comunes fueron España, Israel y Australia. Las investigaciones realizadas por el grupo de investigación de Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental de la universidad Industrial de Santander (Guerrero, 2017), (Monroy & Zambrano, 2018), coincidieron con lo reportado en estudios internacionales,

identificándose la descarga de inodoros, el riego, la lavandería y agua empleada contra incendios.

Los resultados de frecuencia por país y uso se pueden evidenciar en la Tabla 7.

Tabla 7

Usos encontrados de las AG tratadas

Uso	Cantidad
Generación de energía	1
Paisajismo	1
Agua contra incendios	2
Lavandería	4
Limpieza	4
Lavado de autos	6
Riego	16
Descarga de inodoros	19

4.6 Selección de trenes de tratamiento

4.6.1 Selección de trenes de tratamiento a evaluar. A partir de los trenes de tratamiento encontrados en el numeral 5.4 (40) (Ver Apéndice H), se descartaron 4 que no eran aplicables a tecnologías descentralizadas, ya que requieren áreas de gran tamaño para su aplicación (humedales construidos y zanjas de oxidación), además se descartaron 18 trenes cuyas AG no provenían de zonas estrictamente residenciales (ej. Baños públicos, mezquitas, centros deportivos, entre otros), también se descartaron 4 trenes de tratamiento cuyos usos posibles no fueran destinados para riego y descarga de inodoros.

A los 14 trenes restantes se le compararon los valores obtenidos del efluente con los valores límites permitidos para su reutilización en riego y descarga de inodoros según el decreto 185 del 2003 de Francia (Ministerio de ambiente, 2003), dando como resultado los 4 trenes de tratamiento que más cumplieron con el decreto y cuyas características de las AG fueron similares a las procedentes de duchas y mixto encontradas anteriormente (Ver Apéndice I) (Ver Tabla 8).

Tabla 8

Trenes de tratamiento seleccionados para ser evaluados

N	Preliminar	Primario	Secundario	Terciario
1			RBC - Sedimentación	Desinfección UV
2	Cribado		MBR	
3		Electrocoagulación		
4			BAF	Desinfección HP

MBR= biorreactores de membrana, RBC= contactores biológicos rotativos, BAF= filtro biológico aireado, HP= Hidróxido-Peróxido, UV= ultravioleta.

4.6.2 Criterios de selección. Se realizó una descripción de las 6 variables seleccionadas para evaluar casa una de las tecnologías de los 4 trenes de tratamiento seleccionados (Ver Tabla 9).

Tabla 9

Criterios para la selección de tecnologías para el tratamiento de AG

Aspectos	Variables	Descripción
Ambiental	Generación de subproducto	Productos de descomposición del efluente como biogás y lodos.
	Emisión de olores	Generación de aroma al momento de realizarse el tratamiento
Técnico	O&M	Necesidad de procesos de inspección y vida útil de los componentes de las tecnologías para garantizar su buen funcionamiento

Tabla 9. *Continuación*

Aspectos	Variables	Descripción
Técnico	O&M	Necesidad de procesos de inspección y vida útil de los componentes de las tecnologías para garantizar su buen funcionamiento
	Personal especializado para la O&M	Personal entrenado para llevar a cabo la operación y mantenimiento de la tecnología
	Inversión	Capital necesario para la construcción de cada tecnología.
Económico	O&M	Costos asociados a la frecuencia de mantenimiento, cantidad de sustancias químicas y repuestos empleados.

Adaptado de: Diaz, Lady, & Gualdrón, M. (2014). Selección de tecnología para el tratamiento de aguas residuales en el municipio de Villanueva - Santander, Quebrada las Burras.

4.6.3 Herramienta de selección. Con el fin de seleccionar el o los trenes de tratamiento que mejor se adapten al contexto de la investigación, se realizó una matriz de acuerdo con los aspectos y variables anteriormente seleccionadas. Para variables cuantitativas como costos de inversión y O&M, se asumió como una operación en la cual se tomó el valor de la variable estudiada para cada tecnología y se dividió en el máximo valor de la variable estudiada entre todas las tecnologías.

- Se asignaron los valores posibles que podían tomar cada una de las variables, desde lo menos favorables a los más favorables.
- Se estimaron los valores esperados para cada variable, siendo este el más favorable que se podía presentar.
- Se dio una calificación a cada uno de los valores posibles que podía tomar cada variable, el valor menos favorable tomo la calificación más baja (1) y aumento hasta llegar al más favorable con la máxima calificación (5) (Ver Tabla 10).

Tabla 10

Matriz de calificación

Aspectos	VARIABLES	Valores posibles	Valor esperado	Calificación
Ambiental	Generación de subproducto	SI	NO	SI=1
		NO		NO=5
	Emisión de olores	SI	NO	SI=1
		NO		NO=5
Técnicos	O&M	ALTO	BAJO	ALTO=1
		MEDIO		MEDIO=3
		BAJO		BAJO=5
	Personal especializado	SI	NO	SI=1
		NO		NO=5
Económico	Inversión	$0 < CT \leq 1^*$	$CT \approx 0$	$0.8 \leq CT \leq 1 = 1$
				$0.6 \leq CT < 0.8 = 2$
				$0.4 \leq CT \leq 0.6 = 3$
				$0.2 \leq CT \leq 0.4 = 4$
				$0 < CT < 0.2 = 5$
	Costos de O&M	$0 < CT \leq 1^*$	$CT \approx 0$	$0.8 \leq CT \leq 1 = 1$
				$0.6 \leq CT < 0.8 = 2$
				$0.4 \leq CT \leq 0.6 = 3$
				$0.2 \leq CT \leq 0.4 = 4$
				$0 < CT < 0.2 = 5$

CT= costo tecnología analizada/mayor costo entre las tecnologías.

*Si no fue posible encontrar valores en términos de \$/m³, se procedió a buscar en la literatura comentarios cualitativos que los autores hubiesen realizado sobre las tecnologías calificando con ***=1, **=3 y *=5, siendo 5 el valor esperado.

4.6.4 Caracterización de tecnologías. Se realizó una caracterización de tecnologías de los trenes seleccionados empleando el buscador Google® y artículos obtenidos de las revisiones de literatura, se obtuvieron los valores de costos de inversión y O&M, si necesitaban personal especializado, los parámetros de las AG suelen tratar, cómo es el funcionamiento, entre otras (Ver Apéndice J).

4.6.5 Aplicación de la herramienta de selección. Con la información obtenida en la caracterización de las tecnologías del numeral anterior se pudo llenar la Tabla 11 con los resultados obtenidos para cada variable.

Tabla 11

Resultados obtenidos de la caracterización de tecnologías

Tecnología	Generación de subproducto	Emisión de olores	O&M	Personal especializado	Inversión \$/m3	Costos O&M \$/m3
Sedimentación	SI	SI	BAJO	NO	*	*
Electrocoagulación	SI	SI	MEDIO	SI	**	**
RBC	SI	NO	BAJO	NO	1584000	136.5
MBR	SI	SI	ALTO	SI	1500000	384
BAF	SI	SI	ALTO	SI	**	96
Desinfección UV	NO	NO	MEDIO	NO	50.4	23.19
Desinfección HP	NO	SI	ALTO	SI	***	64

MBR= biorreactores de membrana, RBC= contactores biológicos rotativos, BAF= filtro biológico aireado, HP= Hidróxido-Peróxido, UV= ultravioleta.

A los resultados obtenidos de costos de inversión se les realizó la conversión a Ct para poder darle un valor al momento de realizar la ponderación.

Tabla 12

CT para costos de inversión y de O&M

Tecnología	Inversión \$/m3	Costos O&M \$/m3
Sedimentación	*	*
Electrocoagulación	**	**
RBC	1	0.35546875
MBR	0.946969697	1
BAF	**	0.25
Desinfección UV	**	0.060390625
Desinfección HP	***	0.166666667

MBR= biorreactores de membrana, RBC= contactores biológicos rotativos, BAF= filtro biológico aireado, HP= Hidróxido-Peróxido, UV= ultravioleta.

Se calificaron las tecnologías seleccionadas como se había propuesto en la Tabla 10 y se procedió a realizar la suma del valor de todas las variables para cada tecnología.

Tabla 13

Calificación por tecnología

Tecnología	Generación de subproducto	Emisión de olores	O&M	Personal especializado	Inversión \$/m3	Costos O&M \$/m3	TOTAL
Sedimentación	1	1	5	5	5	5	22
Electrocoagulación	1	1	3	1	3	3	12
RBC	1	5	5	5	1	4	21
MBR	1	1	1	1	1	1	6
BAF	1	1	1	1	3	4	11
Desinfección UV	5	5	3	5	3	5	26
Desinfección HP	5	1	1	1	1	5	14

MBR= biorreactores de membrana, RBC= contactores biológicos rotativos, BAF= filtro biológico aireado, HP= Hidróxido-Peróxido, UV= ultravioleta.

Se realizó la calificación de los trenes de tratamiento, de acuerdo a la sumatoria de los valores obtenidos para cada una de las tecnologías que lo conformaban. Adicionalmente se agregó el valor de calificación que se le había dado a cada uno de los trenes de tratamiento, de acuerdo al cumplimiento de la normativa que se había analizado en el numeral 5.6.1, dando un valor de 5 si el parámetro característico de las AG (i.e. DBO₅, DQO, NT, PT, Turbiedad, SST, pH y Coliformes totales) estaba dentro de los valores límites permitidos por la normativa escogida y 1 si por el contrario no estaba dentro de los valores límites (Ver Apéndice I). Con el fin de dar una calificación equitativa a cada uno de los trenes evaluados, el valor total se dividió en la cantidad de tecnologías que componían cada tren.

Tabla 14

Calificación por tren de tratamiento

N	Preliminar	Primario	Secundario	Terciario	Norma	Variables	SUMA	TOTAL
1			RBC - Sedimentación	Desinfección UV	20	69	89	29.7
2	Cribado		MBR		15	6	21	10.5
3		Electrocoagulación			20	12	32	32.0
4			BAF	Desinfección HP	21	25	46	23.0

MBR= biorreactores de membrana, RBC= contactores biológicos rotativos, BAF= filtro biológico aireado, HP= Hidróxido-Peróxido, UV= ultravioleta.

La electrocoagulación fue la tecnología que mejores resultados obtuvo de la calificación propuesta, pues ofrece gran cantidad de ventajas, ya que permite la eliminación de aceites, grasas, metales, SS y degradar de forma sustancial la materia orgánica, además presenta costos medios de inversión y O&M. también se seleccionó el tren que corresponde a combinación RBC, sedimentación y desinfección UV, pues tuvo calificación cercana a la de electrocoagulación.

Ambos trenes de tratamiento cumplieron de manera satisfactoria con los requerimientos del efluente para ser empleado en descarga de inodoros y riego del jardín.

Para ambos trenes de tratamiento se recomienda la implementación de una rejilla de cribado, para remover solidos de gran tamaño que puedan obstaculizar el funcionamiento de los tratamientos posteriores. Además, para la electrocoagulación que es tratamiento primario avanzado, se recomienda un tratamiento posterior de nutrientes, especialmente de fosforo al ser considerado un parámetro crítico; este puede ser por medio de la adición de cloruro férrico, que por medio de precipitación química puede tratar este contaminante. finalmente para complementar el segundo tren de tratamiento seleccionado, se sugiere la instalación de una trampa de grasas como tratamiento preliminar, cuyo valor puede oscilar entre los \$217.000 y \$1'020.000, ya que como se evidencio en la investigación, las AG suelen tener presencia de grasas corporales y aceites provenientes de la cocina, además los trenes de tratamientos seleccionados para ser estudiados tenían características del afluente similares a las encontradas en el numeral 5.3.2, denominadas como mixtas, lo cual significa que pueden tener procedencia de AG de la cocina.

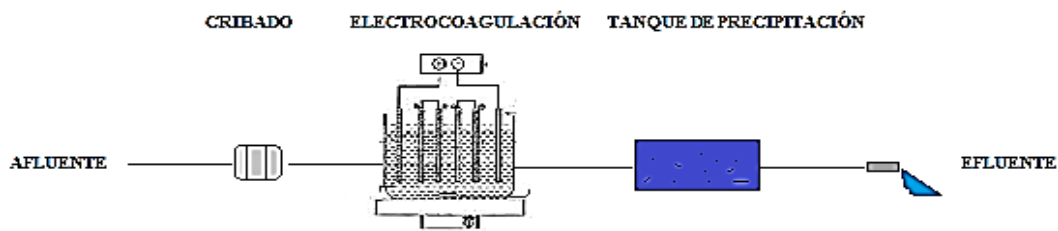


Figura 8. Primer tren de tratamiento. Adaptado de Gilpavas, E. (2008). Aplicación de la electroquímica en el tratamiento de aguas residuales. EAFIT. Retrieved from <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/cuadernos-investigacion/article/view/1279/1158>

- Segundo tren de tratamiento

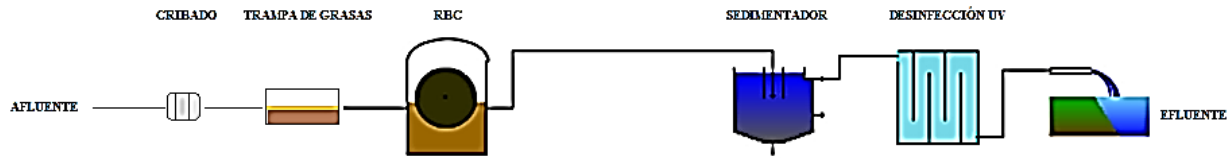


Figura 9. Segundo tren de tratamiento. Adaptado de Abdel-Kader, A. M. (2013). Studying the efficiency of grey water treatment by using rotating biological contactors system. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 25(2), 89–95. <https://doi.org/10.1016/J.JKSUES.2012.05.003>

A pesar de que los trenes de tratamiento compuestos por cribado - MBR y BAF - desinfección HP, no tuvieron altas calificaciones, son tratamientos que presentaron buenas características del efluente de acuerdo al Decreto 185 de 2003 de Francia, por lo cual podrían ser considerados como posibles trenes de tratamiento de las AG para ser aplicados en zonas residenciales del Área Metropolitana de Bucaramanga, considerando aspectos reales como población de aplicación, caudal a tratar, características obtenidas a partir de la recolección de muestras de las AG, entre otros.

5. Conclusiones

- De acuerdo a la revisión bibliográfica realizada, es evidente la falta de estudios que brindan información sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas presentes en las aguas grises en países en desarrollo y particularmente en Latinoamérica. Por otra parte, fue posible observar que existe semejanza entre los parámetros críticos presentes en las agua grises y los parámetros más estudiados por los diferentes autores a nivel mundial, entre ellos se encuentra la turbiedad, solidos suspendidos totales, DBO₅, DQO, fósforo total, coliformes fecales, Ecoli, Mg ,Zn, lo cual nos da a entender que estas características fisicoquímicas y microbiológicas son de gran importancia y se deben considerar para la ejecución de estudios posteriores y pruebas de laboratorio. Además, existen características fisicoquímicas como pH, conductividad eléctrica y nitrógeno total, las cuales, a pesar de no presentar valores críticos, requieren ser estudiadas para mantener un control, que garantice un efluente seguro.

- Se encontró que, tanto para los estudios realizados por el Grupo de Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental de la Universidad Industrial de Santander, como para los autores encontrados en la revisión de literatura, los usos más comunes de las aguas grises tratadas son la descarga de inodoros y el riego de jardines, siendo estos usos además los más considerados por las políticas internacionales que han planteado guías para el reusó seguro de las aguas grises, como el Decreto 185 de 2003 realizado en Francia tomado de referencia en esta investigación. Es de gran importancia señalar la necesidad de llevar a cabo una investigación de acuerdo a las experiencias de diferentes autores que ha implementado el reusó de las aguas grises y generar conocimiento respecto a los riesgos de salud pública y ambiental. Por otra parte, es necesario tener en cuenta la

información respecto a sistemas de tratamiento que hayan sido exitosos presentando efluentes seguros, para así formular una normativa a nivel nacional para el reúso de las aguas grises.

- Se encontraron 40 trenes de tratamiento que combinaron tecnologías físicas, químicas y biológicas para remover los parámetros característicos presentes en las aguas grises. Se seleccionaron 4 trenes de tratamiento para ser evaluados, ya que las características del efluente cumplieron con los valores límites establecidos por la normativa seleccionada, provenían de zonas residenciales, sus características presentaron similitudes a las encontradas en la revisión de literatura y los posibles usos posteriores de las aguas grises tratadas estaban dentro de los más mencionados. De los 4 trenes evaluados la electrocoagulación y la combinación RBC, sedimentación y desinfección UV, fueron las que obtuvieron mayor calificación.

- La electrocoagulación presentó costos moderados de inversión y O&M, además de contar con la ventaja de ser una tecnología que puede tratar las grasas y aceites provenientes de la cocina. Sin embargo, al ser una tecnología que emplea electricidad para su funcionamiento requiere personal especializado. Por otra parte, la combinación RBC, sedimentación y desinfección UV presentó valores del afluente acordes con la normativa, costos moderados de inversión y O&M, siendo tecnologías que pueden ser supervisadas por la comunidad de la edificación donde se decida instalar ya que no requieren personal especializado. A pesar que el tratamiento biológico (RBC) suele causar emisión de olores, tiene alternativas de construcción prefabricadas de poco tamaño, que controla los olores y puede tratar caudales producidos desde 50 a 30000 personas, siendo aplicable al objetivo principal de esta investigación, con la desventaja de que requiere un tratamiento preliminar de trampa de grasas, especialmente si las aguas grises provienen de la cocina.

Referencias bibliográficas

- 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*, 25(2), 89–95. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.JKSUES.2012.05.003>
- acciona. (n.d.). Filtro biológico aireado. Disponible en: https://saaccionaagua.blob.core.windows.net/media/2691140/03_-biofilpas.pdf
- Al-Jayyousi, O. R. (2003). Greywater reuse: towards sustainable water management. *Desalination*, 156(1–3), 181–192. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(03\)00340-0](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(03)00340-0)
- Torres Parra, A; Villanueva Perdomo, S. C. (n.d.). Filtro de arena lento: manual para el armado, instalación y monitoreo. programa de ingeniería civil.
- Arango, A. (2004). La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista de Investigación*, 2(1).
- Ardila Galvis, M. (2013). Viabilidad técnica y económica del aprovechamiento de aguas grises domésticas. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/45618/1/1010165974.2013.pdf>
- Aristizabal, J. (2010). Aplicación y evaluación de un reactor de contactores biológicos rotativos (RBC O BIODISCOS) a escala laboratorio como tratamiento de los lixiviados generados en el relleno sanitario de la pradera. Disponible en: [https://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/44/Aplicación y evaluación de un reactor de contactores biológicos rotativos \(RBC o biodiscos\) a escala laboratorio como tratamiento de los lixivi](https://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/44/Aplicación_y_evaluación_de_un_reactor_de_contactores_biológicos_rotativos_(RBC_o_biodiscos)_a_escala_laboratorio_como_tratamiento_de_los_lixivi)
- Assayed, A., Chenoweth, J., & Pedley, S. (2015). Assessing the efficiency of an innovative method

- for onsite greywater treatment: Drawer compacted sand filter – A case study in Jordan. *Ecological Engineering*, 81, 525–533. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLENG.2015.04.042>
- Atasoy, E., Murat, S., Baban, A., & Tiris, M. (2007). Membrane Bioreactor (MBR) Treatment of Segregated Household Wastewater for Reuse. *CLEAN – Soil, Air, Water*, 35(5), 465–472. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/clen.200720006>
- Avvannavar, S. M., & Shrihari, S. (2007). Municipal water and wastewater treatment | Kumar Rakesh, Singh R.N., Municipal water and wastewater treatment, Ramachandra T.V. (Ed.), Capital Publishing Company, 7/28, Mahaveer Street, Ansari Road, New Delhi 110 002 (2006), p. 265, Price : US\$ 27.95, ISBN: 81-85589-49-6. *Science of The Total Environment*, 383(1–3), 248–249. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2007.05.019>
- Brikké, F., & Bredero, M. (2003). Linking technology choice with operation and maintenance in the context of community water supply and sanitation.
- Chen, Z., Ngo, H. H., & Guo, W. (2012). A critical review on sustainability assessment of recycled water schemes. *Science of The Total Environment*, 426, 13–31. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2012.03.055>
- Congreso de Colombia. Ley N°373, 1997 Diario Oficial § (1997).
- Corredor, D., & Jaimes, R. (2015). Mejoramiento de un sistema de tratamiento de aguas pluviales y grises provenientes del lavado de ropa, para la reutilizacion en baterías sanitarias, lavado de pisos, riego de plantas entre otras. *Biomass Chem Eng. Universidad Industrial de Santander*.
- de Koning, J., Bixio, D., Karabelas, A., Salgot, M., & Schäfer, A. (2008). Characterisation and assessment of water treatment technologies for reuse. *Desalination*, 218(1–3), 92–104. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.08.024>
- Diaz, Lady, & Gualdrón, M. (2014). Selección de tecnología para el tratamiento de aguas

residuales en el municipio de Villanueva - Santander, Quebrada las Burras.

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. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13201-013-0128-8>

Electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales. (n.d.).

Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M., & Ledin, A. (2002). Characteristics of grey wastewater. *Urban Water*, 4(1), 85–104. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(01\)00064-4](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(01)00064-4)

Eriksson, E., & Donner, E. (2009). Metals in greywater: Sources, presence and removal efficiencies. *Desalination*, 248(1–3), 271–278. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.DESAL.2008.05.065>

Finley, S., Barrington, S., & Lyew, D. (2009). Reuse of domestic greywater for the irrigation of food crops. *Water, Air, and Soil Pollution*, 199(1–4), 235–245. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11270-008-9874-x>

Friedler, E. (2004). Quality of Individual Domestic Greywater Streams and its Implication for On-Site Treatment and Reuse Possibilities. *Environmental Technology*, 25(9), 997–1008. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/09593330.2004.9619393>

Ghaitidak, D. M., & Yadav, K. D. (2013). Characteristics and treatment of greywater—a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(5), 2795–2809. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1533-0>

Gilpavas, E. (2008). Aplicación de la electroquímica en el tratamiento de aguas residuales. EAFIT. Disponible en: <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/cuadernos-investigacion/article/view/1279/1158>

Grijalva, M., & Mariño, F. (2014). Diseño y construcción de un electrocoagulador aplicado al

tratamiento de aguas residuales de la empresa tesquimsa, para el laboratorio de química de la facultad de ciencias ambientales de la UISEK. Universidad internacional Sek.

Gross, A., Maimon, A., Alfiya, Y., & Friedler, E. (2015). Greywater reuse, 32. Disponible en: <https://doi.org/doi:10.1201/b18217-1>

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.

Guirao, S., Ferrer, E., & Olmedo, A. (2008). El artículo de revisión. Revista Ibero-Americana de Enfermagem Comunitária. Retr Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/268518751_El_articulo_de_revision

Gutiérrez-Rosero, J. A., Ramírez-Fajardo, Á. I., Rivas, R., Linares, B., & Paredes, D. (2014). Tratamiento de lodos generados en el proceso convencional de potabilización de agua TT - Treatment of waterworks sludge from conventional process to drinking water. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 13(25), 13–27.

Haya, L. (1978). Centro internacional de referencia para abastecimiento público de agua de la OMS.

Humeau, P., Hourlier, F., Bulteau, G., Massé, A., Jaouen, P., Gérente, C., ... Le Cloirec, P. (2011). Estimated costs of implementation of membrane processes for on-site greywater recycling. Disponible en: <https://doi.org/10.2166/wst.2011.617>

Jefferson, B., Palmer, A., Jeffrey, P., Stuetz, R., & Judd, S. (1999). Grey water characterisation and its impact on the selection and operation of technologies for urban reuse, 157–164.

Judd, S. (n.d.). MBR OPEX – the theory of running costs. Retrieved February 17, 2019, Disponible en: <https://www.thembrsite.com/features/membrane-bioreactor-opex-theory-running-costs/>

Lin, C.-J., Lo, S.-L., Kuo, C.-Y., & Wu, C.-H. (2005). Pilot-Scale Electrocoagulation with Bipolar

- Aluminum Electrodes for On-Site Domestic Greywater Reuse. *Journal of Environmental Engineering*, 131(3), 491–495. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2005\)131:3\(491\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(2005)131:3(491))
- Mah, D. Y. S., Bong, C. H. J., Putuhena, F. J., & Said, S. (2009). A conceptual modeling of ecological greywater recycling system in Kuching city, Sarawak, Malaysia. *Resources, Conservation and Recycling*, 53(3), 113–121. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2008.07.008>
- Martz, M. (2002). Effective wastewater treatment in the pharmaceutical industry. GFA. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/286692007_Effective_wastewater_treatment_in_the_pharmaceutical_industry
- Massoud, M. A., Tarhini, A., & Nasr, J. A. (2009). Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries. *Journal of Environmental Management*, 90(1), 652–659. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2008.07.001>
- Microlab Industrial. (2015). Cloración en los procesos de tratamiento de aguas residuales urbanas. Retrieved February 14, 2019, Disponible en: <https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/cloracion-en-los-procesos-de-tratamiento-de-aguas-residuales>
- Ministerio de ambiente. Decreto n° 185 de 2003 (2003).
- Ministerio de la Presidencia. Decreto n° 1620 de 2007 (2007).
- Ministerio de salud. Proyecto De Reglamento Sobre Condiciones Sanitarias Básicas Para La Reutilización De Aguas Grises.

Ministry of Housing City and Territory. Decreto N°1285 (2015).

MINVIVIENDA. (2015). Portal Minvivienda Colombia puso en marcha su nueva reglamentacion de construccion sostenible. Retrieved March 5, 2018, Disponible en: <http://www.minvivienda.gov.co/sala-de-prensa/noticias/2015/julio/colombia-puso-en-marcha-su-nueva-reglamentacion-de-construccion-sostenible>

Miranda. (n.d.-a). Miracell Modular Planta De Tratamiento De Aguas Residuales. Retrieved February 17, 2019, Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/miracell-modular-wastewater-treatment-plant-109015976.html>

Miranda. (n.d.-b). Miranda Atik Su ve Su Arıtma Sistemleri. Retrieved February 17, 2019, Disponible en: <http://www.miranda-tr.com/en/miracell/>

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

Morante, G. (2002). Electrocoagulación de aguas residuales. (Vol. 34). Disponible en: <https://blog.condorchem.com/pdf/electrocoagulacion-caso-practico.pdf>

Morel, A., & Diener, S. (2006). Greywater Management in Low and Middle-Income Countries.

Muñoz, P. A. (2018). Resource-Efficient Technologies 2016 vol: 2 (4) pp: 175-184. Universidad de las Americas. Disponible en: <http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/8988/1/UDLA-EC-TIAM-2018-09.pdf>

NSW Government. (2012). Greywater Treatment Systems, 2012(22 March 2012). Disponible en: <http://www.health.nsw.gov.au/publichealth/environment/water/accreditations/gts.asp>

Obregón, A. (2017). Evaluación de la eficiencia de un proceso de oxidación avanzada para la desinfección del agua del río Otún en el sistema de potabilización para el consumo de la ciudad

de Pereira. Universidad Tecnológica de Pereira.

Oh, K. S., Leong, J. Y. C., Poh, P. E., Chong, M. N., & Lau, E. Von. (2018). A review of greywater recycling related issues: Challenges and future prospects in Malaysia. *Journal of Cleaner Production*, 171, 17–29. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.09.267>

Oteng-Pepurah, M., Acheampong, M. A., & deVries, N. K. (2018). Greywater Characteristics, Treatment Systems, Reuse Strategies and User Perception—a Review. *Water, Air, & Soil Pollution*, 229(8), 255. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11270-018-3909-8>

Patil, Y. M., & Munavalli, G. R. (2016). Performance evaluation of an Integrated On-site Greywater Treatment System in a tropical region. *Ecological Engineering*, 95, 492–500. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.ECOLENG.2016.06.078>

Piña, M., Dávila, R., García, M. L., & Arredondo CEACA, O. F. (n.d.). VERIFICACIÓN Y CONTROL DEL SISTEMA DE PURIFICACIÓN DEL AGUA. Disponible en: https://www.uaq.mx/investigacion/difusion/veranos/memorias-2007/57_1UAQMartinezPina.pdf

Planta MBR. (n.d.). Retrieved February 17, 2019, Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/20m3-d-a-de-tratamiento-de-aguas-residuales-de-la-planta-mbr-tratamiento-de-aguas-residuales-de-la-planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales-60713707144.html?spm=a2700.galleryofferlist.normalList.56.5c8415594JtPy>

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

Ramos Marques, F., Ribeiro Ide, W., & Loureiro Paulo, P. (2006). Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales[[Elektronische Ressource]]. Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias

- Ambientales: investigación, desarrollo y práctica (Vol. 11). Disponible en: <http://www.revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/57873>
- Rashidi, H., GhaffarianHoseini, A., GhaffarianHoseini, A., Nik Sulaiman, N. M., Tookey, J., & Hashim, N. A. (2015). Application of wastewater treatment in sustainable design of green built environments: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 845–856. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2015.04.104>
- Rayos ultravioleta. (n.d.). Retrieved February 6, 2019, Disponible en: <https://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=1543>
- Remtavares. (2008). Reactores Biológicos de Membrana (MBR), la solución compacta al tratamiento biológico de aguas. Retrieved February 17, 2019, Disponible en: <http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2008/02/29/85617>
- Reyes, M., Ocaña, E. R., Dominguez, I., Komilis, D., & Sánchez, A. (2018). A systematic review on the composting of green waste: Feedstock quality and optimization strategies. *Waste Management*, 77, 486–499. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2018.04.037>
- Sanimas. (n.d.). Informed Choice Catalog. Disponible en: https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SANIMAS_2005_Informed_Choice_Catalogue.pdf
- Shamabadi, N., Bakhtiari, H., Kochakian, N., & Farahani, M. (2015). The Investigation and Designing of an Onsite Grey Water Treatment Systems at Hazrat-e-Masoumeh University, Qom, IRAN. *Energy Procedia*, 74, 1337–1346. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.EGYPRO.2015.07.780>
- Siyu, Z., Gouvello Bernard, D., Nathalie, G., Gaëlle, B., Françoise, L., & Ghassan, C. (2013). Characterization and evolution of the microbiological quality of in-building stored alternative

resource water-literature review and results of preliminary experiments Caractérisation.

Disponible en: <http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/51313/1C1P20-280ZHA.pdf?sequence=1>

SSWM. (n.d.-a). Filtro de goteo.

SSWM. (n.d.-b). H2O2.

SSWM. (n.d.-c). Sedimentacion.

Tchobanoglous, G., L. Burton, F., & H. Stensel, D. (2003). Wastewater Engineering Treatment and Reuse. McGraw-Hill's, 4, 1–24. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0191-2615\(91\)90038-K](https://doi.org/10.1016/0191-2615(91)90038-K)

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. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2015.03.015>

Tubos UV | SSWM - ¡Encuentre herramientas para el saneamiento sostenible y la gestión del agua!
(n.d.).

UF ultra filter-SHAANXI APS MACHINERY EQUIPMENT CO.,LIMITED. (n.d.). Retrieved February 17, 2019, Disponible en: http://www.watemc.com/APS_UF_ultra_filter

Usepa. (2012). Guidelines for Water Reuse.

Usepa, & Agency, U. S. E. P. (2002). Onsite Wastewater Treatment Systems Manual. Usepa, (February), 1–367. Disponible en: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Onsite+Wastewater+Treatment+Systems+Manual#1>

Wanjiru, E., & Xia, X. (2018). Sustainable energy-water management for residential houses with

optimal integrated grey and rain water recycling. *Journal of Cleaner Production*, 170, 1151–1166. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.212>

WHO. (2016). WHO | Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. WHO. Disponible en: http://www.who.int/water_sanitation_health/sanitation-waste/wastewater/wastewater-guidelines/en/

Wright, H. B., & Cairns, W. L. (n.d.). Original: inglés LUZ ULTRAVIOLETA.

Zamalloa, C., Boon, N., & Verstraete, W. (2013). Decentralized two-stage sewage treatment by chemical–biological flocculation combined with microalgae biofilm for nutrient immobilization in a roof installed parallel plate reactor. *Bioresource Technology*, 130, 152–160. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2012.11.128>

Zhang, S., van Houten, R., Eikelboom, D. H., Doddema, H., Jiang, Z., Fan, Y., & Wang, J. (2003). Sewage treatment by a low energy membrane bioreactor. *Bioresource Technology*, 90(2), 185–192. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00115-9](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00115-9)