

# **UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**PROGRAMA EDUCATIVO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL**

## **INFORME TÉCNICO**

**FILTRACIÓN Y ESTERILIZACIÓN DE  
AGUAS GRISES PROVENIENTES DE  
UNA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL  
A TRAVÉS DE UN PROTOTIPO  
UTILIZANDO MEDIOS GRANULADOS  
YRAYOS ULTRAVIOLETA**

**JOSÉ FRANCISCO JIMÉNEZGARCÍA**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**Director**

**Dr. Juan Antonio Villanueva Hernández**



**Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.**



**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS**  
SECRETARÍA GENERAL  
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES  
DEPARTAMENTO DE CERTIFICACIÓN ESCOLAR  
AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Lugar: Tuxtá Gutiérrez, Chiapas  
Fecha: 25 de Octubre de 2021

C. José Francisco Jiménez García

Pasante del Programa Educativo de: Ingeniería Ambiental

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:  
Filtración y esterilización de aguas grises provenientes de una vivienda de interés social a través de un prototipo utilizando medios granulados y rayos ultravioletas

En la modalidad de: Informe Técnico

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

**Revisores**

Dr. José Manuel Gómez Ramos

Dr. Rubén Alejandro Vázquez Sánchez

Dr. Juan Antonio Villanueva Hernández

**Firmas:**

Ccp. Expediente

## DEDICATORIAS

A mis padres María Isabel y José Luis, por todo el apoyo que me han dado, que gracias a ello he logrado muchas cosas y este trabajo es una de ellas. A mis hermanos Pepe y Paulina que siempre me han cuidado y apoyado, a mis sobrinos Marijose y Max que han animado mis días cuando los cuido.

A mis abuelitos José Guadalupe (QEPD), Fanny (QEPD), Romeo (QEPD), María Elena; por las atenciones y motivaciones que me hicieron a lo largo del proceso de esta carrera.

A mis tíos en especial: Malú, Rafa, Kena, Milo, Fanny, Sonia (QEPD). A mis primos: Emilio, Kena, Andrés, Erick, Rafa, Mary, Rubén, Cesar, Ulises, German, Carolina, Janet, Luis; por esas tardes y noches de diversión.

A mis amigos: Marcos, Noé y David que gané y he conservado desde la preparatoria, a pesar de que no frecuentarlos demasiado se que cuento con su apoyo.

A mi mejor amiga Ixchel Monserrat con quién viví la etapa de la universidad, con la que pase todos los semestres; quién fue mi acompañante de desvelos, estrés y alegrías durante nuestra trayectoria en la carrera; por compartir su amistad y confianza la cuál valoro demasiado.

## AGRADECIMIENTOS

A mi familia por todo el apoyo y confianza que han depositado en mí durante toda mi vida.

A mi asesor. Dr. Juan Antonio Villanueva Hernández por su orientación, dedicación, apoyo para el desarrollo de este trabajo.

A los miembros del jurado revisores Dr. José Manuel Gómez ramos y el Dr. Rubén Alejandro Vázquez Sánchez por la ayuda que me brindaron con sus comentarios, sugerencias y observaciones durante la realización de este trabajo.

A la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, en la licenciatura en Ingeniería Ambiental por la formación académica y la preparación para la vida laboral que me otorgó a través de sus profesores e instalaciones.

# ÍNDICE

<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>7</b>
<b>II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>8</b>
<b>III. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>9</b>
<b>IV. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>10</b>
<b>1. AGUA.....</b>	<b>10</b>
1.1 Ciclo hidrológico .....	11
1.2 Propiedades físicas y químicas del agua.....	12
1.3 Calidad del agua.....	13
<b>2. AGUAS RESIDUALES .....</b>	<b>15</b>
2.1 Definición.....	15
2.2 El Ciclo urbano del agua.....	17
2.3 Problemas asociados a la contaminación y falta de tratamiento.....	18
2.4 Composición de las aguas residuales .....	19
2.5 Características físicas .....	20
2.6 Características químicas .....	21
2.7 Características biológicas.....	23
2.8 Importancia del tratamiento de las aguas residuales.....	24
2.9 Tipos de tratamiento .....	25
2.10 ¿Cómo funciona una planta de tratamiento?.....	25
<b>3. AGUAS GRISES .....</b>	<b>26</b>
3.1 Definición.....	26
3.2 Características de aguas grises según su origen .....	27
3.3 Características generales .....	27
3.4 Las diferencias de las aguas grises con las aguas negras se encuentran: .....	28
3.5 Formas de reúsos de las aguas grises .....	28
3.6 Efectos en medio ambiente .....	29
3.7 Nutrientes .....	30
3.8 Tipos de tratamiento .....	31
3.9 Uso de productos de limpieza .....	32
<b>4. FILTRACIÓN.....</b>	<b>32</b>
4.1 Medios filtrantes .....	33

4.2 Filtración de superficie y de profundidad .....	33
<b>5. CARBÓN ACTIVADOBITUMINOSO .....</b>	<b>34</b>
5.1 Propiedades de absorber .....	34
5.2 Capacidad de adsorción .....	35
<b>6. ARENA SÍLICA .....</b>	<b>35</b>
<b>7. GRAVA SÍLICA.....</b>	<b>35</b>
<b>8. LUZ ULTRA VIOLETA.....</b>	<b>36</b>
8.1 Mecanismos de desinfección UV.....	36
8.2 Dosis de UV que se requiere.....	37
<b>9. NORMATIVIDAD.....</b>	<b>37</b>
<b>10. ACEPTACIÓN DE LA SOCIEDAD SOBRE EL TRATAMIENTO DE AGUASGRISES</b>	<b>39</b>
<b>V. OBJETIVOS.....</b>	<b>42</b>
<b>VI. METODOLOGÍA .....</b>	<b>42</b>
<b>VII. PRESENTACION Y ANÁLISIS DE RESULTADOSOBTENIDOS .....</b>	<b>52</b>
<b>VIII. CONCLUSIÓN .....</b>	<b>56</b>
<b>IX. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>57</b>
<b>X. ANEXOS FOTOGRÁFICOS.....</b>	<b>58</b>
<b>XI. REFERENCIAS.....</b>	<b>61</b>

## **I. INTRODUCCIÓN**

La presente investigación se refiere al tema de las aguas grises y su tratamiento; aquellas que se generan en las actividades cotidianas de aseo personal y del hogar. Son provenientes únicamente de lavabos, fregaderos, lavaderos, regaderas y lavadoras. Normalmente éstas no son tan peligrosas para la salud humana o al medio ambiente como las aguas negras (aguas provenientes de los inodoros); pero tienen cantidades significativas de nutrientes, materia orgánica y bacterias.

Hoy en día el agua es de los recursos más importantes en el planeta, ya que forma parte importante de nuestras actividades cotidianas, pero la mayor parte del agua no cuenta con un saneamiento seguro o se desperdicia de manera excesiva.

Creando una solución, se diseñó y construyó un prototipo para el tratamiento de aguas grises, para así solventar la necesidad de reutilización de estas aguas en otras actividades. Está basado en la filtración por medios granulados utilizando carbón activado bituminoso, arena y grava sílica, con una esterilización con una lámpara de rayos ultravioleta de mercurio.

De acuerdo a los análisis fisicoquímicos y microbiológicos obtenidos con las pruebas hechas en laboratorios, se muestran parámetros de DQO, DBO; Nitrógeno Total, Turbiedad, Coliformes Totales y Coliformes Fecales, son adecuados según la normatividad mexicana aplicable como para el reuso de contacto directo; que son las actividades donde el público este expuesto directamente o en contacto físico.

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El agua es uno de los recursos más explotados por el hombre, a nivel mundial el uso del agua ha estado en aumento con un 1% anual desde los años 80 del siglo pasado, todo por una combinación entre el crecimiento poblacional, un desarrollo económico y un cambio en hábitos de consumo. La ONU estima que se espera que la demanda mundial del agua siga aumentando a un ritmo hasta el 2050, lo que representa un incremento del 20 al 30% por encima del nivel actual de uso, debido principalmente al aumento de la demanda en los sectores industrial y doméstico (ONU,2019)

En México la cobertura nacional de agua potable es de 91.6%. En zonas urbanas la cobertura es de 95.4%. En zonas rurales con menos de 2,500 habitantes, la cobertura es de 78.8% debido a la dispersión de la población en condiciones fisiográficas complejas, y la dificultad financiera o técnica de desarrollar sistemas de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales (Conagua, 2018). El Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), tiene clasificado los usos del agua en diversos rubros, las principales 3 actividades son: agrícola con 59,621 hm<sup>3</sup>, agroindustrial con 3.82 hm<sup>3</sup> y doméstico con 38 hm<sup>3</sup>. En las ciudades se desperdicia alrededor de 40% del agua por fugas en las redes de abastecimiento, distribución y tomas domiciliarias.

Chiapas es uno de los estados más ricos de la República Mexicana, cuenta con gran abastecimiento de recursos naturales, por lo que en todo el estado confluyen ríos, lagos y manantiales. Con una población de 4, 796,580 habitantes solo el 70% de ellos no tienen acceso al agua potable y saneamiento, solo el 26% de las viviendas cuenta con agua entubada. En Tuxtla Gutiérrez, la capital del estado, el 94% cuentan con servicio de abastecimiento de agua potable. (Conapo, 2013)

Las aguas grises pueden llegar a presentar un peligro cuando se descargan directamente en un cuerpo de agua (barranca, río o mar) sin que hayan pasado por algún tipo de tratamiento o si se dejan escurrir de manera superficial, ya que causan contaminación por incremento de nitrógeno y fosforo al suelo, deterioro de ecosistemas acuáticos, mal olor y riesgos a la salud. Actualmente cerca de Tuxtla

Gutiérrez existen descargas de aguas jabonosas que se generan a través de actividades de restaurantes en una zona de embarcadero de Cahuaré en Chiapa de Corzo debido a que no existe algún tipo de tratamiento para aguas grises, estas al descargarse directamente al Río Grijalva generan problemas de contaminación en el cuerpo receptor. (López y Hernández, 2011). Pese a este problema no hay información actualizada respecto al tratamiento de aguas grises.

Con un adecuado tratamiento se puede llegar a la reducción de contaminación o reutilización de estas aprovechándolas en el uso de inodoros, limpieza y riego.

### **III. JUSTIFICACIÓN**

En Chiapas los recursos hidrológicos representan un 45.74% del total del país, sin embargo, se cuenta con un deficiente manejo desde las cuencas hidrológicas hasta los sistemas que proveen de agua entubada a la población. Los servicios como saneamiento, potabilización y distribución del agua en Chiapas no son suficientes para satisfacer la demanda social. (Hacienda, 2019). El alcance de esta investigación es de carácter estatal, ya motivaría a la implementación de un tratamiento de aguas grises en los hogares.

Es importante mencionar que si llega a tener un tratamiento de aguas grises se pueden reutilizar permitiéndonos ser más ecológicos, obteniendo una mayor autonomía en caso de tener un futuro donde escasee agua potable.

Se pretende llegar con esta investigación a toda persona interesada en encontrar maneras de reutilización de agua y ahorro, ayudando al planeta evitando el desgaste del agua potable.

Con este prototipo basado en filtración por medios granulados y esterilización con rayos ultra violeta se pretende llegar a reutilizar las aguas grises generadas en hogares provenientes de duchas, lavadoras y lavamanos; utilizando el agua tratada en aquellas actividades que no se requiera el uso de agua potable como en riego, lavado en lugares y ayuda en la descarga del W.C.

## IV. MARCO TEÓRICO

### 1. AGUA

El Agua es una de las necesidades absolutas para todas las especies vivientes, siendo un recurso vital no sustituible, siendo un recurso más irremplazable de la vida. (Rolland y Cárdenas, 2010, p. 156).



*Ilustración 1. Agua. Fuente National Geographic (2019).*

Los seres humanos dependemos de la disponibilidad del agua no solo para el consumo doméstico, sino también se utiliza para actividades agrícolas e industriales. A raíz de esto en las últimas décadas se ha hecho enfoque en producir más alimentos y energía, así como también incrementa la demanda de agua potable a una población que cada vez va creciendo. Siendo así el agua cubre más del 70% de la superficie del planeta que se encuentra en océanos, lagos, ríos. Contribuye a regular el clima del mundo. Posee propiedades únicas que es esencial para la vida, siendo un material flexible, siendo un solvente muy bueno, un reactivo para procesos metabólicos, tiene una gran capacidad calorífica, pudiendo existir en 3 estados de la materia: solido, líquido y gaseoso.

La cantidad de agua que existe en el mundo consta que en los océanos se cuenta casi con el 97.5% del agua del planeta. Solamente un 2.5% es agua dulce. Los glaciares, la nieve y el hielo en los casos polares representan casi el 80% del agua dulce, el agua subterránea 19% y el agua de superficie accesible rápidamente solo el 1%. (Fernández, 2012, p. 148). Siendo así que el agua es un recurso renovable pero finito. Existe un movimiento masivo de agua que ocurre en los océanos en grandes cantidades en el año que es por la interacción de la energía solar,

conociendo como el ciclo hidrológico, siendo un proceso complejo que influye la precipitación, el escurrimiento, la evapotranspiración y la filtración.

### 1.1 Ciclo hidrológico

El agua en la naturaleza no permanece estática, tiene un dinamismo que tiene diferentes etapas o fases que están enlazadas, generando un ciclo. Que tiene un principio y cuando termina, vuelve a iniciar. (Rascón, 2005, p. 11)

Fases del ciclo hidrológico:

- Precipitación. Es el primer paso del ciclo hidrológico. Se define como la caída de agua al estado líquido (lluvia) o sólida (nieve). Siendo así un fenómeno discontinuo y variable dependiendo el espacio y tiempo.
- Evaporación. Es la transformación del agua líquida en vapor. La energía solar es el responsable de la transformación del agua.
- Transpiración. Es un proceso físico-biológico donde el agua líquida es vaporizada por la acción del metabolismo de las plantas.
- Evapotranspiración. Es la combinación entre evaporación y transpiración, este proceso rara vez se producen aislados, en hidrología se los toma de forma conjunta, esto solo se produce cuando el suelo tiene cobertura vegetal, si no lo tiene, solo se produce evaporación. Tienen influencia en temperatura, humedad relativa y la radiación.
- Infiltración. Es el proceso por el cual pasa de la superficie al subsuelo, así generando las recargas en los acuíferos.
- Escurrimiento superficial. El agua de lluvia que no se haya evapotranspira, escurre superficialmente, que se puede dar por cuatro vías diferentes: superficialmente, subterráneamente, subsuperficialmente y directamente que es la precipitación sobre los cursos. (Auge, 2007, pp. 2-3) Una proporción importante de la precipitación pluvial regresa a la atmosfera en forma de evapotranspiración, el resto se escurre por corrientes y cuerpos de agua que siguen la conformación del terreno que contribuyen a las aguas superficiales o se infiltra al subsuelo como agua subterránea.

Las cuencas son unidades naturales del terreno, que se define por una existencia de la división de las aguas superficiales debido a la conformación del relieve. Las cuencas del país están organizadas en 37 regiones hidrológicas, que administrados se agrupan en 13 regiones hidrológico-administrativas. (Conagua, 2018, p. 30).

## 1.2 Propiedades físicas y químicas del agua

### - Puntos de fusión y ebullición:

Los enlaces que tiene el puente de hidrogeno provoca que los puntos de fusión y ebullición del agua sean altos de lo que se esperaba. Dando temperaturas donde la fusión es de 0°C y el punto de ebullición siendo de 100°C. Ya que si no existiera los enlaces por puentes de hidrógeno el agua sería un gas a la temperatura ambiente.

### - Densidad:

Su densidad es de 1g/cm<sup>3</sup> (exactamente 0,999999 g/cm<sup>3</sup> a 20°C), este a su vez aumenta anormalmente al elevar su temperatura de 0°C a 4°C, donde alcanza un valor máximo de 1g/cm<sup>3</sup>. El agua tiene un comportamiento diferente que a 4°C ya no se contrae, sino que comienza a expandirse.

### - Tensión superficial:

Es una propiedad de las superficies que limitan dos fases y se define como la fuerza de tracción que se ejerce en la superficie del líquido y tiende siempre a reducir lo más posible la extensión de dicha superficie, y en consecuencia la superficie líquida es sometida a cierta deformación, el valor de la tensión superficial del agua máxima es de 72,75 Dy/cm a 20°C y esta disminuye con la temperatura hasta alcanzar un valor nulo en punto crítico.

### - Propiedades térmicas:

El agua tiene capacidad calorífica de  $C_e = 1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$  a 15°C, con un calor latente de fusión de 80 cal/g y de vaporización de 540 cal/g, debido a sus valores altos las grandes extensiones de agua en la superficie de la Tierra, actúa como un regulador del clima. Esto quiere decir que los océanos tienden a actuar como termostatos en

los cuales la energía calorífica que se provoca es llevada a regiones frías por corrientes llamadas Gulfs-trean.

- Propiedades eléctricas del agua:

Constante dieléctrica  $\epsilon = 80$  es una de las más elevados que se conocen, por lo que el agua posee un alto poder ionizante. Su conductividad eléctrica es muy baja del orden  $4,2 \times 10^{-6}$  Siemens/m.

- Propiedades ópticas:

La transparencia del agua depende de la longitud de onda de luz que la atraviesa. Su transparencia se utiliza con fines de medir ciertas formas de contaminación al igual que la eficacia de los tratamientos de depuración.

- Propiedades químicas:

Contiene una elevada energía de formación en la molécula del agua esto aporta una gran estabilidad, esta estabilidad unida a las propiedades eléctricas le hace especialmente apta para la disolución de numerosas sustancias (minerales, gases y productos orgánicos). Al igual es uno de los mejores reactivos químicos, interaccionando con iones y moléculas. Las reacciones que se hacen con el agua se llaman, reacciones de hidrolisis. Entre ellas se encuentran las Reacciones ácido-base, Reacciones Redox, Reacciones con Óxidos. (López, 2005 pp. 7 - 10).

### 1.3 Calidad del agua

La calidad de agua es determinada mediante la caracterización física y química de las muestras comparándose con normas y estándares de calidad. De esta forma se puede determinar si el agua es ideal para los requerimientos de calidad asociados al uso que se le valla a dar. Para evaluar la calidad de agua se basa en cuatro indicadores: Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Solidos Suspendidos Totales (SST) y Coliformes Fecales (CF).

La DBO5 y la DQO son indicadores de la cantidad de materia orgánica que existe en los cuerpos de agua, que provienen principalmente de aguas residuales de origen municipal o no. La DBO5 indica la cantidad de materia orgánica biodegradable y el DQO indica la cantidad total de materia orgánica. El incremento de la concentración de DBO5 afecta en la disminución del contenido de oxígeno disuelto en el agua. En el DQO si hay un aumento en sus valores indica presencia de sustancias provenientes de descargas no municipales.

La SST mide la cantidad de sólidos sedimentales, ya sea sólidos y materia orgánica que se encuentra en suspensión y/o coloidal. Su origen es de las aguas residuales y de la erosión del suelo. Si se encuentra un incremento en los niveles de SST hace que el agua pierda la capacidad de soportar la diversidad de la vida acuática. Este parámetro permite reconocer gradientes que van: desde una condición relativamente natural o sin influencia de la actividad humana, esto quiere decir que el agua puede mostrar indicios o aportaciones importantes de descargas de aguas residuales municipales y no municipales.

Los Coliformes Fecales están presentes en intestinos de organismos de sangre humana esto incluye a los humanos, y son excretados en heces fecales. Estas se distinguen por que son bacterias aerobias y anaerobias facultativas, gram negativas, no esporulados, de forma de bacilo corto. Este parámetro se utiliza internacionalmente partiendo de su ausencia en el agua es un indicador de que otros organismos patógenos al hombre también están ausentes. La determinación de los coliformes fecales es realizada por el método del Número más Probable (NMP). Es fundamentado por la capacidad del grupo microbiano de fermentar también la lactosa con formación de gas, turbiedad y acido al incubarlos a  $44.5 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$  durante un tiempo de 24-48 hrs, utilizando un medio de cultivo que contenga sales biliares. (Conagua, 2018 pp. 59-60).

## 2. AGUAS RESIDUALES

### 2.1 Definición

La NOM-002-SEMANART-1996, Define a las aguas residuales como: Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas. (D.O.F, 1996).

También se puede definirse como aquellas aguas que por han sido utilizadas por el hombre representan un peligro y deben ser desechadas, por la gran cantidad de sustancias y/o microorganismos.



*Ilustración 2. Aguas Residuales. Fuente iagua (2018).*

Dentro del concepto incluyen diferentes aguas con diversos orígenes entre ellas:

- Aguas residuales domésticas o aguas grises: contiene heces y orina humana, aseo personal, residuos de cocina y de la limpieza de casa. Suelen tener grandes cantidades de materia organica y microorganismos, con restos de jabones, detergentes, lejía y grasas.
- Aguas residuales industriales: son de procedimientos realizados en fábricas y establecimientos industriales que contiene aceites, detergentes, antibióticos, ácidos y grasas, con otros productos y subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal. Su composición puede ser muy diferentes dependiendo de las actividades de la industria.
- Aguas residuales agrícolas: proceden de las labores agrícolas en zonas rurales. Estas aguas su origen es de las aguas urbanas, pero son utilizadas en riego con o sin un tratamiento previo. (Espigares y Pérez, 1986, p. 2).

La mayor parte de las actividades humanas que utilicen agua generan aguas residuales. Esto a medida que crece la demanda global de agua en el mundo tiene un aumento en la generación de contaminación de aguas residuales. Esto se ve claramente que en los países tercermundistas donde estas aguas residuales son vertidas directamente al medio natural sin un previo tratamiento. Esto genera acciones negativas tanto en la salud humana, económica, en la calidad de los recursos de agua dulce y en los ecosistemas.

Para la ONU (como se citó en Raschid-sally y Jayakody, 2008, p. 1) las aguas residuales se consideran como una combinación de uno o más de los siguientes: efluentes domésticos que consisten en aguas negras (excremento, orina y lodos fecales) y aguas grises (aguas servidas de lavado y baño); agua de establecimientos comerciales e instituciones, incluidos hospitales; efluentes industriales, aguas pluviales y otras escorrentías urbanas; y escorrentías agrícola, hortícola y acuícola.

Históricamente hablando se sabe que las aguas superficiales han sido mayormente usadas como un medio para deshacerse de las aguas residuales y otras formas de desechos provocando la contaminación de masas de agua debajo de ciudades, pueblos y aldeas, esta práctica ha disminuido en países primermundistas desde finales del siglo XIX con el desarrollo de sistemas de recolección y tratamientos de aguas residuales al igual que avances en la gestión de desechos sólidos, lo que resulto a beneficios en la salud de las personas. Sin embargo, el vertido de las aguas residuales sin tratamiento hacia el medio ambiente sigue siendo una práctica común. (ONU, 2017, p. 18) con tan pocas cantidades de aguas residuales tratadas y mucho menos utilizadas después de que hayan tenido un tratamiento, hay una gran posibilidad de reutilizar el agua tratada de manera sostenible y de extraer subproductos recuperables que contenga. Esto también ayuda a reducir la carga que se tiene hacia las aguas dulces superficiales y subterráneas, ya sea en regiones áridas y semiáridas al igual que en lugares donde exista escasez de agua.

## 2.2 El Ciclo urbano del agua

El agua dulce se encuentra naturalmente en ríos, lagos, lagunas, aguas subterráneas y el agua salada en el mar. Para satisfacer las necesidades humanas, se desarrolló una infraestructura que permite su captación, distribución y tratamiento, que se le conoce como ciclo urbano del agua, esto se puede desglosar en cuatro fases interconectadas.

- 1) **La prevención o reducción de la contaminación en la fuente, en términos de carga de contaminación y volumen de aguas residuales producidas:** esto consiste en prohibir o controlar el uso de ciertos contaminantes para eliminar o limitar su entrada en las corrientes de aguas residuales a través de medidas regulatorias. También incluye medidas para reducir los volúmenes de aguas residuales generadas.
- 2) **La eliminación de contaminantes de las corrientes de aguas residuales:** procesos de tratamiento que eliminan diversos componentes de las aguas residuales (contaminantes) para así poder reutilizarse o devolverse de forma segura al ciclo del agua con mínimos impactos ambientales. Para el tratamiento existen varios tipos y niveles que dependen la elección del tratamiento conforme la naturaleza de los contaminantes, la carga de contaminantes y el uso final al que se vaya a dar al efluente.
- 3) **El uso de aguas residuales (la reutilización):** se debe de usar de manera segura ya sea las aguas residuales tratadas o no tratadas bajo condiciones controladas para fines beneficiosos, que han sido de forma de riego, las tecnologías para el tratamiento han avanzado para tener diversas formas de reutilización no solamente de riego, siempre y cuando que el nivel de tratamiento y su calidad del efluente sean aptos para su finalidad.
- 4) **La recuperación de subproductos útiles:** se puede extraer diversos componentes de las aguas residuales, ya sea de forma directa que sería calor, nutrientes, materia orgánica y metales o a través de procesos de transformación que se obtendría biogás procedentes de lodos o

biocombustibles de microalgas, al igual que hay oportunidad de extraer minerales útiles como nitrógeno y fosforo que se pueden transformar en fertilizantes.

Otra función adicional que se obtiene es poder mitigar cualquier impacto negativo en la salud humana, la economía y en el medio ambiente. Tomándose en cuenta sus múltiples beneficios, se puede considerar de forma rentable ya que al mismo tiempo apoya al desarrollo de sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento. (ONU, 2019, p. 21) basándose en la suposición de que posible alinear los requisitos de calidad de agua con las ubicaciones de uso del agua, múltiples sistemas de uso con reutilización del agua en forma de cascada la ONU (2019) propone que “de mayor a menor calidad, pueden hacer que la reutilización del agua sea más asequible que proporcionar un tratamiento generalizado de agua en cada punto de captación a lo largo de una cuenca” (p. 21).

### 2.3 Problemas asociados a la contaminación y falta de tratamiento

El agua se contamina por residuos, fertilizantes y diferentes químicos que vertidos en las aguas dulces terminan por contaminar también las aguas saladas, algunas consecuencias dañinas al medio ambiente que es resultado de la falta de tratamiento de las aguas son:

- Toxicidad: afectando directamente a la flora y fauna de los cuerpos de agua que reciben toda el agua contaminada y a quien beba dicha agua.
- Infecciones: se encuentra diferentes organismos patógenos que son transmitidos a través del agua, que afectan a los organismos terrestres y marinos con las que se entra en contacto.
- Contaminación térmica de las reversas que contiene el agua: los líquidos de las industrias pueden llegar a provocar una elevación de temperatura en zonas donde se desechen.
- Malos olores: las bacterias y sustancias contenidas en aguas residuales generan gases por el resultado de la descomposición.

Internacionalmente se muestran afectaciones ambientales serias y que son difícilmente reversibles a un tiempo de corto plazo. En China el 80% de sus ríos están tan contaminados que ya no son aptos para el uso humano. En Estados Unidos, las autoridades han advertido a la población y visitantes que no pesquen ni se bañen en las aguas en dos de cada cinco ríos. (INCyTU, 2019, p. 2) esto se entiende que de cierta forma la población que tenga contacto directo o indirecto con las aguas contaminadas se ve afectada por la contaminación.

A nivel mundial, México es el segundo país, después de China, que utiliza aguas crudas sin tratar para riego. Estas aguas sin tratar llevan consigo grandes cantidades de organismos patógenos, metales pesados y residuos que vienen de productos de aseo personal que generan problemas de salud, al igual se encuentra antibióticos que contribuyen a aumentar la resistencia de las bacterias.

En términos generales, las aguas sin tratamiento pueden provocar enfermedades humanas como cólera, diarreas, disentería, hepatitis A, fiebre tifoidea y poliomielitis. Además, que contiene derivados de combustible y nuevos contaminantes que aún no están contemplados en la normatividad mexicana que regula los límites y tipos de contaminantes en las plantas de tratamiento. (INCyTU, 2019, p. 2)

Una inversión en infraestructura de agua y saneamiento tiene efectos positivos que se pueden reflejar en la reducción de la incidencia de enfermedades gastrointestinales, eso provocaría la disminución en el gasto de Salud Pública. También teniendo un adecuado tratamiento de las aguas residuales permitiría incorporar nuevamente el agua tratada a mantos subterráneos, los cuales sostienen alrededor de 62% del uso público, 52% del industrial y 34% del agrícola e industrial.

#### 2.4 Composición de las aguas residuales

Su composición puede ser muy variable en razón a diversos factores que le afectan. Entre estos sería el consumo promedio de agua por habitante y por el día donde afecta su concentración y los hábitos alimenticios de la población que caracteriza su composición química.

Contienen aproximadamente un 99% de agua y el 1% está constituido de materia sólida. Los residuos sólidos están conformados por materia mineral y materia orgánica. La materia mineral viene de subproductos desechados durante la vida cotidiana y de la calidad de las aguas de abastecimiento. La materia orgánica viene solo de la actividad humana compuesta por materia carbonácea, proteínas y grasas.

(Rojas, 2002, p. 5) las proteínas están constituidas en un 40 al 50% de materia orgánica y se representan por los amino ácidos que proporcionan la mayor parte de los nutrientes bacterianos. Aproximadamente un 50-60% de las proteínas están disueltas en las aguas residuales y un 20-30% en fracción sedimentable. La materia carbonácea está representada por hidratos de carbono a su vez están los almidones, azúcares y la celulosa. El porcentaje de hidratos de carbono que están en forma disuelta y sedimentable son semejantes a las proteínas. Las grasas que están incluidas en los ácidos grasos no son solubles y estos se degradan de manera más lenta. De forma general la composición de los residuos secos en aguas residuales tiene porcentajes de:

- Materia orgánica 50%, mineral 50%
- Materia sedimentable 20%, no sedimentable 80%
- Materia sedimentable orgánica 67%, mineral 33%
- Microorganismos compuestos por organismo saprofitos y patógenos como helmintos, protozoos, bacterias y virus.

Este conjunto de características del agua le da unas propiedades como la pestilencia: que es causado por la descomposición anaeróbica de la materia putrescible. Tóxica: por la gran cantidad de compuestos orgánicos e inorgánicos teniendo efectos negativos a la flora y fauna. Infeccioso: por la presencia de microorganismo patógenos que están en el agua con la propiedad de transmitir enfermedades de origen hídrico. Y por último de forma visual: que modifica la apariencia física del agua. (Rojas, 2002, p. 5)

## 2.5 Características físicas

Temperatura: esto se debe a que se aporta agua caliente que proviene del aseo y de tareas domésticas. Oscila entre 10°C y 21°C, con valores promedios de 15°C.

Este aumento de temperatura tiene efecto perjudicial en las aguas receptoras, que pueden modificar la flora y fauna de estas dando lugar al crecimiento de algas, hongos etc. Esto también puede afectar al agotamiento del oxígeno disuelto, ya que la solubilidad disminuye con la temperatura (Espigares y Pérez, 1986).

Turbidez: la gran cantidad de materias que se encuentra en suspensión en las aguas residuales por el limo, la materia orgánica y microorganismos (Espigares y Pérez, 1986).

Color: siempre suele ser entre tonalidades de gris, pero debido a procesos biológicos anóxicos el color puede pasar a ser negro.

Sólidos: se puede clasificar en materia orgánica que se presenta en forma de sólidos. Estos sólidos pueden ser suspendidos (SS), los sólidos volátiles (SV), los cuales pueden ser orgánicos, o sólidos fijos (SF) que suelen ser inorgánicos. Por otra parte, de los sólidos suspendidos también sedimentales (SSed). Todo esto se determina de forma gravimétricamente (Espigares y Pérez, 1986).

Olor: los olores se deben a los gases producidos por la descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor peculiar de ser desagradable para las personas. En otra parte el olor característico del agua residual séptica se debe al sulfuro de hidrogeno producido por los microorganismos anaeróbicos que reducen los sulfatos a sulfitos (Espigares y Pérez, 1986).

## 2.6 Características químicas

Materia orgánica: constituye la tercera parte de los elementos de las aguas residuales, los principales compuestos son: Proteínas (40-60%), Carbohidratos (25-50%) y Grasas y aceites (10%).

pH: la actividad biológica se desarrolla en un intervalo de pH estricto, que está en los valores de 5 a 9, no tienen un efecto significativo sobre la mayoría de especies, un aspecto importante del pH de las aguas acidas, que da lugar a la solubilización de sustancias por ataque a los materiales. Un efluente con pH adverso puede alterar la composición y modificar la vida biológica de las aguas naturales. Al igual que es más difícil de tratar por métodos biológicos, que solo se realizan entre valores de

6.5 a 8.5 de pH. Las aguas residuales urbanas suelen tener un pH próximo al neutro (Espigares y Pérez, 1986).

Cloruros: es considerado como un indicador indirecto de contaminación fecal, ya que una persona elimina unos 6gr de cloruros al día aproximadamente, pero también pueden tener de otra procedencia como por infiltración de aguas marinas, acuíferos subterráneos o por uso de sustancia ablandadoras, por lo que en la actualidad los cloruros se han perdido como indicador de contaminación fecal (Espigares y Pérez, 1986).

Alcalinidad: mide la cantidad de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos presentes en el agua. El agua residual suele tener un cierto grado de alcalinidad, que su origen es del agua de suministro y el aporte de sustancias de uso doméstico.

Nitrógeno: es esencial para el crecimiento de microorganismo y plantas, pero una alta concentración de nitrógeno es un contribuyente al agotamiento del oxígeno y la eutrofización de las aguas receptoras, estas altas concentraciones se deben a la fertilización en la agricultura, mediante fertilizantes artificiales y abonos de animal, estos se infiltran a las aguas subterráneas, constituyendo a un problema de abastecimiento de agua. En el agua residual está presente de forma de urea y proteínas, pero estos compuestos son fácilmente degradables por las bacterias, que los transforman en amonio, que dé a partir de allí producen nitritos y nitratos (Espigares y Pérez, 1986).

Fósforo: es igual esencial para el crecimiento de los organismos. Se puede encontrar en las aguas residuales como ortofosfato, polifosfato y fosfato orgánico. El fosfato en cantidades pequeñas satisface los requerimientos de todos los organismos, pero igual es responsable de procesos de eutrofización. Por eso se debe de controlar la cantidad de fosforo que entra en las aguas residuales, que se ve especialmente en los componentes de los detergentes (Espigares y Pérez, 1986).

Azufre: se requiere para la síntesis de proteínas y es liberado cuando estas se descomponen. Las bacterias pueden realizar reducciones de los sulfatos a sulfuros

y SH<sub>2</sub> en condiciones anaeróbicas. El SH<sub>2</sub> puede ser también oxidado a sulfato, que es corrosivo para las tuberías de alcantarillado que, si se llega a contaminar el agua potable, puede causar problemas gastrointestinales, además que el sulfato de magnesio produce sabor amargo al agua (Espigares y Pérez, 1986).

Compuestos tóxicos: algunos compuestos de las aguas residuales son muy tóxicos para organismo y microorganismo, son de importancia en cuanto al vertido y tratamiento, si hay un mal manejo de esto un vertimiento descontrolado a masas de agua receptoras, pueden destruir la biota acuática o acumularse en ella afectando la cadena alimenticia y pudiendo llegar al ser humano (Espigares y Pérez, 1986).

Metales pesados: se pueden encontrar en las aguas residuales asignados como tóxicos siendo el cobre, cromo, boro, plomo, plata, arsénico, antimonio, bario, flúor y selenio. Si estos alcanzan concentraciones altas son tóxicos al igual inhabilitando el agua para diversos usos y acumulándose en los organismos y microorganismos acuáticos (Espigares y Pérez, 1986).

Gases: los más frecuentes en las aguas residuales son nitrógeno, oxígeno, anhídrido carbónico, sulfhídrico, amoníaco y metano. Lo primeros tres son gases comunes en la atmosfera, el resto se deben a la descomposición de la materia orgánica. Uno de los más notorios que fácilmente se puede representar es el:

- Metano: que es el principal subproducto de la degradación anaeróbica de la materia orgánica en las aguas residuales. Siendo un hidrocarburo incoloro, inodoro y de gran valor como combustible.

## 2.7 Características biológicas

Las aguas residuales que, dependiendo de su composición y concentración, pueden llevar consigo mismo grandes cantidades de organismos. Al igual tiene influencia la temperatura y el pH, pues los organismos requieren parámetros determinados para desarrollarse

Bacterias: son de origen fecal o bacterias implicadas en procesos de biodegradación. En las aguas residuales brutas predominan especies pertenecientes a los grupos: *Escherichia*, *Salmonella*, *estreptococos fecales*,

*Proteus, Pseudomonas, Aeromonas, Serratia, Bifidobacterium, Clostridium, Zooglea, Flavohacterium, Nocardia, Achromobacter, Alcaligenes, Mycohaacterium, Nitrosomonas, Nitrobacter*, etc (Espigares y Pérez, 1986).

Virus: se debe a la excreción de individuos infectados, ya sea humanos o animales. Tienen la capacidad de adsorberse a sólidos fecales y otras materias particuladas, que favorece su supervivencia durante tiempos prolongados en las aguas residuales encontrándose con distintos grupos como: *Poliovirus, virus Echo, Coxsackievirus A y E, virus de la hepatitis, agente de Norwalk, Rotavirus, Reovirus, Adenovirus y Parvovirus* (Espigares y Pérez, 1986).

Algas: su crecimiento en las aguas residuales se debe a la presencia en distintas formas de fósforo y nitrógeno, así como carbono y vestigios de elementos de hierro y cobalto, que da lugar a procesos de eutrofización (Espigares y Pérez, 1986).

Protozoos: se encuentran frecuentemente en las aguas residuales son las amebas, flagelados y los ciliados libres y fijos. Tienen un papel importante en los procesos de tratamiento biológico. Ya que pueden eliminar bacterias suspendidas en el agua, ya que no sedimentan evitando la producción de efluentes con turbidez (Espigares y Pérez, 1986).

Hongos: la mayoría son aerobios estrictos, que toleran valores de pH bajos teniendo una demanda baja de nitrógeno. Estos ayudan a desempeñar un papel importante en el tratamiento de aguas residuales industriales, los géneros que se pueden encontrar son: *Geotrichium, Mucor, Aureobasidium, Subbaromyces, Fusarium, Sepedonium y Shaerotilus* (Espigares y Pérez, 1986).

## 2.8 Importancia del tratamiento de las aguas residuales

Esto se realiza con la finalidad de evitar una contaminación física, química, bioquímica, biológica y radioactiva de los cursos y cuerpos de agua receptores. De manera general, se persigue evitar:

- Daños a los abastecimientos de agua ya sean públicos, privados o industriales.
- Daño a las aguas que se destinan a la recreación y el esparcimiento.

- Daño a las actividades piscícolas.
- Que perjudiquen a la agricultura y la depreciación en el valor de la tierra.
- Un impacto grave al entorno ecológico.

El tratamiento de las aguas residuales se debe al desarrollo de la civilización y que es caracterizado al incremento de la densidad demográfica y la expansión industrial. Que estas razones se justifican en las áreas de salud, económica, estéticas y de forma legal (Rojas, 2002, p. 9)

## 2.9 Tipos de tratamiento

Existen diferentes niveles de limpieza en los procesos de remoción de contaminantes en las aguas residuales.

- En el nivel primario: que es el asentamiento de sólidos, están los procesos de sedimentación, decantación y lagunas de estabilización. Dan resultados donde ajusta el pH del agua y remueve contaminantes orgánicos e inorgánicos.
- En el nivel secundario: es el tratamiento biológico de la materia orgánica disuelta en el agua, están los procesos de lodos activados, lagunas alreadas, filtros biológicos, reactores anaeróbicos de flujo ascendente (RAFA), que remueven contaminantes como orgánicos coloidales y orgánicos disueltos.
- En el nivel terciario: entra la microfiltración y desinfección de las aguas, se hace a través de procesos de desinfección y filtración química, removiendo contaminantes como virus, bacterias, iones y orgánicos disueltos. (INCyTU, 2019, p. 3)

## 2.10 ¿Cómo funciona una planta de tratamiento?

No hay un modelo ni manual para construir las plantas de tratamiento de agua, esto se debe que la composición es diferente dependiendo el lugar y otros factores como el presupuesto y el espacio con el que se cuenta, pero de manera general los tratamientos son:

- Pretratamiento: se retiran componentes grandes como rocas, papel, troncos, etc.
- Tratamiento primario: se retiran los componentes finos como arena, grava, limo, arcilla, etc.
- Tratamiento secundario: normalmente se lodos para convertir a los microorganismos en componentes sencillos de remover.
- Manejo de biosólidos: los lodos que están excedentes se digieren en forma de incineración, oxidación o por digestión aeróbica, o se deshidratan y se almacenan para tener un manejo adecuado de estos.
- Desinfección: aquí se inactivan bacterias, virus y cualquier patógeno existente, así evitando daños a la salud de las personas.
- Producto final: el agua ya tratada se depura para fines agrícolas y ganaderos en su mayoría y el resto se retorna al medio ambiente. (INCyTU, 2019, p. 3)

### 3. AGUAS GRISES

#### 3.1 Definición

Las aguas de desecho se pueden dividir en dos grupos principales: las aguas grises y las aguas negras. Ambas tienen tratamientos diferentes. Ya que la primera proviene de la limpieza de vajilla, ropa y aseo personal. Tienen comúnmente un alto contenido de productos químicos difíciles de degradar como por ejemplo los fosfatos y clorados.

(Rodríguez, 2008, p.3)

Otra forma de identificar o entender las aguas grises son las que son provenientes de las lavadoras, regaderas, tinas y lavamanos. Allen (2015) dice que “son aguas residuales que tuvieron un uso ligero, que pueden contener jabón, cabello, suciedad o bacterias, pero que están suficientemente limpias para regar las plantas” (p. 2).



Ilustración 3. Aguas Grises. Fuente Propia (2021).

### 3.2 Características de aguas grises según su origen

Provenientes de lavado de trastes contienen elementos posibles como: detergentes, productos de limpieza de hornos y estufas, cloro, restos de comida, aceites y grasas. Suelen ser muy alcalina con elevadas concentraciones de sales.

Provenientes de lavado de ropa contienen jabón, detergentes, cloros, blanqueadores, desmanches, productos de limpieza, suavizantes, entre otros productos químicos, al igual pelusas y fibras de telas, hasta contener restos de heces producto del lavado de ropa interior.

Provenientes del lavado de cuerpo contienen jabón, shampoo, algunas grasas y bacterias

Provenientes del lavado de manos y dientes contiene jabón, productos de afeitar, paste de dientes, células muertas y productos del cuidado del cuerpo. (Bulnes y Albarrán, 2016, p. 3)

### 3.3 Características generales

Se han realizado estudios en diferentes países para conocer la composición de las aguas grises. La calidad es diferente al agua potable claro está, así igual con las costumbres de los países, ciudades, pueblos y familias. Provocando que no se pueda estandarizar una calidad aproximada de las aguas grises.

Las aguas grises poseen cantidades de nutrientes menores que las negras, solo presentado solo 10% del nitrógeno y el 21% del potasio. Al igual que el 26% de fosforo total corresponde a las aguas grises pero estos valores son correspondientes a los de noruega países que fomentan el uso de detergentes sin fosfato, hay otros datos que se acercan más como países de américa donde las aguas grises aportan el 58% del fosfato total. Por otra parte, el nitrógeno y el potasio están presentes en las aguas grises de cantidad baja, sirven para regar a las plantas obteniendo un mayor crecimiento que al regarlas con agua cruda. Y conforme a los patógenos se encuentran en cantidades bajas, siendo generalmente estimadas la carga fecal al medir bacterias indicadoras. (Franco, 2007, p.9)

### 3.4 Las diferencias de las aguas grises con las aguas negras se encuentran:

- Una menor cantidad de patógenos: esto se debe a que la fuente de patógenos en el agua residual se debe por los excrementos.
- Menor cantidad de nitrógenos: la décima parte corresponde a las aguas negras. La mitad de este nitrógeno, es de tipo orgánico, el cual puede ser consumido por las plantas. A diferencia de este el perteneciente a las aguas negras, que se convierten rápidamente en nitrito y nitrato, cancerígenos y son difíciles de remover.
- Mayor cantidad de fósforo: se debe al uso de detergentes que tienen cantidades altas en fósforo, que se usan en lavadoras y lavaplatos.
- Mayor tasa de decaimiento de contaminantes: los componentes orgánicos que provienen de las aguas negras han pasado previamente por el aparato digestivo humano lo que hace menos disponible para los microorganismos, que la materia orgánica de las aguas grises. La descarga de aguas grises a cuerpos de agua tiene efectos más rápidos que las aguas negras. Pero en suelo con actividad biológica hace que la rápida descomposición de las aguas grises hace que estas no sean tan contaminantes. (Franco, 2007, p.18)

### 3.5 Formas de reúsos de las aguas grises

Las formas para reutilizar las aguas grises ya tratadas están de tipo: urbano, agrícola, industrial y minero.

- Usos urbanos: estas son de tipo no potable, que entra el riego de áreas verdes (parques, campos de golf, césped, caminos de tierra), limpieza (calles, ventanas, coches, lavadora de ropa) en descargas de inodoros y urinarios, para control de incendios.

Pero normalmente se le da el uso de riego y para descargas de inodoros y urinarios. Esto generada un ahorro de agua. Franco (2007) dice que. “un 30 a un 40% del agua usada al interior de la casa. En el caso de uso de riego residencial, es posible reusar el 60 a 70% del agua residual generada, correspondiente a aguas grises”. (p. 22). Pero todo esto depende a la calidad que se exija a las aguas de riego.

- Usos agrícolas: las que se recuperan son de riego para cultivos, huertos, viñas, árboles frutales y prados. Al igual se pueden usar para dilución de fertilizantes y pesticidas.

Depende cual sea el consumo de alimentos que se produzcan y la exposición a los trabajadores de estas áreas, varia su calidad de agua de riego. Comparándolo para un riego de césped estos riegos de cultivos exigen una calidad más alta.

Usos industriales y mineros: los rubros industriales y mineros son consumidores importantes de agua que frecuentemente reutilizan su propia agua residual de procesos. Pero no es muy común implementar el uso de aguas grises tratadas para esas situaciones, pero tiene potencial para su implementación.

### 3.6 Efectos en medio ambiente

El principal beneficio que se tiene en la reutilización de las aguas grises, es la disminución de la demandan de agua potable de las fuentes de pozos y ríos. En lugares donde el agua sea escasa, costosa o de difícil acceso, permite que genere una forma económica de riego, generando cultivos de frutas, verduras, etc. Por otra parte, genera un ahorro cuando se utiliza en los inodoros que es una de las demandas internas de nuestros hogares, la cual debe de tener una calidad en especial con los microorganismos, pero no es obligado que deba de tener una calidad para consumo humano. Otro efecto positivo que genera inclusive recibiendo un tratamiento adecuado, es de actuar como fertilizante en riego que aporta fosforo, nitrógeno y potasio al suelo y algunos micronutrientes como boro. Pero en cantidades altas resultan ser dañinas.

Uno de los principales riesgos ambientales es la contaminación de acuíferos, en algunos reglamentos incluyen restricciones al riego. pero una condición favorable que en el contexto domestico la cantidad de las aguas grises ocupada es pequeña por lo que da resultado que la mayoría del agua y los nutrientes son captados por las plantas y la materia orgánica es degradada en el terreno más superficial.

El agua de la cocina o del lava platos presenta grandes cantidades de materia orgánica, lo que lo vuelve una fuente de nitrógeno para las plantas. Pero es

prohibida para el reusó, ya que se debe a ponerse de forma séptica y a la rápida proliferación de microorganismos. (Franco, 2016, p.30).

### 3.7 Nutrientes

- **Nitrógeno:** la mayoría de las plantas, requieren nitrógeno, más que otros nutrientes siendo el más limitante para el crecimiento de estas. Un déficit de N hace que las plantas se presenten pequeñas y verdes amarillentas y que los cultivos tengan un bajo rendimiento, pero si se encuentra en grandes cantidades puede producir trastornos en los cultivos como exceso de crecimiento de vegetación, retraso o una desigualdad en la maduración de cosechas o baja calidad y cantidad de estas.
- **Fósforo:** es el segundo nutriente más importante. Es necesario para el desarrollo de la raíz, en el crecimiento, maduración y productividad. Un déficit de P hace que las plantas presentes hojas pequeñas y de un color purpura.
- **Potasio:** es uno de los nutrientes absorbidos por las raíces como catión  $K^+$ . que influye en el crecimiento, producción, resistencia a plagas, heladas y sequias. En la mayoría de los suelos la pérdida de potasio es pequeña. Pero la deficiencia de potasio genera clorosis a lo largo de los márgenes de las hojas, secamiento, crecimiento lento, tallos débiles y baja producción.
- **Salinidad:** cuando existe un exceso de sales produce una disminución de la disponibilidad de agua para la planta, ya que se acumula en la zona de la raíz sales solubles, esto debido a que la energía requerida para obtener agua de la solución salina es mucho mayor en situaciones no salinas.
- **Sodio:** el exceso de sodio en el suelo genera una disminución de la capacidad de absorber agua.
- **Boro:** el boro es un micronutriente, esencial para el crecimiento de las plantas, pero si se cuenta con un exceso es toxico para la mayoría. Si es dañada por boro presenta una tonalidad amarilla, manchas, los bordes de las hojas quemados y caída prematura de las hojas.
- **Cloruro:** está presente en el agua reciclada como ion  $Cl^-$ . Esta se mueve con el agua en el suelo de esta forma es tomado por las plantas y debido a la transpiración es acumulado en las hojas. Pueden dañar a las plantas

especialmente si tocan el follaje, pueden aparecer desteñidas, quemadas o muerte del tejido de la hoja.

### 3.8 Tipos de tratamiento

Existe una variedad de sistemas de tratamiento para recuperar las aguas grises. Los sistemas utilizan procesos que pueden ser de tipo primario, secundario o terciario. Los tratamientos pueden ser químicos, ya sea coagulación y floculación, la filtración y decantación o de biológicos como lodos activados, filtros biológicos aireados y humedales; y por último de desinfección como la cloración, ozonificación y radiación UV.

#### Sistemas de tratamiento primario

- 1) **Lagunas de sedimentación:** es un tratamiento muy simple y de construcción económica, aquí se genera la sedimentación de sólidos y se degrada de manera anaeróbica el material orgánico. Es de menor costo de operación, pero su principal inconveniente es la disponibilidad de terreno además que el sedimento es extraído y el líquido que sale necesita otro tratamiento.
- 2) **Tanque séptico:** son usados en aguas servidas domésticas, para remover los sólidos de mayor tamaño, están compuestas por 2 o 3 cámaras donde el lodo sedimenta y es estabilizado por la digestión anaeróbica.
- 3) **Estanques sedimentadores:** produce decantación de partículas por gravedad, además de que remueve los microorganismos pequeños, si se quiere aumentar la remoción de sólidos, se puede agregar coagulantes e inducir a agitación, esto permite remover partículas de menor tamaño, así mejorando la remoción de microorganismos.

#### Sistemas de tratamiento secundario

- 1) **Humedales y Biofiltros:** estos son sistemas de infiltración que requieren una previa sedimentación, aquí el agua se distribuye de manera sub-superficial, permitiendo filtrar, reducir materia orgánica disuelta y disminuir patógenos. Es necesario que no se tenga un nivel freático muy superficial.
- 2) **Membranas:** aquí el agua pasa por diferentes presiones, donde se eliminan los sólidos, incluye la microfiltración, ultrafiltración y la

nanofiltración y osmosis inversa, su diferencia es el rango de partículas con las que remueven. Pero uno de los problemas es que tienen la posibilidad de tener bloqueos.

- 3) Lodos activados: es un proceso aeróbico, que funciona a base de microorganismos que se encuentran en una concentración predeterminada dentro de un estanque, mezclado con materia orgánica, debido a la agitación de aire los organismos flocculan y se forman los llamados “lodos activados”, una parte de los lodos es retornado al estanque para tener un equilibrio de los microorganismos. (Franco, 2007, pp. 46-48).

### 3.9 Uso de productos de limpieza

Para evitar más daños al ambiente y favorecer la reutilización y el tratamiento de las aguas grises, es importante usar productos de limpieza que sean biodegradables sin fosfato y pocos tóxicos. Siempre es mejor sustituir el uso de blanqueadores o cloro por agua oxigenada o vinagre blanco ya que tienen cualidades desinfectantes. Se debe de considerar usar productos que tengan un pH entre 6.5 – 8.4 para así no afectar las plantas y el suelo. Para promover este cambio de productos tóxicos y contaminantes se debe de evaluar un plan de divulgación o educativo para la gente. (Bulnes y Albarrán, 2016, pp. 3-4).

## 4. FILTRACIÓN

La filtración es un proceso de separación de sólido-líquido, que se utiliza en los sistemas de tratamiento de agua para disminuir la concentración de sólidos suspendidos que se encuentren en ella. Existen varios tipos de filtros y cada uno de ellos tiene su aplicación dependiendo del tamaño y concentración de partículas que se quieran retener. Se debe de tener en cuenta la concentración de partículas, de un sistema de filtración por la retención de estas. Esto se debe de que existen filtros para altas cargas de sólidos y menores cargas. (Carbotecnia, 2020)

Lo importante es la eficiencia en estos sistemas, los filtros de altas cargas tienen la peculiaridad de contar con su mecanismo de limpieza que se activan al saturarse el filtro. Aquí están los filtros de mallas, discos y de medios granulados pero estos

filtros dejan pasar un porcentaje de partículas iguales o superiores al micraje que dicen retener.

#### 4.1 Medios filtrantes

Es definido como cualquier material que, en operación específica, es permeable a uno o más componentes de una mezcla, solución o suspensión e impermeable a los componentes restantes. Su principal rol de un medio filtrante es causar la separación de partículas de un fluido con el mínimo consumo de energía. (Carbotecnia, 2020).

Ejemplos de materiales filtrantes, que tienen la característica de tener o formas poros, como: mallas y telas tejidas de metales, polímeros o fibras naturales como el algodón.

- Los materiales no tejidos, son una acumulación de fibras adheridas entre sí, por agentes químicos (resinas o adhesivos) o medios físicos (temperatura y presión). Algunos ejemplos de estos serían las fibras termo-adheridas o los polímeros espumados. Estos materiales crean porosidades más complejas que complican el paso de sólidos a través de ellos.
- Las membranas son materiales permeables que normalmente de polímeros y cerámicos, depende de su fabricación de la membrana, puede tener diversas estructuras como por inversión de fase, película grabada y de estiramiento de películas.
- Materiales granulados se usan como medios filtrantes o sistemas de soporte en filtros de lecho profundo. En columnas empacadas forman espacios intraparticulares, su tamaño de los espacios dependerá la forma y del tamaño del medio granular.

#### 4.2 Filtración de superficie y de profundidad

Los medios filtrantes retienen partículas de dos formas. La primera es cuando las partículas grandes pasan por los poros quedan depositadas en la superficie del material, generando como una torta que se le llama como filtración de superficie. La segunda forma es cuando las partículas son más pequeñas que los poros del medio filtrante su retención ocurre de manera interna o profunda del material. Se debe por

la atracción de cargas electroestáticas entre el material y el contaminante. Sin embargo, no todas las partículas se retienen en la estructura interna y logran pasar con el agua que está siendo filtrante, esto se le denomina como filtración de profundidad.

## 5. CARBÓN ACTIVADO BITUMINOSO

El carbón activado o carbón activo es un carbón poroso que atrapa compuestos, principalmente orgánicos, presente en un gas o un líquido. Es muy efectivo, que lo convierte en un material más usado por el ser humano. Es a base de un



*Ilustración 4. Carbón Activado Bituminoso. Fuente Propia (2021).*

carbón mineral bituminoso con una amplia gama de poros con diámetro predominante entre 1 y 10 nanómetros. Lo que permite absorber diversos pesos moleculares. Es el carbón más eficaz en la potabilización de las aguas provenientes de cuerpos naturales superficiales, como los lagos y ríos.

Mayormente usado en el tratamiento terciario de las aguas residuales, puede absorber desde compuestos orgánicos volátiles, hasta grasas y algunas proteínas estas se reflejan en la retención de contaminantes que causan olor y color.

### 5.1 Propiedades de absorber

Cualquier carbón tiene la capacidad de absorber, al activar un carbón consiste en hacerlo poroso para ampliar su capacidad de adsorción. Un gramo de carbón de leña tiene un área superficial de alrededor de 50m<sup>2</sup>. Con la activación llega a ser a 600 u 800m<sup>2</sup>, aumenta entre 12 y 16 veces su capacidad de absorber.

Los átomos de carbono que forman un sólido al que llamamos “carbón”, se ligan entre sí mediante uniones de tipo covalente. Cada átomo comparte un electrón con otros cuatro átomos de carbono (las

uniones iónicas, el átomo más electronegativo le roba uno o más electrones al otro). (Carbotecnia, 2020)

Las moléculas que adsorben el carbón tienden a ser covalentes; no iónicas, estas últimas tratarían de robar o de donar electrones a los átomos de carbono. Las uniones entre átomos de carbono e hidrógeno son covalentes, y es por ello que el carbón es un buen adsorbente de moléculas orgánicas.

### 5.2 Capacidad de adsorción

La capacidad de un carbón activado para retener sustancias determinadas, no solo depende de su área superficial, sino por la proporción de poros cuyo tamaño sea el adecuado, debe de tener un diámetro adecuado entre una y cinco veces la molécula que se va adsorber. Si cumple la condición, su capacidad de adsorción puede ser entre el 20 y el 50% de su propio peso. (Carbotecnia, 2020, carbón activado)

## 6. ARENA SÍLICA

La arena sílica es un compuesto resultante de la combinación del sílice con el oxígeno. Su composición química está formado por un átomo de sílice y dos átomos de oxígeno, formando una molécula estable  $\text{SiO}_2$ .

Se usa para la filtración de aguas municipales, industriales o residenciales; teniendo el propósito de retener los sólidos suspendidos “sedimentos” es insoluble en agua y en la naturaleza se encuentra en forma de cuarzo, si esta está en forma cristalino se denomina como cristal de roca. (Carbotecnia, 2020, arena sílica)



Ilustración 5. Arena Sílica. Fuente Propia (2021).

## 7. GRAVA SÍLICA

Esta se produce por la trituración de piedra de sílica de textura abierta, cribada a distribución de grado necesaria. Se utiliza como soporte de medios filtrantes, la parte cóncava de los tanques



Ilustración 6. Grava Sílica. Fuente Propia (2021).

son áreas que no intervienen en la infiltración que se recomienda rellenar esta parte por ser un material que no da ninguna característica al agua a tratar y es muy económica. (Carbotecnia, 2020, grava sílica).

## 8. LUZ ULTRA VIOLETA

La luz ultra violeta (UV) tiene una alternativa frente al uso de productos químicos para la desinfección de agua potable, aguas residuales y aguas industriales de varias fuentes.

Esta porción del espectro electromagnético que se encuentra entre los rayos X y la luz visible. Que se definen cuatro regiones del espectro UV; vacío UV entre 100 y 200nm, UVC entre 200 y 280nm, UVB entre 280 y 315nm, y la UVA entre 315 y 400nm. Pero la aplicación de desinfección con rayos UV se basa en la capacidad de germicida de UVC y UVB. (Wright y Cairns, 1998, p. 3)



Ilustración 7. Lámpara UV. Fuente propia (2021).

### 8.1 Mecanismos de desinfección UV

Dimerización del ADN: los microorganismos son inactivados por la luz UV por el resultado del daño fotoquímico a sus ácidos nucleicos. La radiación es absorbida por los nucleótidos, los bloques constituidos del ADN y ARN de la célula, según la longitud de onda con valores más altos cerca de 200 y 260nm. La UV absorbida promueve la formación de enlaces entre nucleótidos adyacentes, con lo que se crean moléculas dobles o dímeros. La formación de un número suficiente de dímeros dentro de un microbio impide que este replique su ADN y ARN. (Wright y Cairns, 1998, p.6)

Mecanismos de separación: muchos microorganismos que tienen un sistema metabólico funcional tienen varios mecanismos de reparación de los ácidos nucleídos dañados. El mecanismo de reparación que es único a la desinfección UV es el de fotoreactivación.

Los virus no tienen mecanismos de reparación para invertir el daño creado por la luz UV. La habilidad de la bacteria u otros microorganismos para fotorepararse está relacionada directamente a la extensión del daño UV, la exposición a la luz reactivadora entre 300 y 500nm y al pH y temperatura del agua. (Wright y Cairns, 1998, p.7)

## 8.2 Dosis de UV que se requiere

De manera general no existe una dosis mínima para la luz UV para la reducción de patógenos y ni de tampoco de que no lo haya. Hay características específicas del lugar que se deben considerar cuando se escoge la dosis que se le aplicara de UV suficiente para desinfectar los suministros de agua a un nivel de consideración aceptable.

Se puede determinar las dosis necesarias usando un dispositivo de haz colimado en un laboratorio o una unidad piloto de desinfección UV in situ.

Wright y Cairns (1998) recomienda. “una curva dosis-respuesta puede servir no solo para identificar la dosis UV requerida para alcanzar un nivel de desinfección sino también para identificar si el pretratamiento del agua puede conducir a una solución de desinfección más económica” (p. 13)

La curva dosis-respuesta brindara información acerca de la sensibilidad de los microorganismos a la luz UV y acerca del impacto d los microbios asociados con partículas en el nivel de desinfección.

## 9. NORMATIVIDAD

**Ley de Aguas Nacionales:** Fue publicada el 1 de diciembre de 1992 en el diario oficial de la federación, que en el primer artículo que “la presente ley es reglamentaria del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de aguas nacionales; es de observancia general en todo el

territorio nacional, sus disposiciones son de orden público e interés social y tiene por objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable” (DOF, 1992, p.1)

**NOM-001-SEMARNAT-1996:** Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Con el objetivo de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables que efectúen dichas descargas. (DOF, 1996, p.1)

**NOM-002-SEMARNAT-1996:** Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Tiene el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. (DOF, 1996, p.1)

**NOM-003-SEMARNAT-1997:** Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. Con el objetivo de proteger al medio ambiente y la salud de la población y es de observancia obligatoria para las entidades públicas responsables de su tratamiento. (DOF, 1997, p.1)

**NOM-127-SSA1-1994:** Establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano, que deben de cumplir los sistemas de abastecimiento público y privado o cualquier otra persona física o mora que distribuya en todo el territorio nacional. (DOF, 1994, p.1)

**NOM-067-SEMARNAT-1994:** Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de los sistemas de alcantarillado o drenaje municipal. (DOF, 1994, p1)

#### OTRAS REFERENCIAS:

**NMX-AA-008-SCFI-2016:** Análisis de agua- medición del ph en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. - método de prueba.

**NMX-AA-007-SCFI-2013:** Análisis de agua – medición de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba.

**NMX-AA-038-SCFI-2001:** Análisis de agua determinación de turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas- método de prueba.

**NMX-AA-030/1-SCFI-2012:** Análisis de agua- medición de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – método de prueba.

**NMX-AA-034-SCFI-2015:** Análisis de agua – medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – método de prueba.

**NMX-AA-026-SCFI-2010:** Análisis de agua – medición de nitrógeno total kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – método de prueba.

**NMX-AA-029-SCFI-2001:** Análisis de agua – determinación de fósforo total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – método de prueba.

**NMX-AA-042-SCFI-2015:** análisis de agua - enumeración de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y *escherichia coli* – método del número más probable en tubos múltiples.

## **10. ACEPTACIÓN DE LA SOCIEDAD SOBRE EL TRATAMIENTO DE AGUAS GRISAS**

Otras investigaciones realizadas con relación al tema, en el 2012, Tijuana – México, la autora Wendy soto Aguilar, hizo una investigación con el nombre de “Sistemas de Tratamiento de Aguas Grises Domésticas, como una Alternativa para la Seguridad de Tijuana”; con el propósito de solucionar la escasez de agua que habían pasado y tener una alternativa de obtener agua generando un ahorro y reutilización de las mismas. La investigación lo realizo en forma de encuestas a dos muestras poblacionales con diferencia de nivel económico. Obteniendo resultados que hay una relación entre el conocimiento de sistemas de tratamientos de aguas y el nivel socioeconómico y que a pesar de tener el conocimiento del tema esto no asegura la adquisición de un tratamiento de aguas grises. (Soto, 2012).

Al centro de México en el 2017, en el laboratorio de Ingeniería Ambiental, ubicado dentro del centro tecnológico de la FES Aragón, la autora Ariana Guadalupe Guillén Manrique; realizó un Sistema de Filtración con Sustratos Naturales para Reutilización de Aguas Grises, utilizando materiales de desecho con finalidad de que sea de bajo costo y así evitando contaminación, sequías y un mal manejo del agua, se basó en el método TRL Technology Readiness Levels sacando la prueba de cada uno de los materiales de filtración y así construyendo el modelo de filtración. Los resultados que tuvo fueron efectivos con el funcionamiento del sistema, sin embargo, haciendo ajustes en la granulometría obtuvo resultados que a medida que aumentaba los trenes de filtración la contaminación empieza a disminuir. (Guillén, 2017).

En Colombia en el año 2013, la autora Mónica Ardilla Galvis realizó una Viabilidad Técnica y Económica del Aprovechamiento de Aguas Grises Domésticas, se percató que existía una progresiva escasez de agua en regiones del planeta y un incremento de demanda de agua dulce en centros urbanos, lo realizó en 6 estratos socioeconómicos en diferentes predios en Bogotá, empezó con una recolección de las aguas grises en duchas, lavamanos y lavadoras. Analizó las características físicoquímicas y creando un tratamiento en diversas etapas, los resultados fueron que el 50% de las aguas provenientes de duchas, lavamanos y lavadoras con un tratamiento adecuado se podrían reutilizar, dando así un mayor cubrimiento a la demanda de agua para toda actividad del hogar que no requiera el uso de agua potable. (Ardilla, 2013).

Mismamente en Colombia al mismo año 2013, Cristian entre otros, crearon un Diseño y Simulación de un Sistema para el Reciclaje de Aguas Grises en el Hogar, con una problemática de pozos por un exceso de utilización. Aportando el diseño para la reutilización de las aguas grises en actividades que no sea necesariamente el agua potable, creando el diseño y la simulación a través del software informático Solidworks y las herramientas de diseño CAD-CAE. Creando el sistema completamente automatizado con diferentes etapas que juntas generan un

apropiado reciclaje y con la simulación Labview obtuvieron de manera precisa el comportamiento del sistema de reciclaje. (Espinal et. al, 2013).

En Perú, en el año 2017, el Ing. Paolo Jesús Loza Delgado, Diseño de un Sistema de Reciclado de Aguas Grises y su Aprovechamiento para un Desarrollo Sostenible en una Vivienda Multifamiliar de Doce pisos en la Ciudad de Tacna que mismamente la ciudad se encuentra en crecimiento demográfico y con un permanente riesgo de escasez hídrica, se instaló la planta de tratamiento en el sótano de un edificio. Se basó en mediante procesos primarios de cribado reteniendo los sólidos en suspensión, Procesos secundarios con tecnologías anaeróbicas de filtros percoladores, biorreactores de lecho móvil y decantación por paneles lamerales y por último el proceso terciario de desinfección por cloro y floculantes, terminando por un filtro vertical con grava, granito y arena, cumpliendo con los parámetros estándares de calidad. Con beneficios directo que se proporciona al construir un sistema de reciclado, genera ahorros en el consumo de agua potable y ayuda a la economía de los usuarios del edificio. El porcentaje de agua a reutilizar es de 44% siendo un dato significativo, tanto para el cuidado del agua como para la parte económica. (Loza, 2017).

En Buenos Aires, Argentina en 2014, lidia entre otros autores realizaron un Análisis de Riesgo Sanitario en Aguas Grises de la Provincia de Buenos Aires, La eliminación y disposición final de las aguas originadas por las actividades domésticas constituye un importante problema sanitario en zonas urbanas densamente pobladas. El realizo de forma que se tomaron 10 muestras en recipientes estériles de 20L, realizándole un análisis microbiológico. Dejando reposar primero las muestras para la sedimentación, transcurrido el periodo de sedimentación se realizó la filtración con arena previamente lavada con agua destilada y esterilizada. Al analizar aguas grises obtuvieron valores hallados en los recuentos de coliformes totales, *E. coli* y *enterococos* indican presencia de contaminación fecal en las aguas grises, se detectó salmonella spp. Pasado el tiempo de sedimentación de 96 h, en el agua gris se observó una reducción de un orden logarítmico para las bacterias indicadoras. Se debe probablemente a que las

partículas más grandes al sedimentar eliminaron microorganismos de absorción. Luego de la sedimentación seguida de filtración logró una reducción de 3.09 órdenes logarítmicos para *E. coli* y de 4.92 órdenes logarítmicos para enterococos. (Nuñez et. al, 2014).

## **V. OBJETIVOS**

Objetivo general:

Desarrollar un prototipo basado en filtración por medios granulados y esterilización de rayos UV de aguas grises provenientes de una vivienda de interés social.

Objetivos específicos:

- Construir un prototipo para el tratamiento de aguas grises con los materiales granulados seleccionados y lámpara UV.
- Caracterizar las aguas grises provenientes de una vivienda conforme a la NOM-002-SEMARNAT-1996.
- Analizar las aguas grises provenientes de la vivienda de acuerdo a la caracterización.
- Caracterizar las aguas grises ya tratadas con el prototipo de acuerdo a los parámetros según la NOM-003-SEMARNAT-1997.
- Analizar las aguas grises ya tratadas de acuerdo a la caracterización.

## **VI. METODOLOGÍA**

Esta investigación fue de tipo aplicado–cuasiexperimental (Hernández, Fernández y Baptista. 2006). Se realizó en una vivienda de interés social ubicada en la Colonia Plan de Ayala en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; vivienda en la cual habitan 3 personas. El propósito de la creación del prototipo es aprovechar las aguas grises generadas en las zonas de duchas y el lavado de ropa; cantidad que es generada cada vez que toman un baño de aseo personal y por el uso de la lavadora dos veces por semana.

Se realizó 2 caracterizaciones de aguas grises para obtener la información, antes y después del tratamiento con los siguientes parámetros Físicos: pH, Temperatura, Turbidez; Químicos: DQO, Nitrógeno Total, Fosforo Total, Solidos y Sales Disueltas; Parámetros microbiológico: Coliformes Totales y Coliformes Fecales; De acuerdo a la **NOM-002-SEMARNAT-1996** y la **NOM-003-SEMARNAT-1997** de las aguas grises.

El procedimiento de selección, se basó en la problemática de la escasez del agua y la implementación de métodos para tener una reutilización de estas aguas; que se irán adecuando a las condiciones de la vivienda.

• **Etapa 1.- Construcción del prototipo de filtración y esterilización**

El prototipo comienza con un tanque de almacenamiento para las aguas grises, tiene una llave donde sale el agua y tiene la función de regular el flujo del mismo. Los materiales filtrantes fueron previamente lavados por cuestiones de suciedad del material.

- a. Carbón Activado Bituminoso (14kg)
- b. Arena Sílica (25kg)
- c. Grava Sílica (25kg)
- d. Lámpara de Rayos Ultra Violeta (1pza)

Cada uno de los materiales filtrantes, tiene su propio contenedor hermético y transparente para ver el movimiento que tiene las aguas grises; las conexiones entre los contenedores son tubos de PVC de 1 ½” de ancho.

Materiales para la construcción del prototipo y almacén de los materiales filtrantes y la lámpara UV:

Materiales	Volumen	Cantidad
Recipiente (pp)	3.5L	3 pza
Recipiente pequeño (pp5)	500ml	7 pza
Bote (pp5)	7L	1 pza
Bidones (pehd2)	20L	2 pza
Codos PVC 90° 1 ½”	-	7 pza
T PVC 1 ½”	-	2 pza

PVC 1 ½"	-	2 mts
Tela Tergal Francés Bei	-	1.75 mts
Tabla de 20x20 cm con 3mm de grosor	-	1 pza
Grifos de plástico	-	2 pza

Tabla 1 Lista de Materiales. Fuente propia (2021)

Herramientas: taladro, segueta, regla, plumón permanente, flexómetro, cortador en forma circular, cautín, pegamento para PVC, lija #120.

Al final el prototipo cuenta con una llave desde el recipiente donde están las aguas grises para su esterilización con la lámpara UV, de igual forma sirve para almacenamiento y conservación de aguas grises tratadas y poder proceder con su análisis.

**Paso 1:** A un bidón de 20L se le realizó un agujero del tamaño del grifo de plástico.

**Paso 2:** A los recipientes de 500 ml se realizaron orificios en los vértices de su base, con la finalidad de que las aguas grises pasaran por ellos.

**Paso 3:** Se cortaron 6 piezas de tela francés (6x9cm), que se colocaron en la parte inferior del recipiente pequeño con la finalidad de que no permita el paso de los materiales filtrantes.

**Paso 4:** Se utilizó un recipiente pequeño como medidor de los materiales filtrantes y para el lavado de los mismos; las cantidades utilizadas fueron las siguientes:

- Dos recipientes de carbón activado bituminoso con 200gr en cada uno, en total 400gr.
- Dos recipientes de arena sílica con 500gr en cada uno, en total 1kg.
- Dos recipientes de grava sílica con 500gr en cada uno, en total 1kg

**Paso 5:** A los 2 recipientes de 3.5L, se hicieron círculos en las tapas y en la parte inferior de los recipientes, con una distancia de 4 cm desde el extremo al centro del recipiente, teniendo una distancia de 12.5cm de agujero a agujero. Posteriormente

se le hicieron orificios pequeños en la parte inferior de ellos para que las aguas grises pasaran a la siguiente etapa filtrante.

**Paso 6:** El último nivel de material filtrante fue de grava sílica, de la misma forma se hicieron círculos de 1 ½” con las mismas medidas y distancia, en el recipiente se le agregó en la parte inferior se realizó otros 2 círculos a la misma altura; que sirvieron para las conexiones de PVC hacia el contenedor de 7L que tiene la lámpara UV.

**Paso 7:** Las conexiones fueron de PVC, una de entrada y otra que conecta con el recipiente de 7L, utilizando 1 ½”; para la conexión de entrada: se utilizó 2 codos de 90°, dos pedazos de PVC de 3.5cm de largo, una conexión T y un pedazo de PVC de 4cm de largo. Con pegamento especial para PVC sanitario, se acomodaron los materiales en forma de C.

Para la conexión hacia el recipiente de 7L, se utilizaron 4 codos de 90°, 2 pedazos de PVC de 3.5 cm de largo, una conexión T y un pedazo de PVC de 5cm de largo, dejando de forma vertical los codos y de forma horizontal la conexión T. Con los codos y el pedazo de PVC que sobraron, se formó una C sin pegar las piezas porque son removibles.

**Paso 8:** En el recipiente de 7L se colocó una lámpara UV, en uno de los laterales se le hizo un círculo de 1 ½”, se lijo el exterior del recipiente y se pintó de color negro; en el interior se colocó los chupones que traía la lámpara, colocándolos de forma vertical y abarcara todo el recipiente; además en la parte inferior se colocó una llave de plástico con el fin de retirar las aguas grises tratadas.

**Paso Final:** La estructura quedó de la siguiente manera, la entrada con una conexión de PVC, los materiales filtrantes en su respectivo recipiente contenedor (carbón activado bituminoso, arena sílica) el recipiente de grava sílica tiene una conexión hacia el recipiente de rayos UV. Finalmente, para que el prototipo se mantuviera estable se utilizó una tabla triplay de 20x20cm y tres cinchos medianos se ajustaron a la conexión de abajo.

- **Etapa 2.- Caracterización y análisis de las aguas grises de duchas y lavadoras**

Se realizó la caracterización de las aguas grises y aguas grises tratadas conforme a la **NMX-AA-003-1980**; el día 30 de marzo; con un total de 8 muestras para parámetros fisicoquímicos (tabla) y el día 3 de mayo del presente año, 2 muestras para los análisis microbiológicos. Se tomó en cuenta lo siguiente:

- Deben ser representativas de las condiciones que existan en el punto y hora de muestreo y tener el volumen suficiente para efectuar las determinaciones correspondientes.
- Deben representar lo mejor posible las características del efluente total que se descargue.

<b>Parámetros físicos</b>	<b>Referencia</b>
pH	<b>NMX-AA-008-SCFI-2016</b>
Temperatura	<b>NMX-AA-007-SCFI-2013</b>
Turbiedad	<b>NMX-AA-038-SCFI-2001</b>
<b>Parámetros Químicos</b>	<b>Referencia</b>
Demanda Química de Oxígeno	<b>NMX-AA-030/ 1-SCFI-2012</b>
Sólidos y Sales Disueltas	<b>NMX-AA-034-SCFI-2015</b>
Nitrógeno Total	<b>NMX-AA-026-SCFI-2010</b>
Fosforo Total	<b>NMX-AA-029-SCFI-2001</b>
<b>Parámetros Microbiológicos</b>	<b>Referencia</b>
Coliformes totales, Coliformes fecales	<b>NMX-AA-042-SCFI-2015</b>

*Tabla 2 Parámetros. Fuente propia (2021).*

A continuación, se presentan los materiales que se usaron para la recolección de muestras:

- Hielera
- Guantes de látex
- Hoja de registro
- Etiquetas

- Frascos de vidrio o polietileno de 1L

Se comenzó con la recolección de las aguas grises compuestas de 10L de agua jabonosa de lavadora y 10L de agua resultante de la ducha, haciendo un total de 20L; se procedió a la toma de temperatura siguiendo la metodología de la **NMX-AA-007-SCFI-2013**:

1. Se introdujo el recipiente para muestreo y se movió de manera circular durante 1 min para equilibrar su temperatura con la del agua.
2. Se sumergió de manera inmediata el termómetro en posición centrada y aplicando ligeros movimientos circulares durante 1 min y se registró la lectura.
3. Se repitió 3 veces los pasos anteriores.
4. Al final se enjuagó el termómetro con agua purificada.
5. Se calculó el promedio de las 3 lecturas.

El cálculo de pH se realizó in situ dado las especificaciones de la **NMX-AA-008-SCFI-2016**, este parámetro se elaboró con tiras indicadoras realizando los siguientes pasos; este paso se realizó con una muestra de cada una de las aguas.

1. Se tomó una muestra representativa del agua.
2. Se introdujo la tira indicadora de pH.
3. Se esperó a que el agua reaccionara con la tira indicadora.
4. Se comparó la tira indicadora con los resultados que contiene la caja para obtener el valor de pH.

Las muestras fueron tomadas en descargas libres, los recipientes se enjuagaron repetidas veces antes de efectuar el muestro; se tomaron directamente la muestra hacia el recipiente, las tapas de los recipientes fueron selladas para evitar derrames de la muestra y fueron transportadas hacia el laboratorio mediante un baño de hielo con una temperatura de 4°C; como recomendación de la normatividad los intervalos de la extracción de las muestras para hacer los análisis no excedieron los 3 días.

Las muestras fueron etiquetadas con la siguiente información:

- Identificación de la descarga

- Número de muestra
- Fecha y hora
- Muestra para análisis
- Nombre y firma quien hace la muestra

Al término de la caracterización de las aguas se procedió a llevar las muestras al laboratorio Alwater para su análisis, los parámetros de pH y temperatura fueron colocados en la hoja de registro.

#### **Parámetros que fueron trasladados al laboratorio Alwater**

- Turbiedad
- Demanda química de oxígeno
- Fósforo total
- Nitrógeno total
- Medición de sólidos y sales disueltas

#### **Parámetros Microbiológicos fueron trasladados a laboratorio Iquissa**

1. Las muestras fueron tomadas de forma directa en el almacén de aguas grises y en la salida del prototipo
2. Fueron colocadas en bolsas estériles
3. La cantidad de la muestra fue de 1L por agua gris a analizar
4. Para su preservación de la muestra durante el transporte al laboratorio por medio de un baño de hielo y conservando las muestras en refrigeración a una temperatura de 277K (4°C).

- **Etapa 3. Filtración y esterilización de aguas grises**

El proceso se llevó a cabo dejando fluir las aguas grises a gravedad por un chorro donde caerá hacia el prototipo, donde se filtró durante 1 hora para que generara la cantidad suficiente de agua filtrada; luego se esterilizó durante 5 min. Con el objetivo de desactivar los microorganismos dañando los ácidos nucleicos.

- **Etapa 4. Caracterización y análisis de aguas grises ya filtradas y esterilizadas**  
Se realizó la caracterización y el análisis del agua gris tratada; con el mismo procedimiento que están descritos en la etapa 2; las muestras fueron previamente etiquetadas y transportadas en una hielera a temperatura de 4°C hacia el laboratorio de Allwater (fisicoquímicos) Iquissa (microbiológicos) para obtener los resultados.
- **Etapa 5. Comparación con normas oficiales vigentes**

**NOM-001-SEMARNAT-1996**

“Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales”

Contaminantes Básicos: son aquellos compuestos y parámetros que se representan en las descargas de aguas residuales y que pueden ser removidos o estabilizados mediante tratamientos convencionales. En lo que corresponde a esta norma, solo considera: grasas y aceites, materia flotante, sólidos sedimentales, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno<sup>5</sup>, nitrógeno total, fósforo total, temperatura y pH.

<b>LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS</b>						
<b>PARAMETROS</b>	<b>RIOS</b>					
(miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática	
	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D
Temperatura	N.A	N.A	40	40	40	40
Demanda Bioquímica de Oxígeno <sup>5</sup>	150	200	75	150	30	60

Nitrógeno Total	40	60	40	60	15	25
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10

Tabla 3. Límites Permisibles. Fuente NOM-001 (1996).

pH: de 5 a 10 unidades

Coliformes Fecales: el límite máximo permisible para las descargas de aguas residuales que se viertan a aguas nacionales, al igual como descargas vertidas en el suelo (uso de riego). Es de 1,000 y 2,000 como número más probable (NMP).

### **NOM-002-SEMARNAT-1996**

“Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal”

El rango permisible de pH en las descargas de aguas residuales es de 10 y 5.5 unidades.

El límite máximo permisible de la temperatura es de 40°C, medida en forma instantánea en muestras simples

La autoridad competente podrá fijar condiciones particulares de descarga a los responsables de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado de manera individual o colectiva.

- a) Nuevos límites máximos permisibles.
- b) Límites máximos permisibles para parámetros adicionales que no contempla en la norma.

### **NOM-003-SEMARNAT-1997**

“Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público”

Reusó en servicios al público con contacto directo: es el que se destina a actividades donde el público usuario este expuesto directamente o en contacto físico. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana se consideran los siguientes reúsos: llenado de lagos y canales artificiales recreativos con paseos en lancha, remo y

canotaje y esquí; fuentes de ornato, lavado de vehículos, riego de parques y jardines.

<b>LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES</b>		
<b>TIPO DE REUSO</b>	<b>PROMEDIO MENSUAL</b>	
	Coliformes fecales NMP/100ML	DBO5 mg/L
Servicios al público con contacto directo	240	20
Servicios al público con contacto indirecto u ocasional	1,000	30

Tabla 4. Límites permisibles. Fuente NOM-003 (1997).

El agua residual tratada reusada en servicios al público, no deberá contener concentraciones de metales pesados y cianuros mayores a los límites máximos permisibles establecidos en la columna que corresponde a embalses naturales y artificiales con uso en riego agrícola de la Tabla 3 de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996.

#### **NOM-127-SSA1-1994**

“Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización”

pH: 6.5 – 8.5

<b>Límites permisibles de características bacteriológicas</b>	
Característica	Limite permisible
Coliformes totales	Ausencia o no detectable
Coliformes fecales	Ausencia o no detectable

Tabla 5 Limite permisible. Fuente NOM-127 (1994).

Los resultados de los exámenes bacteriológicos se deben reportar en unidades de NMP/100ml (número más probable por 100ml), si se utiliza la técnica del número más probable o UFC/100ML (unidades formadoras de colonias por 100ml), si se utiliza la técnica de filtración por membrana.

## NOM-067-SEMARNAT-1994

“Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de los sistemas de alcantarillado o drenaje municipal”

Para centros de poblaciones mayores de 80,000 habitantes		
Límites máximos permisibles		
Parámetro	Promedio diario	Instantáneo
pH	6-9	6-9
Demanda química de oxígeno (mg/L)	100	160

Tabla 6. Límite permisible. Fuente NOM-067 (1994).

## VII. PRESENTACION Y ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS



Ilustración 8 Diagrama de prototipo. Fuente propia (2021).

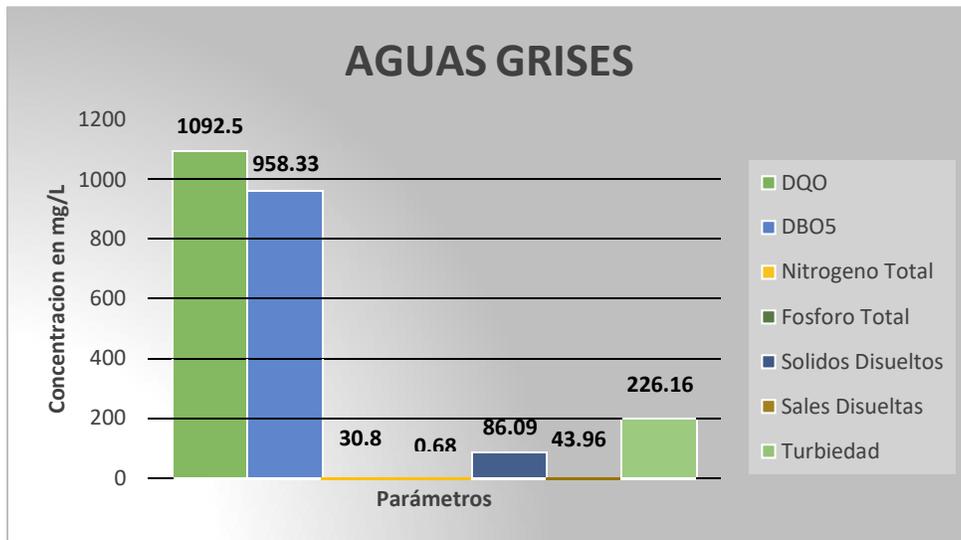
Ilustración 9 Prototipo Final. Fuente Propia (2021).

El recorrido del agua comienza con el bidón de almacenamiento de 20L de aguas grises, se regula con el grifo dejando caer con gravedad un chorro pequeño; la conexión de PVC de entrada está conectado al primer recipiente dentro del mismo contiene dos recipientes pequeños con el carbón activado, de la misma forma está formado el recipiente de arena sílica, al recipiente que contiene la grava sílica en la parte inferior tiene una conexión de PVC que va hacia el bote de 7L que en su interior tiene la lámpara UV para esterilizar; ya por ultimo en el bote se tiene un grifo de plástico para retirar las aguas grises tratadas.

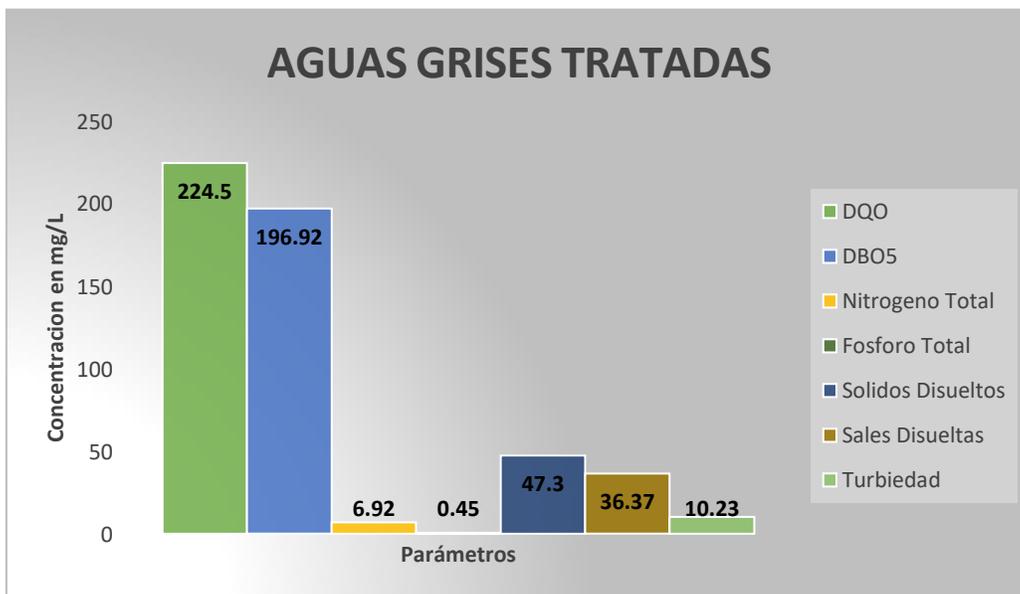
Para los análisis de a las aguas grises y aguas grises tratadas, que se mandaron a laboratorio AllWater, se realizó el promedio de los resultados para que sean generalizados. Ver la siguiente tabla.

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADOS PROMEDIOS AGUAS GRISES	RESULTADOS PROMEDIO AGUAS GRISES TRATADAS	PORCENTAJE DE REMOSION
pH	-	8	7	-
Temperatura	°C	24.5	25.5	-
DQO	mg/L	1092.5	224.5	79.46%
DBO5	Mg/L	958.33	196.92	79.46%
Nitrógeno Total	mg/L	30.8	6.92	77.54%
Fosforo Total	mg/L	0.68	0.45	33.83%
Solidos Disueltos	mg/L	86.09	47.3	45.06%
Sales Disueltas	mg/L	43.96	36.37	17.27%
Turbiedad	mg/L	226.16	10.23	95.48%
Coliformes Totales	NMP/100 ml	3,500	1,300	-
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	240	<2	-

Tabla 7 Resultados de análisis. Fuente Propia (2021).



Gráfica 1 Análisis de aguas grises. Fuente Propia (2021).



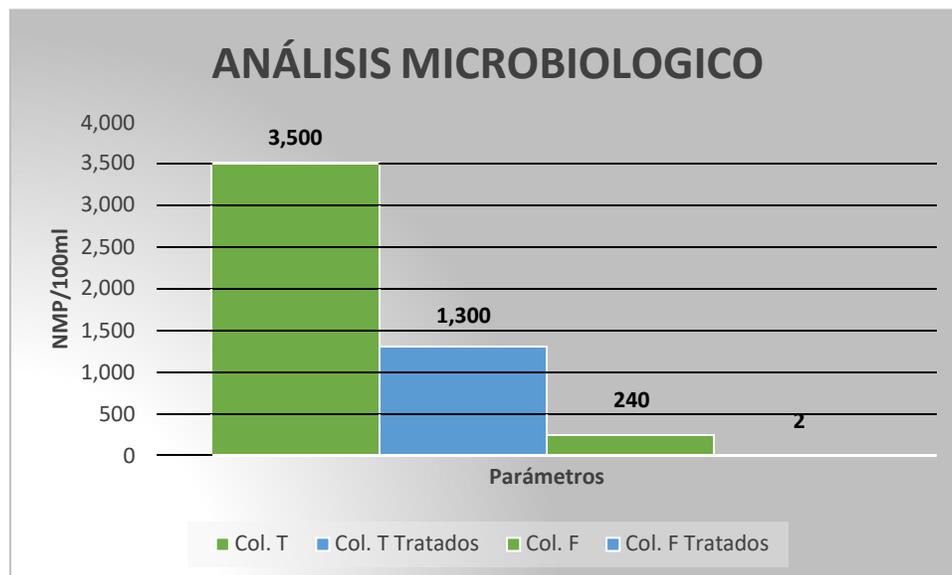
Gráfica 2 Análisis de aguas grises tratadas. Fuente Propia (2021).

El parámetro de turbiedad fue el que tuvo mejores resultados presentando una remoción del 95%; a su vez los resultados obtenidos en los parámetros de pH y temperatura del agua gris tratada, entran en el límite máximo permisible de la NOM 001 y 002, que para el pH es entre 5.5 a 10 y la temperatura es de 40°C; para el nitrógeno total no se encontró ningún problema, ya que el límite máximo

permisible es de 40 y el tratamiento dio resultados aproximadamente de 7 obteniendo un alto porcentaje de remoción.

Sin embargo, para el Fósforo total y la DBO5 no se obtuvieron buenos resultados ya que de acuerdo a la **NOM-001-SEMARNAT-1996** para FT y DBO5 es de 30 y 200 respectivamente. En la Demanda Química de Oxígeno inicialmente se obtuvieron resultados de 1092 mg/L (agua gris) después del proceso de tratamiento fue de 224mg/L (agua tratada) sin embargo en la **NOM-067-SEMARNAT-1994**, maneja límites máximos permisibles de 160 por lo que a pesar del tratamiento no se logró cumplir con el límite de la norma.

El tratamiento para microbiológico que se hizo es después de la filtración por medios granulados, se pasó a la exposición durante 5 minutos a rayos ultravioleta; los resultados obtenidos de los análisis microbiológicos mandados a Iquissa se muestran en la gráfica siguiente:



Gráfica 3 Análisis microbiológico. Fuente Propia (2021).

Se usó como referencia la **NOM-127-SSA1-1994**, que establece los límites máximos permisibles de agua potable que establece para Coliformes totales y para Coliformes fecales es no detectable y cero UFC; a pesar de que la remoción de ambos parámetros es alta no se logra cumplir con lo permitido en la norma.

Tomando el límite máximo permisible de la **NOM-003-SEMARNAT-1997**, establece para coliformes fecales una cantidad de 240 NMP/100ml en contacto directo de reúso de aguas tratadas; por lo que los resultados se encuentran por debajo de lo establecido por lo que no habrá ningún problema ya que no será para consumo humano sino para riego.

La **NOM-001-SEMARNAT-1996**, maneja para descarga a un bien nacional (en uso de riego) como límite máximo permisible de coliformes fecales de 1,000 y 2000 NMP/100ml; los resultados que se tienen que es de <2 NMP/100ml, por lo que puede ser descargada en un bien nacional.

## VIII. CONCLUSIÓN

Después de realizar los análisis de las aguas grises y aguas grises tratadas y compararlos con los parámetros admisibles de la normatividad referenciada, los resultados con la estructura del prototipo fueron favorables en la reducción de los parámetros establecidos; con la estructura vertical de flujo por gravedad, siendo la más efectiva para el tiempo de interacción de las aguas grises y los medios filtrantes además de una mejor estabilidad, característica que no tenía la primera prueba en sentido horizontal.

El prototipo logró reducir los parámetros seleccionados; la turbiedad con un 96% de remoción quedando por encima de 5 UTN del límite permisible de la **NOM-127-SSA1-1996**; la DQO, DBO<sub>5</sub> y NT con aproximadamente de 70% de remoción quedando por debajo del límite máximo permisible de la **NOM-001-SEMARNAT-1996**, para los Coliformes Totales removiendo un 50% de estas; los Coliformes Fecales fueron reducidos de manera significativa de 240 NMP/100ml a >2 NMP/100ml no entrando en el límite permisible de la NOM-127 pero si entrando en el límite permisible para las Normas 01 y 03; por último entrando en el límite máximo permisible del pH y la temperatura en todas las normas citadas.

La implementación del prototipo abre la posibilidad de que las aguas grises tratadas tengan un reuso en todas aquellas actividades donde no sea necesario el uso de agua potable, es decir, todos excepto beber, cocinar entre otras actividades;

Pudiendo implementarse en las casas que quieran adquirir sistemas de tratamiento de aguas grises (regaderas y lavadoras). Siendo un tratamiento terciario con la posibilidad de que se pueda mejorar integrando otras formas de tratamiento y así obtener mejores resultados de remoción.

## **IX. RECOMENDACIONES**

- Con la implementación del prototipo se obtiene un ahorro de 20L con la posibilidad de aumentar la cantidad de almacenamiento de cuál sea necesario.
- Se puede mejorar con bombas y sensores para que sea más automatizado sin la necesidad de la supervisión de la persona.
- Este prototipo es viable para las casas que cuentan con una repisa y mesa para su instalación.
- Uno de los puntos fuertes del prototipo es que su tamaño es de forma reducida.
- Por ningún motivo las aguas grises tratadas por el prototipo son aptos para el consumo humano.

## X. ANEXOS FOTOGRÁFICOS



Ilustración 10 Materiales Usados (2021)



Ilustración 11 Peso de materiales (2021)



*Ilustración 12 Lavado de materiales (2021)*



*Ilustración 13 Almacenamiento de materiales (2021)*



*Ilustración 14 Niveles filtrantes (2021)*



*Ilustración 15 Recipiente para UV (2021)*



*Ilustración 16 Conexiones PVC (2021)*

## XI. REFERENCIAS

- Allen, L. (2015). Manual de diseño para manejo de aguas grises. (2), publicado por Greywater Action.
- Ardila, M. (2013). Viabilidad Técnica y Económica del Aprovechamiento de Aguas Grises Domésticas. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., Colombia.
- Auge, M. (2007). *Agua fuente de vida*. Buenos Aires, Argentina: Departamento de Ciencias Geológicas
- Bulnes, M. y Albarrán, J. (2016). Estación de lavado con manejo de aguas grises por infiltración subsuperficial. Sara Transformación, S.C. México.
- Carbotecnia, (2020). ¿Qué es el carbón activado? Carbotecnia. Recuperado de: <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/carbon-activado/que-es-el-carbon-activado/>
- Carbotecnia, (2020). Arena Sílica. Carbotecnia. Recuperado de: <https://www.carbotecnia.info/producto/medio-arena-silica-para-filtros-de-agua/>
- Carbotecnia, (2020). Grava Sílica. Carbotecnia. Recuperado de: <https://www.carbotecnia.info/producto/grava-silica/>
- Carbotecnia, (2020). Introducción a la filtración de líquidos. Carbotecnia. Recuperado de: <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/filtracion-de-agua-liquidos/filtracion-liquidos/>
- CONAGUA. (2018). Situación de recursos hídricos. En *estadísticas del agua en México*. DF, México.
- CONAGUA. (2018). Situación de recursos hídricos. En *estadísticas del agua en México*, (pp. 26 - 69). DF, México.
- Diario Oficial de la Federación, (1992). Ley de Aguas Nacionales.

- Diario Oficial de la Federación, (1996). Norma Oficial Mexicana-001-SEMARNAT-1996.
- Diario Oficial de la Federación, (1996). Norma Oficial Mexicana-002-SEMARNAT-1996.
- Diario Oficial de la Federación, (1997). Norma Oficial Mexicana-003-SEMARNAT-1997.
- Diario Oficial de la Federación, (1994). Norma Oficial Mexicana-127-SEMARNAT-1994.
- Diario Oficial de la Federación, (1994). Norma Oficial Mexicanan-067-SEMARNAT-1994.
- Diario Oficial de la Federación, (1980). NMX-AA-003-1980.
- Diario Oficial de la Federación, (2013). NMX-AA-005-SCFI-2013.
- Diario Oficial de la Federación, (2010). NMX-AA-006-SCFI-2010.
- Diario Oficial de la Federación, (2001). NMX-AA-028-SCFI-2001.
- Diario Oficial de la Federación, (2015). NMX-AA-034-SCFI-2015.
- Diario Oficial de la Federación, (2006). NMX-AA-102-SCFI-2006.
- Espigares, M. y Pérez, J. (1986). *Aspectos sanitarios del estudio de las aguas*. Granada, España: Servicio de publicaciones.
- Espinal, C., Ocampo, D. y Rojas, J. (2013). Diseño y Simulación de un Sistema para el Reciclaje de Aguas Grises en el Hogar (Tesis de Pregrado). Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira.
- Fernández, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química Viva*, 11 (3), pp 147 – 170.
- Franco Alvarado, M, V. (2007). Tratamiento y reutilización de aguas grises con aplicación acaso en Chile. Universidad de Chile.

- Guillén, A. (2017). *Sistemas de Filtración con Sustratos Naturales para la Reutilización de Aguas Grises Domésticas* (Tesis de maestría). UNACH, México.
- Hernandez, R., Fernandez, C., Baptista, P. (2006). Concepción o elección del diseño de investigación. En *Metodología de la Investigación* (pp 157 - 231). México: MG Graw Hill.
- INCyTU. (2019). Tratamiento de aguas residuales. *INCyTU*, (028), 1-6.
- INEGI. (2010). *El agua en Chiapas*, México.
- Loza, P. (2017). Diseño de un Sistema de Reciclado de Aguas Grises y su Aprovechamiento para un Desarrollo Sostenible en una Vivienda Multifamiliar de Doce Pisos en la Ciudad de Tacna. Universidad Privada de Tacna, Perú.
- López, M., Romano, E., y Triana, J. (2005). *El Agua*. Universidad de las Palmas de Gran Canaria.
- López, R. y Hernández, M. (2011). *Evaluación de Impacto Ambiental y Alternativa de Tratamiento de las Aguas Jabonosas en el Centro Ecoturístico Cahuaré en el Municipio de Chiapa de Corzo* (Tesis de Pregrado). UNACH, México.
- Núñez, L., Molinari, C., Tornello, C., Mantovano, J. y Moretón, J. (2014). Análisis de Riesgo Sanitario en Aguas Grises de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista Int Contaminación Ambiental*, 30(4), 341-350.
- ONU. (2019). Introducción. En *Informe mundial de las naciones unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos*, (pp. 17 - 22). París, Francia.
- Rascón, L. (2005). *Principios de Hidrogeografía Estudio del Ciclo Hidrológico*. Ciudad de México, México: Instituto UNAM Geografía.
- Rodríguez, R. (2008). *Reutilización de Aguas Grises*. Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional, Argentina.
- Rojas, R. (2002). *Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente.

Rolland, L., Cárdenas, Y. (2010). La gestión del agua en México. *Polis*, 6(2), pp 155-188.

Secretaría de Hacienda del Estado de Chiapas. (2019). *Plan Estatal de Desarrollo en Chiapas 2019-2024*. Chiapas, México.

Soto, W. (2012). Sistemas de Tratamiento de Aguas Grises Domésticas, como una Alternativa para la Seguridad Hídrica de Tijuana. Tijuana, B.C., México.

UNESCO. (2019). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos*. París, Francia.

Wright, H. y Cairns, W. (1998). *Luz Ultravioleta*. Trojan technologies inc. London. Ontario, Canadá.