



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO**

**FACULTAD DE ECOLOGÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA**



**Diseño y aplicación de un sistema hidráulico de reutilización de las aguas grises, para disminuir el consumo de agua potable en vivienda familiar en el distrito de Jepelacio – 2017**

**Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Sanitario**

**AUTOR:**

**Bach. Kary Rojas López**

**ASESOR:**

**Ing. Ms.c. Yrwin Francisco Azabache Liza**

**Código N° 090918**

**Moyobamba- Perú**

**2018**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO  
FACULTAD DE ECOLOGÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA



Diseño y aplicación de un sistema hidráulico de reutilización de las aguas grises, para disminuir el consumo de agua potable en vivienda familiar distrito de Japelacio – 2017.

Tesis para optar el título profesional de  
INGENIERO SANITARIO

AUTOR:

Bach. Kary Rojas López

Sustentado y aprobado el día 09 de octubre del 2018 por los siguientes jurados.

  
.....  
Ing. M.sc. Santiago Alberto CASAS LUNA  
Presidente

  
.....  
Ing. Alfonso ROJAS BARDALEZ  
Secretario

  
.....  
Ing. Juan Carlos ROJAS VÁSQUEZ  
Miembro

  
.....  
Dr. Yrwin Francisco AZABACHE LIZA  
Asesor

## Declaratoria de Autenticidad

**Kary Rojas López**, identificado con DNI N° 71583689, bachiller de la Facultad de Ecología, Escuela profesional de Ingeniería Sanitaria de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con la tesis titulada: **Diseño y aplicación de un sistema hidráulico de reutilización de las aguas grises, para disminuir el consumo de agua potable en vivienda familiar en el distrito de Jepelacio – 2017**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por tanto, la tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente.
3. La tesis no ha sido auto plagiado; es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
1. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presenten en la tesis se constituirán en aportes a la realidad investigada.

De considerar que el trabajo cuenta con una falta grave, como el hecho de contar con datos fraudulentos, demostrar indicios y plagio (al no citar la información con sus autores), plagio (al presentar información de otros trabajos como propios), falsificación (al presentar la información e ideas de otras personas de forma falsa), entre otros, asumo las consecuencias y sanciones que de nuestra acción se deriven, sometiéndonos la normatividad vigente de la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto.

Tarapoto, 09 de octubre del 2018.



.....  
**Bach. Kary Rojas López**  
DNI N° 71583689



Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres:	Rojas López Kary		
Código de alumno :	125216	Teléfono:	944259671
Correo electrónico :	Karyrolo.oz@gmail.com	DNI:	71583689

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de:	Ecología
Escuela Profesional de:	Ingeniería Sanitaria

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	( )
Trabajo de suficiencia profesional	( )		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título:	Diseño y aplicación de un sistema hidráulico de reutilización de las aguas grises, para disminuir el consumo de agua potable en vivienda familiar distrito de Sepelacio - 2017
Año de publicación:	2018

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(X)	Embargo	( )
Acceso restringido **	( )		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia No Exclusiva, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:


6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

## 7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica.

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".



Firma del Autor

---

## 8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento:

17, 12, 2018



Firma del Responsable de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM - T

\*Acceso abierto: uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

\*\* Acceso restringido: el documento no se visualizará en el Repositorio.

## Dedicatoria

*Este trabajo se lo dedico a Dios y a mis padres por el deseo de superación y la confianza puesta en mi persona, el haberme guiado en el camino del bien y así poder honrar a mi familia con los conocimientos adquiridos. También va dedicado a mis hermanos y amigos, por el apoyo incondicional en la ejecución de este proyecto.*

**Kary.**

## Agradecimiento

A Dios todopoderoso por brindarme la oportunidad de obtener un triunfo más, por darme salud y entendimiento para lograr esta meta.

A mis padres Juan Pablo Rojas Bocanegra y Violeta López de la Cruz, por el apoyo y confianza brindada incondicionalmente. Gracias por existir, y que Dios lo guarde siempre.

A la ilustre Universidad Nacional de San Martín por el apoyo brindado en el laboratorio de Biología y Química de la Facultad De Ecología, para el desarrollo del proyecto” Diseño y aplicación de un sistema hidráulico de reutilización de las aguas grises, para disminuir el consumo de agua potable en vivienda familiar en el distrito de Jepelacio – 2017”, aprobada mediante resolución de ejecución N° 294-207-UNSM-T-FE-CO de fecha 13 de diciembre del 2017.

A mi asesor de tesis Ing. Ms.c. Yrwin Azabache Liza, por su apoyo como facilitador e impulsor de esta investigación, orientación y sobre todo por la estima hacia mi persona.

A la familia “Poquiz Bocanegra” por apoyo brindado para el desarrollo del trabajo de investigación.

A todos mis hermanos y demás familiares en general por el apoyo que siempre me brindaron día a día en el transcurso de cada año de mi carrera universitaria y que de alguna manera u otra celebran mi éxito.

A mis amigos(as) y compañeros de estudio: Dulciney, Madeleyne, Deuxa, Evelyn, Yeen Karol, Gerson, Josué, Harley y Wilber con los que he compartido grandes momentos, que supieron aceptarme para complementarnos con nuestras debilidades y fortalezas e hicieron a lado nuestras diferencias y me brindaron sus amistad, confianza y apoyo.

**Kary**



## Índice General

	Pág.
dedicatoria.....	3
Agradecimiento.....	vii
Índice General.....	viii
Resumen .....	xii
Abstract.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
1.1. Antecedentes de la investigación.....	4
1.2. Bases teóricas.....	7
1.2.1. Aguas grises .....	7
1.2.2. Principales procesos de tratamientos de aguas grises y aguas residuales .....	13
1.2.3. Modelo de rehúso de aguas grises .....	15
1.2.4. Marco legal del agua residual no doméstica .....	20
1.3. Definición de términos básicos.....	22
CAPÍTULO II MATERIALES Y MÉTODOS .....	25
2.1. Materiales .....	25
2.1.1. Materiales y equipos de laboratorio .....	25
2.1.2. Equipos de protección .....	26
2.2. Métodos .....	26
2.2.1. Tipo y nivel de investigación .....	26
2.2.2. Diseño de investigación.....	26
2.2.3. Población y muestra .....	27
2.2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	27
2.3. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	32
CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	35
3.1. Resultados.....	35
3.1.1. Diseño y construcción del sistema hidráulico de reutilización de aguas grises.....	35
3.1.2. Caracterización de las aguas gris, antes y después del sistema hidráulico de reutilización. ....	45

3.1.3. Evaluación de la eficiencia del sistema hidráulico de recuperación de aguas grises. ....	51
3.2. Discusiones .....	59
CONCLUSIONES .....	62
RECOMENDACIONES.....	63
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	64
ANEXOS .....	68

## Índice de tablas

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> <i>Consumo promedio de agua familia de cinco personas</i> .....	9
<b>Tabla 2.</b> <i>Características de las aguas según su origen.</i> .....	11
<b>Tabla 3.</b> <i>Constituyentes para reducir en aguas grises.</i> .....	12
<b>Tabla 4.</b> <i>Niveles y procesos de tratamiento de aguas grises</i> .....	14
<b>Tabla 5.</b> <i>LMP para efluentes de vertidos de aguas residuales</i> .....	21
<b>Tabla 6.</b> <i>Métodos de ensayo.</i> .....	28
<b>Tabla 7.</b> <i>Ficha de análisis de parámetros de calidad del agua</i> .....	29
<b>Tabla 8.</b> <i>Análisis de laboratorio de las aguas grises antes del sistema hidráulico.</i> .....	45
<b>Tabla 9.</b> <i>Análisis de laboratorio de las aguas grises semana 2 después del sistema hidráulico.</i> .....	47
<b>Tabla 10.</b> <i>Análisis de laboratorio de las aguas grises semana 3 después del sistema hidráulico.</i> .....	48
<b>Tabla 11.</b> <i>Análisis de laboratorio de las aguas grises semana 4 después del sistema hidráulico.</i> .....	49
<b>Tabla 12.</b> <i>Comparación con los LMP</i> .....	51
<b>Tabla 13.</b> <i>Caracterización acumulada de los parámetros</i> .....	52
<b>Tabla 14.</b> <i>Eficiencia de remoción del sistema hidráulico a la Semana 2</i> .....	54
<b>Tabla 15.</b> <i>Eficiencia de remoción a la Semana 3</i> .....	54
<b>Tabla 16.</b> <i>Eficiencia de remoción a la Semana 4</i> .....	55
<b>Tabla 17.</b> <i>Análisis de varianza para las diferentes semanas</i> .....	56
<b>Tabla 18.</b> <i>Resumen del análisis</i> .....	56
<b>Tabla 13.</b> <i>Prueba de hipótesis</i> .....	57
<b>Tabla 20.</b> <i>Tabla de Q alfa valor</i> .....	58
<b>Tabla 21.</b> <i>Análisis de prueba Turkey</i> .....	58

## Índice de figuras

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Fuentes de aguas grises.....	8
<i>Figura 2.</i> Composición de las aguas grises .....	10
<i>Figura 3.</i> Proceso de filtrado.....	19
<i>Figura 4.</i> Diseño experimental propuesto del tratamiento. ....	19
<i>Figura 5.</i> Caja de pre- recolección de las aguas grises.....	35
<i>Figura 6.</i> Bomba de succión del sistema hidráulico.....	37
<i>Figura 7.</i> Contenedores y filtro, (ver plano D-01). ....	38
<i>Figura 8.</i> Primera capa del filtro. ....	39
<i>Figura 9.</i> Segunda capa del filtro, constituida piedra chancada entre 2 y 3 pulgadas de diámetro.....	40
<i>Figura 10.</i> Tercera capa del filtro, la tercera capa del filtro de agua está constituida por gravilla.....	41
<i>Figura 11.</i> Cuarta capa del filtro, constituida por arena.....	42
<i>Figura 12.</i> Capa de carbón del filtro, la quinta y última constituida por carbón artesanal que por sus distintas propiedades adherentes y porosas. ....	43
<i>Figura 13.</i> Reservorio de agua filtrada, constituye el último componente del sistema.....	44
<i>Figura 14.</i> Caracterización de las aguas grises en la caja de pre- recolección.....	46
<i>Figura 15.</i> Caracterización del agua a la salida del sistema de recuperación (Semana 2). .....	47
<i>Figura 15.</i> Caracterización del agua a la salida del sistema de recuperación (Semana 3). .....	49
<i>Figura 16.</i> Caracterización del agua a la salida del sistema de recuperación (Semana 4), .....	50
<i>Figura 17.</i> Evaluación permisible de los LMP.....	51
<i>Figura 18.</i> Caracterización acumulada de los parámetros.....	53

## Resumen

El presente trabajo de investigación titulado: Diseño y aplicación de un sistema hidráulico de reutilización de las aguas grises, para disminuir el consumo de agua potable en vivienda familiar en el distrito de Jepelacio – 2017, tuvo como objetivo general diseñar y aplicar un sistema hidráulico de reutilización de las aguas grises, para disminuir el consumo de agua potable en una vivienda familiar en el distrito de Jepelacio, para el cual se ha realizado una serie de análisis y así determinar la eficiencia total del sistema. La calidad del agua que ingresó al sistema inicialmente tenía un pH con 7.54 unidades, variando ligeramente hasta la cuarta semana a 7.05; así mismo se puede observar la gran cantidad de sólidos totales disueltos 721 mg/L para disminuir hasta 412 mg/L, 500 unidades platino cobalto de color (UPC) hasta las 200 UPC, teniendo una concentración inicial de 0.17 mg/L respecto a los nitratos y llego a disminuir hasta 0.05 mg/L, DBO<sub>5</sub> y DQO estaban inicialmente con 90 mg/L y 112 mg/L respectivamente y se llegó hasta 30 mg/L y 42 mg/L, lo que demuestra su eficiencia significativa. Por lo que se ha llegado a la conclusión de que con la utilización de un sistema de tratamiento con recirculación se logra a disminuir hasta más de 288 litros diarios en la utilización de agua procedente de las tuberías de agua potable.

Palabras clave: Diseño hidráulico, aguas grises, eficiencia, DBO<sub>5</sub>, DQO.



## Abstract

This research work entitled: Design and application of a hydraulic system of reuse of gray water, to reduce the consumption of drinking water in a family home in Jepelacio district - 2017, had as a general objective and a hydraulic system of reuse of gray water, to reduce the consumption of drinking water in a family home in Jepelacio district, for which a series of analyzes has been carried out to determine the total efficiency of the system. The quality of the water that entered the system had a pH with 7.54 units, varying slightly until the fourth week at 7.05; Likewise, the large amount of dissolved solids 721 mg / L can be observed to decrease up to 412 mg / L, 500 units of cobalt platinum (UPC) up to 200 UPC, talking into account an initial concentration of 0.17 mg / L with respect to nitrates and decreased to 0.05 mg / L, BOD<sub>5</sub> and COD remain at 90 mg / L and 112 mg / L respectively, reaching up to 30 mg / L and 42 mg / L, which demonstrates their efficiency. What has arrived has reached the conclusion that with the use of a treatment system with recirculation is reduced to more than 288 liters per day in the use of water.

Key words: Hydraulic design, gray water, efficiency, BOD<sub>5</sub>, COD.



## INTRODUCCIÓN

La presencia de aguas residuales en el medio rural y urbano ocasiona la multiplicación de enfermedades diarreicas agudas y que, con la influencia de las altas temperaturas en los meses de verano, facilita la reproducción de bacterias contaminando el medio ambiente (GORESAM, 2017). La población de la localidad de Jepelacio, cuenta con el servicio de alcantarillado, sin embargo parte de la población no accede al servicio; por esto propongo alternativas de solución que ayuden a evacuar las aguas residuales sin contaminar el medio urbano, con la finalidad de elevar el nivel de salubridad y la prevención de posibles enfermedades en la población que carece del servicio de alcantarillado en la localidad, además de contribuir a lograr el desarrollo económico del distrito como de la región.

En la localidad de Jepelacio, existen numerosas zonas aledañas a la ciudad que no cuentan con red de agua para el consumo humano y tampoco cuentan con un sistema de disposición final de las aguas residuales domiciliarias, por lo que representa un problema de salud pública latente, frente a este problema existe la necesidad del uso de sistemas de tratamiento de agua grises de bajo caudal, como opción de manejo descentralizado de aguas residuales en zonas periurbanas y rurales. A la solución causada por las aguas servidas y grises, hay que añadir la provocada por la eliminación de desechos sólidos, casi siempre irresponsablemente descargados a ríos, quebradas, etc., pensando que la misma naturaleza soluciona el problema a través del proceso de aeración y oxidación de las sustancias orgánicas contaminantes.

El agua, es un recurso natural que hay que proteger para garantizar el funcionamiento de los ecosistemas y la supervivencia de los seres vivos que lo conforman. Se utiliza para beber, para lavar, para cocinar, y para regar cultivos. Nunca se ha tenido en cuenta que el agua es un recurso natural que es limitado y hay que cuidar (Soliclima, 2013). Muchos pozos se han secado o se han salado por un exceso de utilización de agua. Por este motivo, como consumidores de agua se puede recircular el agua de las casas y aprovecharla para usos en los que no es necesario el agua potable, puede ser utilizada para actividades higiénicas sobre todo necesarias para el bienestar de todos en cuanto a la salud, a veces está destinada a usos en los que no es imprescindible su uso. La utilización de agua potable en actividades que tal vez no lo requieren se pudiese ver como un lujo o acción innecesaria para el hogar.

Las aguas grises pueden contener sustancias que, al ser vertidas, son causa de ciertos cambios en los parámetros biológicos, químicos o físicos, en la masa del agua donde son evacuadas. En el presente estudio se planteó la instalación de un sistema hidráulico, para la recuperación de las aguas grises; para de esta manera disminuir el consumo de agua potable en una vivienda unifamiliar. Este sistema, consta de un conjunto de estructuras diseñadas acorde con las características de la vivienda, con la finalidad de contribuir a la disminución de consumo de agua potable en las viviendas unifamiliares.

Con el siguiente tema: Diseño y aplicación de un sistema hidráulico de reutilización de las aguas grises, para disminuir el consumo de agua potable en vivienda familiar distrito de Jepelacio – 2017; se construye un sistema, el cual permita reutilizar las aguas grises que derivan de escenarios como la ducha, los lavatorios, el lavaplatos y la lavadora, mediante un sistema de almacenamiento y filtrado que después se pudo utilizar el agua reciclada en actividades como el vaciado de un sanitario, el lavado de móvil, entre otros. Al realizar estas actividades no es necesario el uso de agua potable, la cual se podría seleccionar para otras actividades o sencillamente reciclarla para las acciones ya nombradas.

Por lo antes mencionado se planteó el problema de la siguiente manera: ¿Mediante el diseño y aplicación de un sistema hidráulico de reutilización de las aguas grises, se puede disminuir el consumo de agua potable en vivienda familiar distrito de Jepelacio – 2017?

Así mismo tiene como objetivo general el siguiente enunciado: Diseñar y aplicar un sistema hidráulico de reutilización de las aguas grises, para disminuir el consumo de agua potable en vivienda familiar distrito de Jepelacio – 2017.

Seguido de los objetivos específicos, orientados a cumplir el objetivo principal:

Diseñar y construir un sistema hidráulico de reutilización de las aguas grises

Caracterizar el agua gris proveniente de las instalaciones sanitarias como duchas, lavatorios y lavaderos antes y después del sistema hidráulico de reutilización de las aguas grises

Evaluar la eficiencia del sistema hidráulico de reutilización de las aguas grises, comprobando que se cumpla con los límites máximos permisibles de calidad del agua.

Debido a la escasez de agua, la sociedad está tomando conciencia de la importancia de reciclar el agua que se consume. El gasto doméstico diario por persona en climas calurosos es de 150 litros y la mitad proviene de la ducha y la cisterna. A parte de limitar ese gasto, se puede optar por sistemas de reutilización para mejorar el consumo (RNE, 2006).

Se podrían ahorrar una cantidad considerable de litros de agua al año por familia con un sistema de tratamiento de aguas grises, donde su función será limpiar el agua del aseo personal (lavado, ducha, baño), haciéndola útil para otros usos con agua no potable: regar el jardín, la cisterna, vaciar el inodoro, en definitiva, para aquellos usos no potables.

Los resultados de la investigación solo serán válidos para el periodo establecido 2017. Los resultados de la investigación solo servirán para evaluar este sistema hidráulico diseñado y aplicado en el distrito de Jepelacio.

Con la finalidad de validar los resultados de la investigación nos planteamos la siguiente hipótesis: Mediante el diseño y aplicación de un diseño hidráulico de reutilización de aguas grises disminuirá el consumo de agua potable en vivienda familiar, distrito de Jepelacio 2017. La presente tesis, se realizó con el fin de hacer que la reutilización del agua usada sea una opción para reducir el consumo de agua en el hogar y, de esta manera, lograr un consumo sostenible del agua potable, y hacer un uso eficiente de esta.

Capítulo I: Revisión de bibliografía, que consta de todas las teorías científicas que sustentan el presente informe.

Capítulo II: Materiales y métodos, se muestra a detalle todos los materiales y métodos utilizados para realizar la investigación.

Capítulo III: Resultados y discusiones, se detallan los resultados obtenidos y se comparan con los mostrados en la revisión de bibliografía del capítulo I.

# CAPÍTULO I

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 1.1. Antecedentes de la investigación

#### a) Internacional

**Díaz y Ramírez, (2016)** realizaron la construcción de un sistema de aguas grises, para mitigar algunas necesidades. Los resultados fueron bastante optimistas y las personas mostraron gran agrado a la idea del proyecto ya que precisamente para estas épocas el fenómeno del niño azotó al país y se vieron grandes sequías que afectaron las plantas y animales, y por ende se vio seriamente afectada la calidad de vida de los colombianos. Por lo anterior las personas ven como una solución exitosa al desperdicio y mal uso del recurso hídrico y sobre todo como una expectativa de ahorro en la factura de agua. Se logró recibir aportes importantes para el mejoramiento del diseño, así como también algunas recomendaciones las cuales se mencionan a continuación: Lograr la captación de aguas lluvias para dar un mejor provecho al sistema; que el sistema se conecte los inodoros del hogar para evitar el desperdicio de agua potable; que se logró un almacenamiento de agua prolongado para utilizar el recurso en cualquier momento.

**Espinal, (2014)** en la investigación propone un sistema de reciclaje de aguas grises, cuyo principal objetivo es el diseño y simulación que permita volver a utilizar este tipo de aguas, para lo cual fue necesario la ubicación de los principales puntos de captación en el hogar desde donde se pueden obtener aguas grises, procedentes de lavados en general como: cocinas, lavamanos, duchas, conteniendo detergentes, restos de alimentos, materia orgánica y otros contaminantes, se estudiaron las posibles necesidades dadas en sistemas de reutilización de aguas grises, y los diferentes esquemas realizados para el sistema, con el propósito de escoger el más adecuado, después se observan los resultados, los cuales cumplen con las expectativas esperadas.

**Bermejo y Echarry, (2012)** prepararon un sistema de tratamiento de aguas grises urbanas, de esta forma concluyeron: Los rendimientos de eliminación de los



principales parámetros estudiados fueron superiores al 94% para DQO (demanda química de oxígeno), al 97% para DBO<sub>5</sub> (demanda bioquímica de oxígeno) y al 95% para SST (sólidos en suspensión totales). Por su parte los rendimientos de eliminación de nutrientes oscilaron entre el 57% y 90% para nitrógeno total y entre el 5% y el 56% para fósforo total. Además, a lo largo del tratamiento se produce un incremento de la concentración de oxígeno disuelto O<sub>2</sub>, con el correspondiente aumento de la concentración de nitratos. Finalmente indicar que todos los resultados obtenidos, confirman que la tecnología de depuración simbiótica es adecuada para el tratamiento de agua residual del Campus de Espinardo, y la calidad de efluente desde el punto de vista físico-químico, es adecuado para el uso del regadío en las zonas verdes de la Universidad y cumple con la directiva europea sobre depuración de aguas residuales (91/271/CEE).

**Calderón, (2014)** en su investigación se realizó la toma de muestras en el afluente y efluente de la unidad, considerando el comportamiento del caudal medio del afluente general. Con los resultados obtenidos se puede determinar que el biodigestor comercial tiene similar eficiencia tanto en su fase inicial, como a cinco años de funcionamiento sin extracción de lodos, esta eficiencia enmarca a la unidad como un tratamiento primario con eficiencia de 97 % de remoción de sólidos sedimentables y DBO<sub>5</sub> del 57 %. También se observó una eficiencia de 94% de remoción de sólidos sedimentables y DQO del 47 %, a un periodo de retención de 11,28 horas.

**Franco, (2007)** En su trabajo de investigación de título “Tratamiento y reutilización de aguas grises con aplicación acaso en Chile” tiene por objetivo principal entregar una herramienta para mejorar la eficiencia del uso del agua potable, en que se encontraron resultados con respecto a las aguas grises poseen nutrientes en cantidades mucho menores que las aguas negras, presentando un promedio de 10% de nitrógeno y 21% de potasio, del total en aguas servidas domésticas. La misma fuente informa que solo el 26% del fósforo total corresponde a aguas grises, concluyendo que estas pueden ser muy útiles en diversas actividades domésticas.

**Torres, (1994)**. El propósito de este trabajo fue diseñar una planta de tratamiento para las aguas residuales domésticas provenientes de la localidad de Marín. Para la

caracterización del efluente se realizaron tres muestreos durante el ciclo otoño. Los resultados promedios de los parámetros físicos fueron: pH, varió de 7.59 a 8.1; temperatura de la muestra de 27.2 a 28.7 °C, y sólidos sedimentables 3.94 ml/L. Los parámetros químicos tuvieron los siguientes promedio; oxígeno disuelto (OD) 0.46 mg/L, demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) 265 mg/L, demanda química de oxígeno (DQO) 372.09 mg/1 y sólidos en todas sus formas: totales 462.30 mg/L, totales suspendidos 180.00 mg/1, totales disueltos 282.30 mg/L, totales volátiles 277.76 mg/1, volátiles suspendidos 100.36 mg/1, volátiles disueltos 177.40 mg/1, totales fijos 260.68 mg/1, fijos suspendidos 49.35 mg/1 y fijos disueltos 211.33 mg/1. El examen microbiológico mostró un promedio de coliformes fecales del orden de  $153 \times 10^6$  N.M.P/100 ml de muestra; en la medición de los caudales (Q) se obtuvieron los promedios siguientes: máximo 27.33 l/seg y mínimo 21.43 l/seg. Con los resultados experimentales obtenidos concluimos que esta agua, para ser utilizada en la agricultura deberá ser sometida a un tratamiento que reduzca efectivamente las concentraciones de las sustancias hasta niveles aceptables.

#### **b) Nacional**

**Méndez y Fortunato (2010)** propusieron un modelo socio económico de decisión sobre el uso de las aguas residuales domésticas tratadas con fines productivos y de servicio. En relación a otras instituciones, la Universidad Nacional de Ingeniería – UNI cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas PTAR con fines de riego de parques y jardines públicos de distritos de la zona. La planta mencionada cuenta con un sistema de Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA) y dos lagunas facultativas en serie de estabilización en un área de 11,200 m<sup>2</sup> y se encuentra en la Av. Túpac Amaru s/n, en el perímetro del actual Centro de Investigaciones Sísmicas – CISMID. La denominada UNITRAR cuenta con una unidad de gestión autónoma que trata un promedio de 135,061.56 de m<sup>3</sup> anuales de aguas residuales con un costo total promedio anual de S/. 28,314.75, estimado en base a la información de producción y costos para el periodo febrero – junio 2008.

**Ballón y Palomino, (2007)** construyeron dos reactores de vidrio cada uno con sus respectivos sedimentador secundario; en el reactor N° 1 se colocaron como medio de contacto gravas previamente seleccionadas de 0,025 m (1pulgada) de diámetro, índice de porosidad de 51.8% y superficie específica de 119.35 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> ; mientras

que en el reactor N°2 se colocaron como medio de contacto mangueras de 0.0295 m de diámetro y 0.10 m de longitud, con un índice de porosidad de 86.1% y una superficie específica de 180 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>, en ambos reactores la altura de empaque fue de 0.10 m. además a cada reactor se aplicó un caudal constante. Para las pruebas iniciales a cada reactor se aplicó una tasa de oxigenación de 0.054 gO<sub>2</sub>/h obteniéndose como eficiencia de remoción de demanda bioquímica de oxígeno al quinto día (DBO<sub>5</sub>) de 69.66% y 49.06% en el reactor N°1 y N°2 respectivamente. Debido a la baja eficiencia de remoción se aplicó como segunda condición una tasa de oxigenación de 0.062 gO<sub>2</sub>/h, obteniéndose una eficiencia de remoción de DBO<sub>5</sub> del 84.7% en el reactor N°1 y 86.35% en el reactor N°2.

**Nina, (2015)** realizó con el objetivo de evaluar el sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, la eficiencia de tratamiento del sistema mediante los parámetros evaluados es: DBO<sub>5</sub> (71%), DQO (69%), Sólidos totales en suspensión (76%). Se determinó también la eficiencia de remoción de Coliformes totales (64%), Coliformes fecales (87%), y Coliformes termo tolerantes (39%). Al comparar los valores determinados en el efluente con los límites máximos permisibles establecidos en el D.S. N° 003 – 2010 – MINAM, se concluye que el nivel de contaminación de la zona en estudio es alto ya que los contaminantes potenciales superan los límites máximos permisibles para la categoría 3: es decir afecta al agua de riego de vegetales y bebidas de animales, y la contaminación el agua subterránea.

## **1.2. Bases teóricas**

### **1.2.1. Aguas grises**

Las aguas grises son aguas provenientes de las lavadoras, regaderas, tinas y lavabos. 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. En algunos lugares, el agua de la tarja de la cocina es considerada aguas grises, mientras que en otros lugares es clasificada como “aguas negras” lo mismo que el agua del inodoro. El agua proveniente del inodoro, así como el agua del lavado de pañales, no debe ser considerada aguas grises. Tampoco se debe reutilizar

agua de ningún lavabo que reciba productos químicos ni de casas que usan descalcificador de agua a base de sodio (Allen, 2015).

Las aguas grises (tratadas o no tratadas) no son lo mismo que el agua reciclada, que es agua de desecho altamente tratada de una planta centralizada de tratamiento. El agua reciclada es de uso común en algunas áreas urbanas (Allen, 2015).

Según algunos autores, las aguas grises corresponden a las aguas residuales domesticas con excepción de las provenientes de inodoros y urinarios, llamadas aguas negras, otros incluyen además de esta definición aguas provenientes de la cocina (Salazar, 2003). Una subdivisión usual es separar las aguas grises en claras y oscuras, siendo las primeras correspondientes a lavamanos, duchas y tinas, y las segundas a lavadoras y lavaplatos.

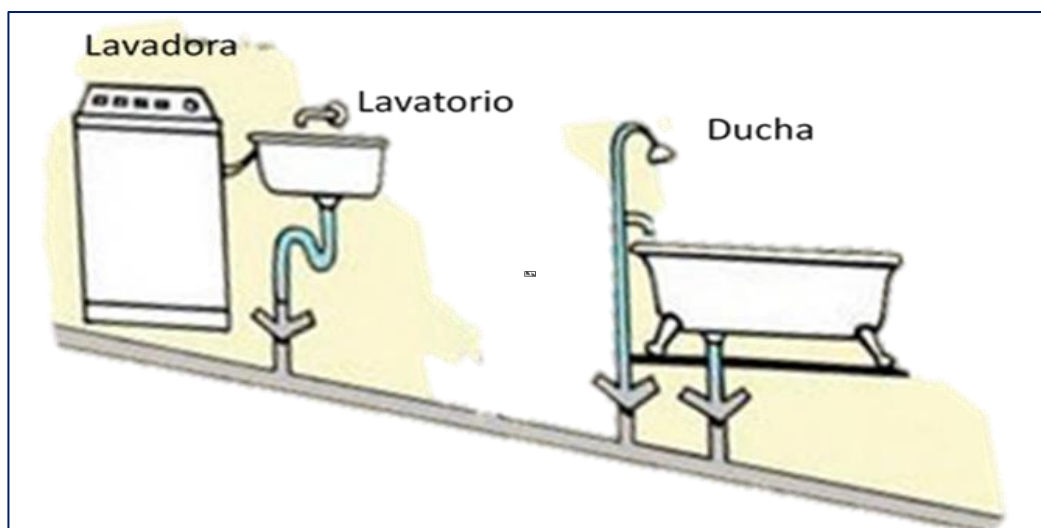


Figura 1. Fuentes de aguas grises. (Fuente: Salazar 2003).

En la tabla 1 se muestra la dotación de agua establecida con el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) para consumo familiar de cinco miembros en promedio y el uso que se le da en el hogar, según información proporcionada por SEDAPAL. De este volumen, según el RNE, el 80%, se destina a desagües.

**Tabla 1***Consumo promedio de agua familia de cinco personas*

Concepto	Cantidad: L/día
Limpieza de casa	50
Beber y cocinar	20
Lavado de manos y cara	75
Uso del inodoro	175
Lavado de la ropa	225
Uso de la ducha	175
Lavado de los platos	30
<b>Total</b>	<b>750</b>
<b>Promedio por persona</b>	<b>150</b>

Fuente: RNE - Norma OS. 010, 2017.

Las aguas grises son aguas residuales generadas por las actividades domésticas, tales como la lavandería, el lavado de platos, y el baño, que pueden ser recicladas en el lugar para usos como el riego de jardines y humedales artificiales. Esta agua no contiene materia fecal. Las aguas grises se diferencian del agua de los baños en que esta última designa a las aguas residuales o aguas negras que contienen desechos humanos. Las aguas grises representan el 50-80% de las aguas residuales residenciales (Asenjo, 2017)

Las aguas grises deben su nombre a su aspecto turbio y a su condición de estar entre el agua dulce y potable (conocida como “agua blanca”) y las aguas residuales (“agua negra”). En el contexto hogareño, las aguas grises son las aguas sobrantes de los baños, duchas, lavabos y lavadoras. Algunas definiciones de aguas grises incluyen el agua de la piletta de la cocina. Cualquier agua que contiene desechos humanos se considera agua negra (Asenjo, 2017).

#### 1.2.1.1. Características generales

Es importante recordar que siempre ocurrirán variaciones significativas en las plantas de tratamiento u otros sistemas de tratamientos de aguas residuales (Palacios, 1991). Dependiendo de la dimensión del sistema, del tipo de aguas residuales y del diámetro e inclinación de los interceptores y tipos de contribuyentes de aguas residuales.

Las aguas grises están constituidas en un elevado porcentaje (en peso) por agua, cerca del 99.9 % y un 0.1 % de sólidos suspendidos, de los cuales el 70% son



orgánicos y el 30% son inorgánicos como arenas, sales y metales; siendo éste 0.1% el que debe ser sometido a tratamiento. La composición del agua grises está en función del uso, ésta depende tanto de las características sociales y económicas de la población, así como del clima, la cultura y del uso del suelo entre otras (Palacios, 1991).

La composición y la concentración de estos constituyentes dependerán hasta cierto punto de las costumbres socio-económicas de la población contribuyente. La composición de las aguas grises está determinada por el caudal y por su fuente. Las aguas grises consisten básicamente en: agua, sólidos disueltos y sólidos en suspensión. Los sólidos son la fracción más pequeña (representan menos del 0.1 % en peso), pero representa el mayor problema a nivel del tratamiento. El agua provee sólo el volumen y el transporte de los sólidos (Metcalf & Eddy, 1996).

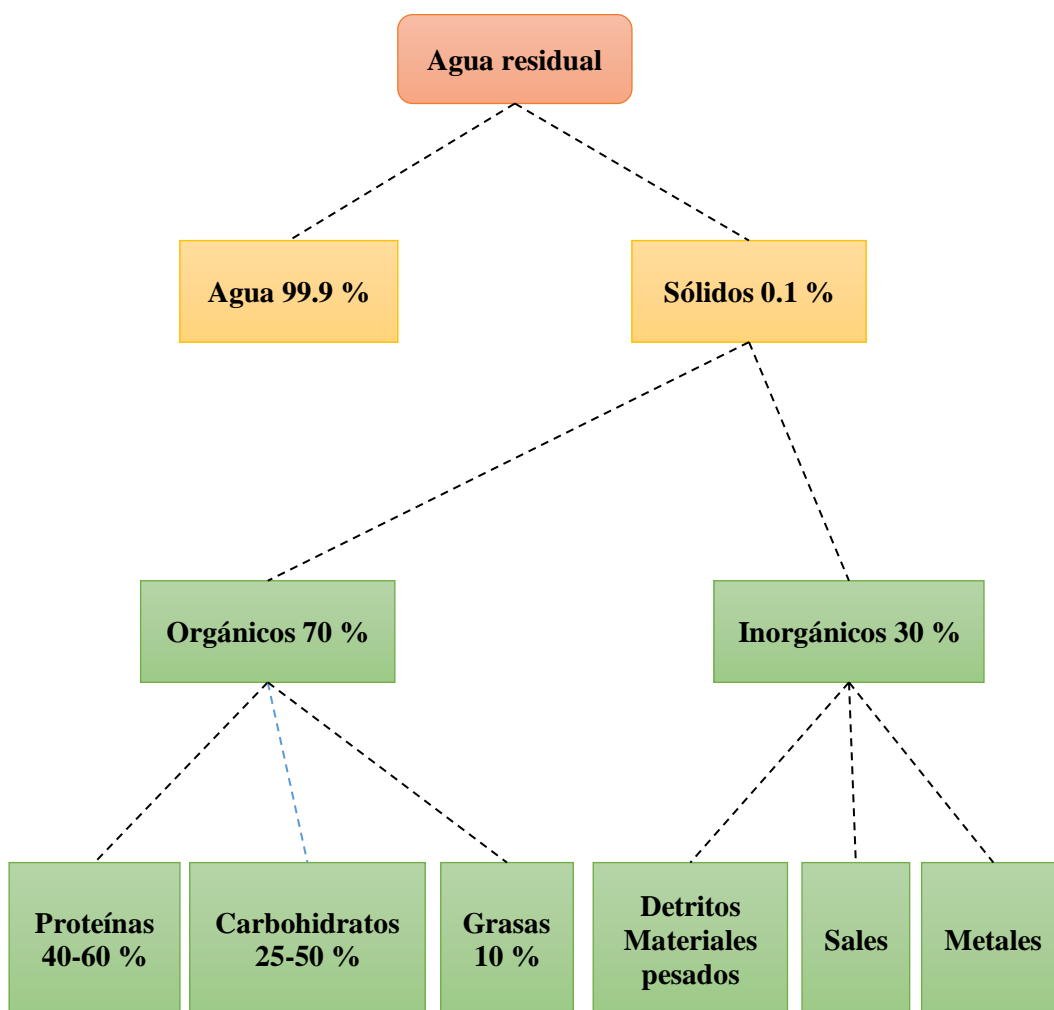


Figura 2. Composición de las aguas grises. (Fuente: Metcalf & Eddy 1996).

Aproximadamente el 65% de los sólidos orgánicos son proteínas como albúminas, globulinas y enzimas provenientes de las industrias o de la actividad microbiológica en el agua residual.

### 1.2.1.2. Características de las aguas grises según su origen

El agua gris presenta diferentes características, según el empleo que se le al agua potable, a continuación, se presenta una lista de características según su uso (Imhof y Muhlemann, 2005).

**Tabla 2**

*Características de las aguas según su origen.*

Origen	Características
Lava vajillas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Altamente contaminadas con partículas de comida, aceites y grasas.</li> <li>- Cantidades variables de coliformes.</li> <li>- Generalmente presenta mayor cantidad de SST que las aguas servidas.</li> <li>- Crecimiento de microorganismos. Descomposición rápida. Mal olor.</li> <li>- Contiene detergentes, blanqueadores. Espumas.</li> </ul>
Ducha, tina y lava manos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta demanda de oxígeno.</li> <li>- Usualmente se considera como agua negra.</li> <li>- Generalmente corresponde al agua menos contaminada (aguas grises claras).</li> <li>- Ducha y tina presentan coliformes.</li> <li>- Puede contener orina, que es estéril en personas sanas, no obstante, algunas infecciones en la vejiga pueden hacer que exista presencia de microorganismos, el potencial de estos para sobrevivir y causar infecciones es considerado remoto.</li> <li>- Contiene pelos y productos de limpieza como jabón, shampoo y pasta de dientes.</li> <li>- Baja demanda de oxígeno.</li> <li>- Contiene coliformes.</li> </ul>
Lavadora	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contiene detergentes (sodio, fosforo, boro, amonio, nitrógeno). Espumas.</li> <li>- Alto pH.</li> <li>- Alta cantidad de solidos suspendidos (pelusas). Alta turbiedad.</li> <li>- Altas concentraciones de microorganismos.</li> </ul>
Piscinas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gran presencia de químicos (residuos químicos de productos para mantenimiento, aceites para el cuerpo, cosméticos, etc.).</li> </ul>

Fuente: Imhof y Muhlemann, (2005).

La proporción de los carbohidratos está en función de las costumbres en la región (éstos se encuentran en sus formas más comunes como glucosa, sacarosa, almidón y celulosa). Las grasas y aceites animales o vegetales son el tercer componente de los alimentos. En la tabla 2 presenta los constituyentes que deben ser reducidos de las aguas residuales.

**Tabla 3**

*Constituyentes para reducir en aguas grises.*

Contaminantes	Importancia
Sólidos Suspendidos	Forman depósitos de lodo y favorecen las condiciones anaerobias cuando son descargados a los ecosistemas
Materia orgánica	Compuesta principalmente de proteínas, carbohidratos y grasas; por lo general, se miden en términos de DBO <sub>5</sub> y DQO. Si es descargada sin tratamiento a un cuerpo de agua, reduce en este el oxígeno disuelto y desarrolla condiciones anaerobias.
Patógenos	Los organismos patógenos existentes en las aguas residuales pueden transmitir enfermedades.
Nutrientes	Tanto el nitrógeno como el fósforo, junto al carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando son descargados en los cuerpos de agua generan crecimiento excesivo de algas y condiciones anaerobias
Contaminantes importantes	Compuestos orgánicos e inorgánicos que causan alteraciones genéticas, mutaciones, además son cancerígenos
Materia orgánica refractaria	Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento de las aguas residuales, Ejemplos típicos incluyen detergentes, fenoles y pesticidas agrícolas.
Metales pesados	Se encuentran en las aguas residuales provenientes de industrias, pueden ser removidos y reutilizados
Compuestos orgánicos disueltos	El calcio, sodio y sulfato, son adicionados a los sistemas domésticos de abastecimiento de agua, debiendo ser removidos si se va a usar nuevamente el agua residual.
Temperatura	Ligeramente alta comparada con el agua de beber Variaciones acorde al año (estaciones): Influye en la actividad microbiana, Influye en la solubilidad de los gases, Influye en la viscosidad
Color	Aguas frescas: ligeramente gris Aguas sépticas: gris oscuro o negro

Fuente: Metcalf & Eddy, (1996).

### **1.2.1.3. Beneficios de las aguas grises**

Reutilizar las aguas grises es un componente importante de las prácticas sustentables del uso de agua, hay muchos beneficios en el uso de las aguas grises en lugar de agua potable para el riego (Allen, 2015). Usar aguas grises puede:

Disminuir el uso de agua potable de 16% a 40%, dependiendo del sitio y el diseño del sistema. Disminuir el monto de los recibos de agua y la factura por aguas residuales. Diversificar los suministros de agua municipales y proporcionar una fuente alternativa de agua para riego, reservando el agua tratada para necesidades de más alta calidad. Reducir las necesidades de energía y químicos usados para tratar las aguas residuales. Otro beneficio de usar aguas grises, es que nos concientiza de nuestras fuentes de suministro de agua, ayudándonos a entender de dónde viene el agua que consumimos y a dónde va. Ser conscientes de nuestros suministros de agua, nos alienta a seleccionar productos más saludables y a comprometernos con nuestro jardín. Al reutilizar las aguas grises del hogar, preservamos los recursos de agua para otros seres vivos. En armonía con una forma integral del uso del agua al diseñar jardines, el cultivo con agua de lluvia, los baños secos y la conservación de agua, usando las aguas grises como un recurso, nos ayudan a reducir la dependencia del agua importada y protegen nuestras cuencas hidrográficas (Allen, 2015).

### **1.2.2. Principales procesos de tratamientos de aguas grises y aguas residuales**

El proceso de tratamiento de las aguas residuales tomado en cuenta fue: R.N.E.O.S.090. (2006) menciona sobre Tratamientos de Aguas Residuales lo siguientes:

#### **Tratamiento primario**

El objetivo del tratamiento primario es la remoción de sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentales, para disminuir la carga en el tratamiento biológico, los sólidos removidos en el proceso tienen que ser procesados de su disposición final. Y pueden ser Imhoff, tanques de sedimentación y tanque de flotación.

### Tratamiento secundario

Considera como tratamiento secundario los procesos biológicos con una eficiencia de remoción de DBO<sub>5</sub> soluble mayor al 80%, pudiendo ser de biomasa en suspensión o biomasa adheridas, e incluye los siguientes sistemas: lagunas de estabilización, lodos activados (incluidas zanjas de oxidación y otras variantes), filtro biológico y módulos rotatorios de contacto.

### Tratamiento terciario de aguas residuales

Cuando el grado del tratamiento fijado de acuerdo con las condiciones del cuerpo receptor o de aprovechamiento sea mayor que el que se pueda obtener mediante el tratamiento secundario, se deberá utilizar métodos de tratamiento terciario o avanzado.

**Tabla 4**

#### *Niveles y procesos de tratamiento de aguas grises*

Nivel	Descripción	Tipo de unidad
Preliminar	Remueve material causante de problemas operacionales como trapos, ramas, arenisca, material	Rejas, tamices, desarenador, tanques de homogenización, trampas de grasa, medidor y repartidos de caudal
Primario	Remueve de sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables, para disminuir la carga orgánica	Sedimentado, unidades con inyección de aire, tanque séptico, Imhoff y tanques de flotación
Secundario	Procesos biológicos con una eficiencia de remoción de DBO <sub>5</sub> soluble mayor a 80%.	Lodos activados, filtros percoladores, humedales, lagunas de estabilización, reactor UASB
Terciario	Remueve sólidos suspendidos a través de micro filtración, además en este nivel se remueven	Micro filtración, la coagulación y precipitación, la absorción por carbón activado, cloración, destilación, oxidación química, extracción por solvente, remoción por espuma, nitrificación – de nitrificación.

Fuente: RNE - Norma OS. 090, (2017).

### **1.2.3. Modelo de reúso de aguas grises**

En estas circunstancias, la idea de la reutilización convierte el gasto en tratamientos en una inversión productiva, pues en lugar de desechar el agua gris, es posible retornar al proceso productivo una fracción del agua residual tratada para que sea acondicionada apropiadamente para su reutilización. Este hecho tiene un efecto benéfico desde el punto de vista del consumo de agua potable. Al reusar agua gris tratada, las necesidades de entrada al proceso disminuyen y, por lo tanto, también la cantidad descargada. Esto trae consigo una cadena de ahorros derivados de varios hechos: primero, por estar consumiendo menos agua del servicio municipal; segundo, por disminuir el gasto de tratamiento (generalmente proporcional al volumen de agua); tercero, por la disminución en el tamaño del tratamiento final para descarga y, por último, por la posibilidad de utilizar el agua para otros usos o usuarios (García, 1982).

Aunque es necesario encontrar la tecnología apropiada que alcance el nivel de eficiencia requerido, es posible, en la mayoría de los casos, encontrar esquemas de tratamiento orientados al reúso que sean rentables, en los cuales se logren ahorros considerables por un menor consumo de agua fresca. En la medida que la tecnología avanza y los precios reales del agua se incrementen con el tiempo, el esquema de reutilización se volverá cada vez más atractivo (García, 1982).

El agua potable es a menudo un recurso escaso y susceptible de contaminación por las aguas negras (procedentes de los inodoros y cargadas con materias fecales) y grises (procedentes de cocinas y lavamanos, cargadas con detergentes y restos de alimentos y materia orgánica). La reutilización, la depuración mediante cadenas tróficas y el retorno al medio ambiente en óptimas condiciones son los principios que rigen la gestión del agua en la bioconstrucción (García, 1982).

#### **1.2.3.1. Método de reúso de agua en una vivienda**

Es un método muy sencillo, pero requiere de previsión al momento de diseñar, rehabilitar o modificar una vivienda. Una persona consume entre 20 m<sup>3</sup> y 25 m<sup>3</sup> cada año de agua potable en el tanque del inodoro, contando como tal en uso doméstico diario de agua un gasto de 150 litros (CEPIS – OPS, 2002). Hay muchas

maneras de reutilizar una parte del agua del abastecimiento, y una de las viables es simplemente reutilizar el agua de desagüe de la ducha, el lavamanos, la lavadora, etc. Para emplearla hacia otras actividades como el vaciado del inodoro, o el lavado de implementos. El tanque por ejemplo utiliza, comúnmente, agua potable, regularmente consume de 6 a 8 litros (Depende del tipo de taza sanitaria utilizada).

Reutilizando las aguas grises para su empleo en el tanque inodoro se pueden ahorrar aproximadamente quinientos litros a la semana, ya que más de un tercio del agua que se utiliza es para el inodoro (Seoáñez, 2004).

El agua de las duchas, bañeras y lavamanos se puede reutilizar para el tanque del inodoro, donde las aguas grises son almacenadas en un depósito acumulador y por medio de tubería de PVC el agua es conducida para la alimentación del tanque del inodoro, o hacia otras actividades que no requieran un uso de agua potable. En la reutilización de aguas grises se necesita una mayor seguridad en su manipulación, por lo que se recomienda la depuración física – químicas de las aguas procedentes de duchas, lavamanos y bañeras etc., donde por medio de una malla fina sirva como tamiz para no permitir el ingreso de sólidos y con la aplicación de cloro se desinfecte el agua del depósito ya que se encuentra contaminada (Seoáñez, 2004).

Hay muchas formas de instalar un sistema de reutilización de agua, la viable energéticamente es aquella que permite prescindir de bombas aprovechando la misma presión del agua, para esto el depósito acumulador y el tanque del inodoro han de estar ubicados a diferentes niveles, o bien se puede aprovechar el agua de un piso superior. En el caso en que no se tenga esta diferencia de altura, o sea una vivienda de un solo nivel, es necesario utilizar una bomba la cual permitiría subir el agua del depósito al segundo nivel o distribuirla en todo el nivel inferior. Por lo tanto, es imprescindible un depósito de almacenaje intermedio, un filtro sencillo (para pelos y otros posibles restos) y un sistema que permita al tanque tomar agua limpia en caso de necesidad (Romero, 2000).

Al tener un excesivo desperdicio de agua doméstica se debe considerar la necesidad de diseñar un sistema reciclador de aguas grises, al mirar las posibilidades es conveniente obtener agua para reciclar de la propia casa, para esto se requiere de un sistema de filtrado, para tal fin utilizar el agua reciclada en la zona donde más

consumo existe que es el inodoro, el riego de plantas, o actividades como el lavado de un carro, también se requiere de un sistema de bombeo y captación debidamente estructurado de la mano del sistema eléctrico y mecánico que permita su funcionamiento. (Romero, 2000). El sistema reciclador de agua consta de varios componentes tales como:

### **Pre-recolector de aguas grises**

Los procesos de reutilización de aguas grises van acompañado de un pre-recolector, que tiene como objetivo reunir las aguas grises de los diversos aparatos sanitarios y consta de, válvulas o elementos al inicio del proceso del sistema que colectan las aguas a un solo punto de reunión, con el fin de lograr obtener un correcto funcionamiento, y de esta manera poder recuperar las aguas grises mediante un sistema de tanques de decantación y atrapa grasas (Romero, 2000).

### **Almacenamiento de aguas grises y distribución**

Constará de un sistema de almacenamiento de y distribución de agua gris proveniente de la etapa de pre recolección, su función es almacenar y distribuir con presión y caudal necesario para la etapa de decantación (Romero, 2000).

### **Decantación**

Esta etapa consta de un tanque de decantación, su finalidad es separa los sólidos de mayor tamaño, por acción de la gravedad. Su objetivo es disminuir la carga contaminante antes de para a un sistema de filtración (Romero, 2000).

### **Separación de grasas**

Esta etapa consiste en la separación de las grasas por medio de un sistema de flotación, este sistema permitirá que las grasas altamente contaminantes no afecten en calidad ni en el proceso de tratamiento en las siguientes etapas (Romero, 2000).

### **Filtrador**

**Filtro de arena.** Son muy efectivos para retener sustancias orgánicas, pues pueden filtrar a través de todo el espesor de arena, acumulando grandes cantidades de contaminantes antes de que sea necesaria su limpieza. El equipo de filtración de



este tipo consta de un solo filtro o de una batería de filtros que funcionan en paralelo. La filtración se lleva a cabo haciendo pasar el líquido a tratar, a través de un lecho de arena de graduación especial. El tamaño promedio de los granos de arena y su distribución serán escogidos para obtener las distancias mínimas entre granos, sin causar pérdidas de altas presiones (Romero, 2000).

El agua sin tratar contiene normalmente sólidos en suspensión. Los cuales son indeseables o perjudiciales para uso en aplicaciones industriales o domésticas. Los filtros de arena eliminan las partículas finas y la materia coloidal coagulada previamente. Las partículas atrapadas en el lecho se desalojan fácilmente invirtiendo el flujo a través de la unidad. Esto hace expandir la arena, limpiándose por acción hidráulica y por fricción de un grano con otro (Romero, 2000).

**Filtro carbón activado.** El filtro de carbón funciona por el mismo principio que el filtro de arena, la diferencia radica en los elementos filtrantes y su finalidad. El carbón activado es un material natural que con millones de agujeros microscópicos que atrae, captura y rompe moléculas de contaminantes presentes (Romero, 2000).

Las propiedades de este medio filtrante hacen que las materias orgánicas y las causantes de olores y sabores, al igual que el cloro residual que se encuentra en el agua, sean absorbidas en las superficies del medio filtrante, eliminándolas así del líquido a tratar. Algunas de sus aplicaciones son:

Remoción de olores, sabores, cloro residual y materia orgánica de aguas de procesos cuando estas lo requieran. Preparación de aguas libres de cloro, sinsabores e inodoras para uso en las industrias de bebidas gaseosas y productos alimenticios. Remoción de cloro y materia orgánica de aguas de alimentación para equipos de desmineralización.

Tratamiento final de aguas negras y aguas de desechos industriales, para remover materia orgánica y olores.

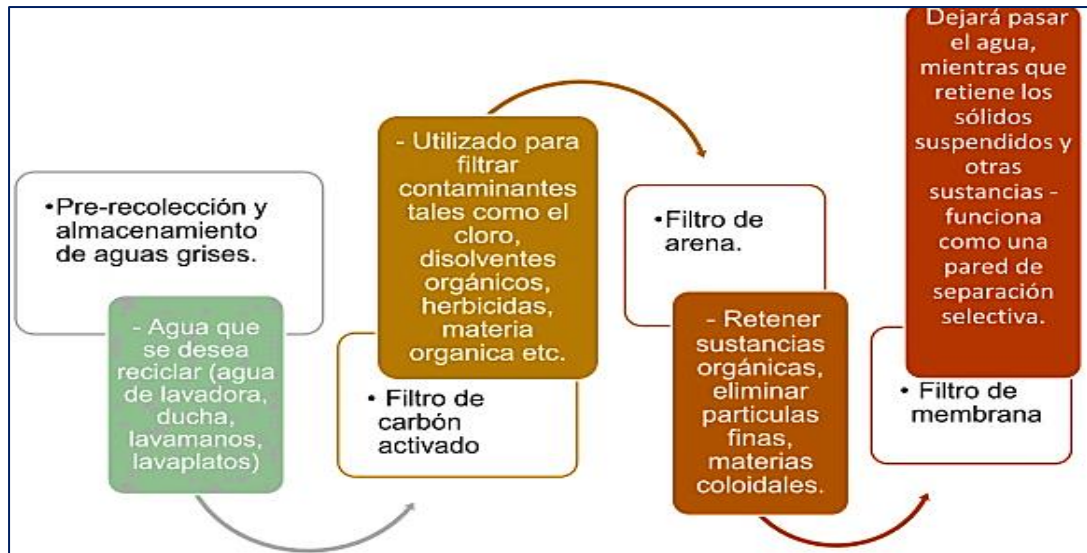


Figura 3. Proceso de filtrado. (Fuente: Romero, 2000).

**El filtro utilizado en este caso tiene que:** asegurar mediante su precisión un determinado grado de limpieza del líquido a tratar, asegurar mediante fiabilidad un funcionamiento ininterrumpido y sin perturbaciones de todo el sistema.

**Etapa de almacenamiento de agua reciclada:** esta es la parte en la cual se almacena el agua proveniente de la etapa de filtrado, tiene por finalidad dar las condiciones de dar una salida para utilizar el agua hacia donde se le requiera (Romero, 2000).

### 1.2.3.2. Diseño General Experimental del Tratamiento



Figura 4. Diseño experimental propuesto del tratamiento.

#### **1.2.4. Marco legal del agua residual no doméstica**

Según la Ley general del ambiente, ley N° 28611 nos dice lo siguiente, en el Artículo 121. Del vertimiento de aguas residuales, el estado emite en base a la capacidad de carga de los cuerpos receptores, una autorización previa para el vertimiento de aguas residuales domésticas, industriales o de cualquier otra actividad desarrollada por personas naturales o jurídicas, siempre que dicho vertimiento no cause deterioro de la calidad de las aguas como cuerpo receptor, ni se afecte su reutilización para otros fines, de acuerdo a lo establecido en los ECA correspondientes y las normas legales vigentes. En el Artículo 122. Del tratamiento de residuos líquidos, corresponde a las entidades responsables de los servicios de saneamiento la responsabilidad por el tratamiento de los residuos líquidos domésticos y las aguas pluviales. Según la ley de recursos hídricos, ley N° 29338 nos habla de los vertimientos en el Artículo 79. Vertimiento de agua residual, la autoridad nacional autoriza el vertimiento del agua residual tratada a un cuerpo natural de agua continental o marina, previa opinión técnica favorable de las autoridades ambiental y de salud sobre el cumplimiento de los estándares de calidad ambiental del agua (ECA-Agua) y límites máximos permisibles (LMP). Queda prohibido el vertimiento directo o indirecto de agua residual sin dicha autorización.

En caso de que el vertimiento del agua residual tratada pueda afectar la calidad del cuerpo receptor, la vida acuática asociada a este o sus bienes asociados, según los estándares de calidad establecidos o estudios específicos realizados y sustentados científicamente, la autoridad nacional debe disponer las medidas adicionales que hagan desaparecer o disminuyan el riesgo de la calidad del agua, que puedan incluir tecnologías superiores, pudiendo inclusive suspender las autorizaciones que se hubieran otorgado al efecto. En caso de que el vertimiento afecte la salud o modo de vida de la población local, la autoridad nacional suspende inmediatamente las autorizaciones otorgadas. Corresponde a la autoridad sectorial competente la autorización y el control de las descargas de agua residual a los sistemas de drenaje urbano o alcantarillado.

El reglamento de la ley N° 29338 – ley de recursos hídricos, aprobado por decreto supremo N° 001-2010-AG. En el Artículo 131. Aguas residuales y vertimientos, Para efectos del Título V de la Ley se entiende por: Aguas residuales, aquellas cuyas

características originales han sido modificadas por actividades antropogénicas, tengan que ser vertidas a un cuerpo natural de agua o reusadas y que por sus características de calidad requieren de un tratamiento previo. Vertimiento de aguas residuales, es la descarga de aguas residuales previamente tratadas, en un cuerpo natural de agua continental o marítima. Se excluye las provenientes de naves y artefactos navales.

En el Artículo 132. Aguas residuales domésticas y municipales, las aguas residuales domésticas, son aquellas de origen residencial, comercial e institucional que contienen desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana. Las aguas residuales municipales son aquellas aguas residuales domésticas que puedan incluir la mezcla con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial siempre que éstas cumplan con los requisitos para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado.

También, en el decreto supremo N° 003-2010-MINAM - Decreto Supremo que aprueba límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales. Aprobar los límites máximos permisibles para efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, los que en anexo forman parte integrante del presente decreto supremo y que son aplicables en el ámbito nacional.

### **Tabla 5**

*LMP para efluentes de vertidos de aguas residuales*

Ítem	Parámetro	Unidad	<b>LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de aguas</b>
1	Aceites y grasas	mg/L	20
2	Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10000
3	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
4	Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
5	pH	valor de pH	6.5-8.5
6	Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	150
7	Temperatura	°C	<35

Fuente: Límites Máximos Permisibles (LMP) DS N° 003- MINAM (2010)

### 1.3. Definición de términos básicos

**Afluente:** Agua que entra a una unidad de tratamiento, o inicia una etapa, o total de un proceso de tratamiento (Norma OS.020 del Reglamento Nacional de Edificaciones, 2006)

**Aguas Grises:** Es el agua residual producida de lavaderos, duchas, pilas, etc. Su característica principal es que contiene grandes cantidades de jabón o la cantidad de aguas de desecho disponible para su conducción y almacenamiento para ser reutilizada en la alimentación de los tanques de inodoros (Salazar, 2003).

**Aguas Negras:** Estas son las producidas en los inodoros y mingitorios, contienen sólidos y elementos patógenos que son expulsados por el cuerpo humano o cantidad de agua procedente de los inodoros, tratada en una fosa séptica y conducida por medio de tubería para poder ser utilizada en un sistema de riego subterráneo en los jardines (Salazar, 2003).

**Aguas residuales domésticas:** las aguas residuales domésticas son la mezcla de las aguas grises y las aguas negras (váter, bidet y cocina). Hay sistemas que separan las aguas grises y las aguas negras para tratarlas por separado, pero otros reciclan directamente el conjunto de aguas residuales, sin hacer distinción entre aguas grises y negras (Raluy, 1991).

**Demanda Biológica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>):** La DBO<sub>5</sub> se define como la cantidad de oxígeno usada por la materia orgánica en la estabilización del agua residual o servida en un período de 5 días a 20° C (Raluy, 1991).

**Efluente:** Agua que sale de un depósito o termina una etapa o el total de un proceso de tratamiento (Norma OS.020 del Reglamento Nacional de Edificaciones, 2006).

**Límites Máximos Permisibles:** Son los estándares oficiales de contaminantes cuyo límite no deben sobrepasar las descargas de aguas residuales en los cuerpos receptores. Si pese al tratamiento de estos elementos se sobrepasan los límites establecidos, habrá contaminación.

**Sedimentación:** Proceso de remoción de partículas discretas por acción de la fuerza de gravedad (Norma OS.020 del Reglamento Nacional de Edificaciones, 2006).

**Reutilización:** Acción y efecto de reutilizar. Utilizar algo, ya sea con la función que desempeñaba anteriormente o con otros fines, en este caso consumir menos agua potable y por lo tanto disponer de más agua para otros usos o usuarios (Raluy, 1991).

**Tratamiento:** Cualquier proceso, método o técnica que permita modificar la característica física, química o biológica del residuo líquido, a fin de reducir o eliminar su potencial peligro de causar daños a la salud y el ambiente (Norma OS.020 del Reglamento Nacional de Edificaciones, 2006).

**Temperatura.** Parámetro que mide el calor en el agua; es importante porque incide en las propiedades, procesos e interacciones físicas, químicas y biológicas de los elementos presentes en el agua. Como la solubilidad de sustancias químicas, las velocidades de reacción, la solubilidad de los gases en el agua y la actividad biológica. La temperatura del agua se mide en grados centígrados (Sierra, C. 2011).

**Sólidos totales.** Son las partículas que incluyen a los sólidos disueltos, suspendidos y sedimentables en el agua. Los ST pueden ser, tanto las sustancias orgánicas como inorgánicas, los microorganismos y partículas más grandes como la arena y arcilla. Altas concentraciones impiden la penetración de la luz, disminuyen el oxígeno disuelto, limitan el desarrollo de la vida acuática (Sierra, C. 2011).

**Demanda química de oxígeno (DQO):** Es la medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica e inorgánica presente en una muestra de agua susceptible de oxidación por un oxidante químico fuerte (Reglamento Nacional de calidad de agua para consumo humano, 2010).

**Potencial de hidrógeno (pH):** Expresa la intensidad de la condición ácida o alcalina de una solución. El pH del agua natural depende de la concentración de CO<sub>2</sub>. Se debe a la composición de los terrenos donde pasa el agua. El pH alcalino indica que los suelos son calizos y el ácido que son silicios. El pH se mide como el logaritmo negativo de la concentración del ion hidrógeno (Reglamento Nacional de calidad de agua para consumo humano, 2010).

**Nitratos:** Pueden provenir de las rocas que los contengan (poco común), o bien por oxidación bacteriana de la materia orgánica, principalmente, de las eliminadas por los animales. La concentración aumenta en las aguas superficiales por el uso de

fertilizantes y el aumento de la población (vertimientos de aguas residuales domésticas) (Reglamento Nacional de calidad de agua para consumo humano, 2010).

**Coliformes totales:** Los coliformes son bacterias que habitan en el intestino de los mamíferos y también se presentan como saprofitos en el ambiente, excepto la *Escherichia*, que tiene origen intestinal. Los coliformes tienen todas las características requeridas para ser un buen indicador de contaminación (Wachsman, M. 2006).

**Reuso del agua:** se entiende como la práctica de recuperar aguas degradadas con el fin de emplearlas luego de aplicarlas un tratamiento adecuado. Una vez expresado el concepto, entenderemos que pueden existir una o varias formas de lograr ese reusó. (García, 1982).

**Sistemas de tratamiento:** básicamente consiste en desviar la descargar de las aguas grises provenientes de los aparatos sanitarios del establecimiento y almacenarlas en un estanque, previo pasó por un filtro de membrana o arena. Posteriormente el agua es adecuada para el reusó del agua tratada (Fernández, 2009).

**Ahorrar agua:** El ahorro del agua pasa en primer lugar por racionalizar el consumo. Con los hábitos adecuados es posible realizar exactamente las mismas actividades, pero consumiendo considerablemente menos agua potable (Romero, 2000).

## CAPÍTULO II

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 2.1. Materiales

##### 2.1.1. Materiales y equipos de laboratorio

**Vaso precipitado 50 mL**, fue utilizado como receptor de las muestras de aguas grises, tanto del ingreso (caja de pre – recolección y la salida), en el laboratorio, constituye un material esencial para el manejo y separación de las muestras.

**Fiolas 250 mL**, frascos cuyo fin fue realizar movimiento de la muestra de agua antes de realizar el análisis, físico, químico y biológico.

**pHmetro**, instrumento utilizado para realizar la medición de forma rápida y precisa el valor pH y la temperatura. Gracias a la indicación doble en la pantalla del pH metro, ambos valores se muestran simultáneamente.

**Colorímetro DR 900**, instrumento utilizado para medir parámetros que reaccionan con un color, en este equipo se midió nitrato.

**Colorímetro del color del agua – Checker**, instrumento utilizado para proporcionar un resultado directo del color del agua digitalmente en unidades de platino cobalto (PCU). De manera más precisa en las muestras.

**Medidor de TDS de mano HI 98301 DIST 1**, instrumento utilizado para facilitar de manera rápida y precisa los Solidos Totales Disueltos. El sensor de grafito permite una mejor repetibilidad ya que no se oxida.

**Medidor portátil impermeable para oxígeno disuelto y DBO5 HI98193**, es un medidor robusto, portable de Oxígeno Disuelto (OD) diseñado para aplicaciones demandantes. Este medidor profesional, a prueba de agua cumple con estándar IP67, mediciones de OD, Presión barométrica, DBO<sub>5</sub> y Temperatura. El HI98193 es suministrado con todos los accesorios para realizar mediciones de OD, DBO<sub>5</sub> y DQO.



### **2.1.2. Equipos de protección**

**Guantes**, uno de los equipos de protección indispensable al momento de recoger y manipular la muestra de agua gris, utilizada como forma de contaminar ni contaminarnos con la muestra, así mismo su utilización de la mascarilla debido a que estas aguas emana olores muy fuertes que podrían afectar el muestreo y análisis.

**Guardapolvo**, conocido como mameluco, utilizado en los lugares cerrados como los laboratorios donde se debe prevenir la contaminación.

**Respiradores con filtro para gases y vapores**, cuando ya se utilizó los reactivos pudimos observar que los olores son aún más fuertes para usar las mascarillas, por ende, se tuvo la necesidad de recurrir a este tipo de mascarillas que permitió seguir con el trabajo.

## **2.2. Métodos**

### **2.2.1. Tipo y nivel de investigación**

**De acuerdo a la orientación.**

Aplicada.

**De acuerdo a la técnica de contrastación de hipótesis.**

Experimental.

### **2.2.2. Diseño de investigación**

Para el diseño de contrastación de la hipótesis se empleará el diseño pretest-postest de un solo grupo. En este diseño se efectúa una observación antes de introducir la variable independiente ( $O_1$ ) y otra después de su aplicación ( $O_2$ ). Se tomará muestras de aguas grises antes del sistema hidráulico de reutilización y después del sistema hidráulico de reutilización de aguas grises, de la vivienda unifamiliar. Se evaluará la variable independiente, en donde se determinará un sistema hidráulico óptimo para poder cumplir con los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos tales como pH, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, temperatura, nitratos, color, sólidos totales.

**Diagrama del diseño:****Donde:**

$O_1$  = Parámetros iniciales de calidad del agua gris, antes del sistema hidráulico de reutilización.

X = Sistema hidráulico de reutilización de aguas grises.

$O_2$  = Parámetros finales de calidad del agua, después del sistema hidráulico de reutilización de aguas grises.

**2.2.3. Población y muestra**

**La población** está conformada por el caudal de agua gris generada en la vivienda unifamiliar de promedio de 5 personas, con una dotación diaria (150 L/hab/día) que consumen los habitantes. Hacen un caudal de (750 L/día), equivalente a  $0.75 \text{ m}^3/\text{día}$ .

**La muestra;** se utilizó 16 litros de agua gris generada en la vivienda unifamiliar en la localidad de Jepelacio, para la prueba. Distribuidos en 3 compartimentos por cada grupo experimental: uno tomado en la caja de pre- recolección, y otro a la salida y ultimo compartimento del tratamiento del agua gris (pre prueba y post prueba).

**2.2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos****2.2.4.1. Técnicas**

**Observación Sistemática.** Permitió recabar información diagnóstica para complementar la caracterización del problema y realizar apreciaciones de la muestra de estudio.

**Fichaje:** Está técnica sirvió para la transcripción de teorías relacionadas con el tema, objeto de investigación.

**Muestreo:** El tipo de muestreo fue el no probabilístico o intencional mediante la selección en puntos de entrada y salida del sistema hidráulico.

**Caracterización de aguas grises:** Se midieron diferentes parámetros para la caracterización de las aguas grises producidas en vivienda unifamiliar como temperatura, pH, color, DBO<sub>5</sub>, DQO, nitratos y sólidos disueltos totales.

**Ensayos de laboratorio:** Técnica que permitió medir los parámetros fisicoquímicos de las aguas grises, antes y después del experimento.

**Tabla 6**

*Métodos de ensayo.*

Ensayo	Und	Método de ensayo utilizado
pH	.....	Medidor de pH HI 9811.
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mgO <sub>2</sub> /L	HI98193 Medidores portátiles Waterproof Oxígeno Disuelto y DBO <sub>5</sub> . Determinación de la Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> ), grado de absorción de oxígeno (OUR) y grado de absorción específico de oxígeno (SOUR)
Demanda química de oxígeno (DQO)	mgO <sub>2</sub> /L	HI98193 Medidores portátiles Waterproof Oxígeno Disuelto, DBO <sub>5</sub> y DQO.
Temperatura	°C	Termómetro ambiental
Nitratos	mg/L	Equipo colorímetro DR900
Color	UNT	The TURBIQUANT 1100 is a portable turbidimeter which works on batteries. The 4 standard batteries allow more as 5000 measurements.
Sólidos Totales	ppm	Medidor Multi parámetro HI 9828

Fuente: Elaboración propia, (2018)

#### 2.2.4.2. Instrumentos

Se usó como instrumento la ficha para el análisis de los parámetros de calidad del agua al momento de tomar muestras de aguas grises antes del sistema hidráulico de reutilización (caja de pre-recolección) y después (reserva de agua, ultimo compartimiento del tratamiento de agua) del sistema hidráulico, esperando dos

semanas para su funcionamiento y luego realizarse tres muestreos de forma semanal en la vivienda unifamiliar.

Evaluándose:

**Tabla 7**

*Ficha de análisis de parámetros de calidad del agua*

Ítem	Parámetro	Unidad de Medida	Resultados	
			Pre Prueba	Post Prueba
1	Temperatura	°C		
2	pH	valor de pH		
3	Sólidos Totales Disueltos	Mg/L		
4	Color	UPC		
5	Nitratos	ppm		
6	DBO <sub>5</sub>	mg/L		
7	DQO	mg/L		

Fuente: Elaboración propia, (2018).

### 2.2.4.3. Procedimientos

#### Separación de las aguas grises

Dentro de la vivienda unifamiliar, se realizó la separación de las aguas grises (duchas, lavatorios, lavadoras, etc.) con las aguas negras (inodoro); de las cuales se recolectó las aguas grises por medio de un sistema de tuberías PVC con diámetro de 2 pulgadas, como se muestra en el plano IS-01, la distribución de las tuberías para recolectar todas las aguas grises posibles de la vivienda, terminando dicha separación en la caja de pre – recolección de aguas grises.

#### Diseño

**El caudal de diseño:** Se calculó mediante el método volumétrico, utilizando un recipiente de volumen conocido (balde de 3 litros). Se midió el tiempo que demora el recipiente en llenarse por medio de un cronómetro. Obteniéndose un caudal 0.288 L/s.

**Caja de pre recolección:** Las dimensiones de caja de pre recolección se calcularon a partir del caudal de diseño de aguas grises. Se construyó la caja de concreto con un espesor de 0.15m con su respectiva tapa de concreto, siendo las dimensiones 0.60m ancho, 0.80m de largo y 0.60 m de altura obteniéndose un volumen de 0.288 m<sup>3</sup>.

**Sistema de bombeo:** Para el caudal obtenido, se utilizó una bomba con las siguientes características: tipo de fluido: Agua de pre-recolección (gris), temperatura de trabajo: 20°C - 30°C, caudal: 2 L/s, fuerza: 1 HP, diámetro de la tubería: 1”- 0.5” respectivamente.

Se instaló el sistema de bombeo, con una tubería de succión de una 1 pulgada de diámetro, bomba de succión de agua gris de la marca CP100 Centrífuga Monofásica 1HP 220V - GAMMA-2765BR, tubería de impulsión de 1 pulgada de diámetro para llegar hasta el siguiente componente.

**Tanque de almacenamiento y sedimentación:** Es el primer tanque de tratamiento de polietileno, cuya capacidad fue de 60L, con 71cm de altura y 21 pulgadas de diámetro; su función era almacenar el agua bombeada y a la vez sedimentarla, el tanque fue adecuado con una tubería de 1 pulgada de diámetro, que ingresa por la parte superior conduciendo el agua gris proveniente del sistema de bombeo, al tanque de almacenamiento y sedimentación.

Se instaló un conjunto de accesorios hidráulicos (sistema de atrapa grasas, codos, tubería de ventilación, llave de control). Además, al costado del tanque se instaló una llave de control para regular el pase y/o controlar el flujo del agua gris que pasará al sistema de filtración.

**Filtro:** Es el segundo tanque de tratamiento de polietileno, cuya capacidad fue de 60L, con 71cm de altura y 21 pulgadas de diámetro; su finalidad fue filtrar toda el agua proveniente del primer tanque de tratamiento. Se instaló un tubería de 2 pulgadas de diámetro perforada para regular la velocidad y presión, además para que la entrada del agua sea de manera uniforme al sistema de filtración, el sistema de filtración tubo una primera capa de piedra media aproximadamente de 4 pulgadas, con una altura de 0.20 m, una segunda capa de grava (piedra chancada) comprendida entre 2 y 3 pulgadas de diámetro con una altura de 0.15 m, como

tercera capa de medio filtrante se utilizó gravilla con una altura de 0.15m, la cuarta capa del medio filtrante fue de arena de 0.25 a 0.35mm de diámetro con una altura de 0.06 m y la última capa de medio filtrante, fue de carbón artesanal con una altura de 0.21 m. En el interior del sistema de filtración se instaló una tubería de 2 pulgadas de diámetro de salida del agua filtrada.

**Tanque de almacenamiento:** Es el último tanque de polietileno cuya capacidad fue de 60L, con 71 cm de altura y 21 pulgadas de diámetro; su principal función fue almacenar el agua proveniente del sistema de filtración, se instaló una tubería de entrada de 2 pulgadas de diámetro en la parte superior y una tubería de salida de ½ pulgada de diámetro que conecta hacia el inodoro.

### **Toma de muestras**

Se tomó la primera muestra en la caja de pre recolección y las tres siguientes en el tanque de almacenamiento pasando una semana respectivamente entre cada toma de las muestras. Los frascos requeridos deben ser de polietileno (preferencia primer uso) o vidrio, los cuales deben estar limpios y secos para evitar contaminación. Las muestras requieren almacenamiento a baja temperatura y/o preservación con químicos para mantener su integridad durante el transporte y antes del análisis en el laboratorio. Llenar los registros de cada muestra recolectada (ficha de muestreo) e identifique cada frasco (etiquetado). La indumentaria de protección del personal que realizó el muestreo.

### **Procedimientos del análisis de laboratorio**

**Temperatura y pH:** Primero antes de realizar el análisis se calibró el equipo siguiendo las especificaciones del fabricante, en este caso se utilizó soluciones buffer para la calibración. Luego se colocó la muestra 30 mL en un contenedor limpio (vaso precipitado) lo suficientemente profunda para cubrir la punta del electrodo, dejamos que la muestra repose un momento para que temperatura pueda estabilizarse y que el medidor se equilibre, el mismo equipo provee la lectura y se anota los resultados obtenidos.

**Sólidos Totales Disueltos:** Primero se calibró el equipo siguiendo las especificaciones del fabricante y para ello se utilizó las soluciones buffer. En un

vaso precipitado se coloca 30 mL de muestra que sea lo suficientemente profunda para que se sumerja el sensor, se deja estabilizar y se pasa a anotar los resultados obtenidos.

**Color:** Con el equipo utilizado se mide el color verdadero como el color aparente, se tiene dos muestras: una muestra control y otro patrón (blanco) para la comparación respectiva, se anota los resultados obtenidos.

**Nitratos:** Se calibró el equipo, y mediante el método de dilución – instrumental que consistió básicamente en lo siguiente: se obtuvo la muestra, se preparó el agua de dilución (con reactivo Nitra Ver 5 de marca HACH), se preparó 3 diluciones por muestra en botellas de vidrio de tapa roscada de 25 ml (con 10 ml de muestra por cada botella), uno sin reactivo y otro con reactivo para la comparación.

**DBO<sub>5</sub> y DQO:** Se calibró el equipo y mediante el método de dilución – instrumental consistió básicamente en lo siguiente, en que obtuvo de la muestra el oxígeno disuelto inicial en un vaso precipitado 60mL de agua gris para su mayor manejabilidad, luego se preparó el agua de dilución (con nutrientes de 1mL DBO<sub>5</sub> de marca HACH), se preparó 3 diluciones por cada muestra en botellas Wincler de 300 mL (siendo 200 mL la muestra), luego se introduce las disoluciones en estufa a 20 °C durante 5 días, finalmente se mide el oxígeno disuelto final y la demanda bioquímica de oxígeno a 5 días.

### 2.3. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Los datos están presentados mediante tablas y gráficos estadísticos de todas las pruebas realizadas, de las cuales se utilizó técnica estadística de análisis de la varianza de un factor o una vía y el método de descomposición de la variabilidad total de un experimento en componentes independientes con el objetivo de estimar lo efectos de los tratamientos y contrastar hipótesis.

El tratamiento produce el mismo efecto en sus parámetros en el proceso semanal.

$$H_0: \tau_i = 0, \forall i$$

Frente a la alternativa: Los análisis de parámetros en las semanas difieren significativamente entre sí:

$$H_1: \tau_i \neq 0 \quad \text{por lo menos para algun } i \text{ o equivalentemente}$$

Todos los tratamientos tienen la misma media:

$$H_0: u_1 = \dots u_1 = u$$

$$H_1: u_i \neq u_j \quad \text{por lo menos para algun par } (i, j)$$

### **Situaciones (efecto)**

Modelo de efectos fijos:  $\sum_i n_i \tau_i = 0$

Modelo de efectos aleatorios.

### **Situaciones (tamaños muestrales)**

Modelo equilibrado o balanceado: Todas las muestras del mismo tamaño ( $n_i = n$ )

Modelo no – equilibrado o no – balanceado: Los tamaños,  $n_i$ , de las muestras son distintos.

### **Modelo estadístico**

$$y_{ij} = u + \tau_i + u_{ij}, i = 1, \dots, I; \quad j = 1, \dots, n_i$$

Donde:

$y_{ij}$ : Variable aleatoria que representa la observación  $j$  – enésimo del  $i$  – enésimo tratamiento (nivel  $i$  - enésimo del factor).

$\mu$ : Efecto constante, común a todos los niveles. Media global.

$T_i$ : Efecto del tratamiento  $i$  – enésimo. Es la parte de  $y_{ij}$  debida a la acción del nivel  $i$  – enésimo, que sera común a todos los elementos sometidos a ese nivel del factor.



$u_{ij}$ : Variables aleatorias que engloban un conjunto de factores, cada uno de los cuales influye en la respuesta solo en pequeña magnitud pero que de forma conjunta debe tenerse en cuenta. Deben verificar las siguientes condiciones:

**Tabla Anova**

<b>Fuentes de variación</b>	Sumas de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados Medios	$F_{exp}$
Entre grupos	SCTr	I - 1	CMTr	$\frac{CMTr}{CMR}$
Dentro de grupos	SCR	n - I	CMR	
Total	SCT	n - I	CMT	

**Aceptar  $H_0$  si  $F_{exp} \leq F_{\alpha; I-1, N-I}$  ; Rechazar  $H_0$  si  $F_{exp} > F_{\alpha; I-1, N-I}$**

$$SCT = SCTr + SCR$$

Donde:

*SCT*: Suma de cuadrados total

*SCTr*: Suma de cuadrados de tratamientos

*SCR*: Suma de cuadrados dentro de los tratamientos o residual.

*CMT*: Cuadrado medio total:  $CMT = SCT/(N - 1)$

*CMTr*: Cuadrado medio entre tratamientos:  $CMTr = SCTr/(I - 1)$

*CMR*: Cuadrado medio residual:  $CMR = SCR/(N - I)$

Para el análisis se utilizó la técnica de la estadística descriptiva con sus pasos: codificación, organización, tabulación y presentación de la información. Así mismo se utilizará la estadística inferencial, en dos aspectos: análisis de variabilidad y la aplicación de prueba estadística TURKEY para contrastar la hipótesis a un nivel de confianza de 95%.

# CAPÍTULO III

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. Resultados

#### 3.1.1. Diseño y construcción del sistema hidráulico de reutilización de aguas grises

Se obtuvo el diseño del sistema hidráulico para reutilización de las aguas grises, que inicio con el proceso de separación de las aguas grises de las aguas negras, pre-recolección de aguas grises, sistema de bombeo de aguas grises, sistema de almacenamiento, sedimentación de aguas grises, sistema de filtración y tanque de almacenamiento de agua reciclada para disminuir los parámetros fisicoquímicos de las aguas grises, posteriormente recirculación y utilización en el inodoro.

En la primera etapa del sistema de diseño, se construyó y adecuó un sistema de separación de aguas grises de las aguas negras, con la finalidad de separar las aguas provenientes de (ducha, lavatorio, lavatorio multiusos, lavadora), el sistema se diseñó con tubería PVC de 2 pulgadas de diámetro, esto ayudó a recolectar las aguas grises generadas en la vivienda familiar y conducirlo a la caja de pre-recolección; la caja de pre-recolección consta de una tubería de entrada de 2 pulgadas de diámetro y una tubería de rebose del mismo diámetro, se diseñó con un caudal de 0.288 lt/s teniéndolas siguientes característica:

#### Pre- recolección (ver plano D-02)

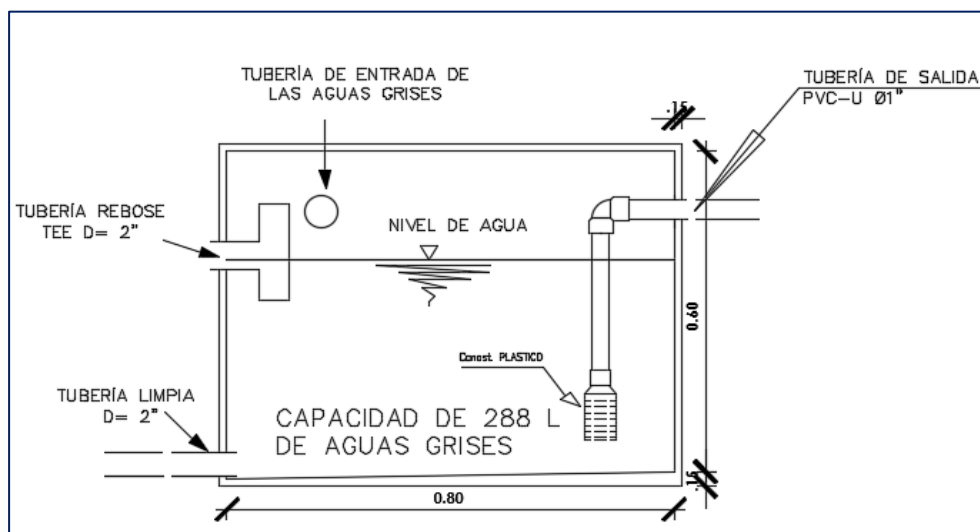


Figura 5. Caja de pre- recolección de las aguas grises.

Es el principal compartimento de recolección y separación de las aguas grises, en donde existe el desvío del agua gris (ducha, lavatorios, lavadoras) con el agua negra (inodoros).

Capacidad de caja de pre recolección:

Ancho x largo x altura = capacidad volumétrica

$$0.60 \text{ m} \times 0.80 \text{ m} \times 0.60 \text{ m} = 0.288 \text{ m}^3$$

$$0.288 \text{ m}^3 \times 1000 \text{ L} / 1 \text{ m}^3 = 288 \text{ L de aguas grises}$$

Es decir, la capacidad total de las aguas grises en el pre- recolector es de 288 L con un caudal de 0.288 L/s, donde al ser almacenada diariamente en 12 horas sedimentan las partículas o solidos que pasan a través de las tubería limpieza. La importancia de este compartimento es que permite la sedimentación de sólidos que pueden obstruir o malograr las tuberías, así mismo, reúne la cantidad suficiente de agua que debe ser impulsada hacia el siguiente componente. La sedimentación es el proceso de separación de un conjunto de partículas que se encuentran en suspensión en un fluido. En este caso, las partículas son discretas, no cambian sus características durante el proceso de sedimentación. Es el primer compartimento y uno de los más importantes ya que busca medir el caudal del agua que ingresa al sistema y se concentra en eliminar como primer paso todos los sólidos suspendidos en el agua y que son perceptibles al ojo humano, estos sólidos se caracterizan por ser de gran tamaño buscando reducir o eliminar los sólidos inorgánicos como las arenas.

En la segunda etapa se instaló el sistema de bombeo, con una tubería de succión he impulsión de 1 pulgada de diámetro, la bomba utilizada parara el sistema hidráulico fue de 1 HP, para impulsar un caudal de 2 L/s. El sistema de bombeo se muestra a continuación.

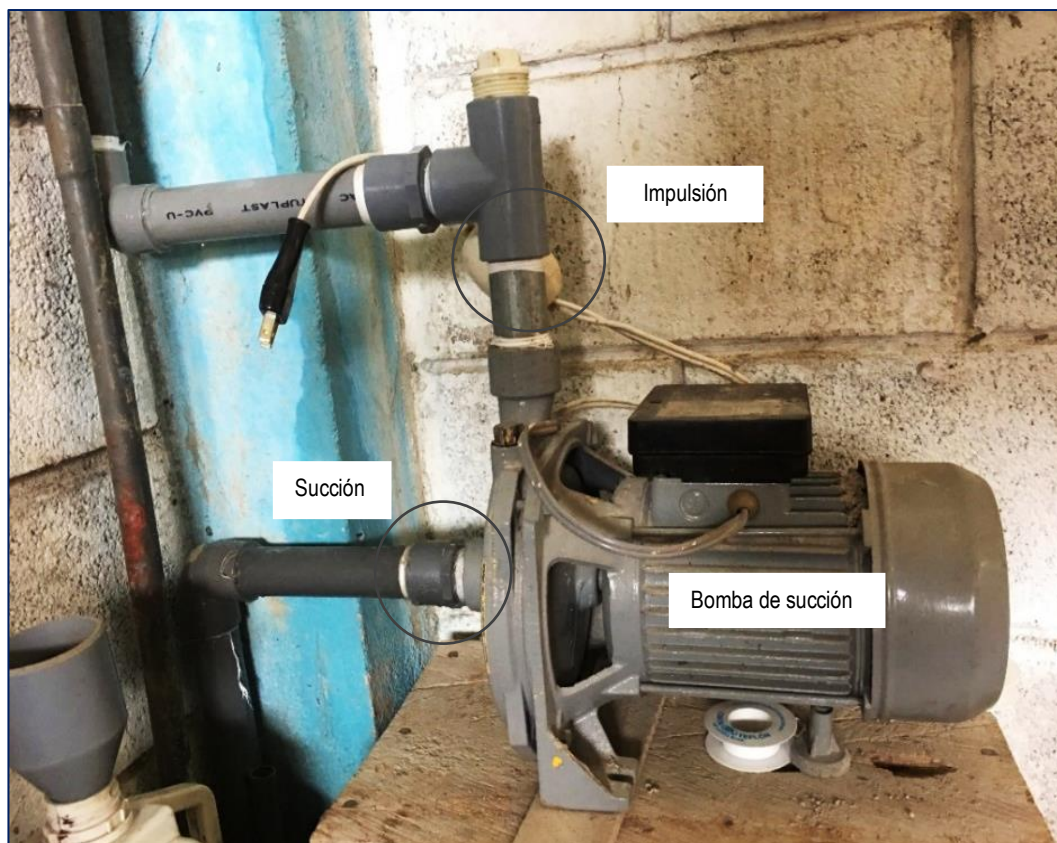


Figura 6. Bomba de succión del sistema hidráulico.

La bomba utilizada en el sistema cuenta con las siguientes características: tipo de fluido: Agua de pre- recolección (gris), temperatura de trabajo: 20°C - 30°C, caudal: 2 L/s, fuerza: 1 HP, diámetro de la tubería: 1"- 0.5" respectivamente.

La bomba utilizada esta descrita como la principal impulsora de las aguas grises hacia los siguientes componentes, como función principal es absorber el agua de la pre- recolección impediendo el paso de sólidos debido a una rejilla en la primera parte, por el tubo de 1 pulgada, con una longitud de 1.70 metros, e impulsarlo hasta una altura de 2.4 metros por una tubería de ½ pulgada, para que continúe el paso a los otros componentes del sistema.

La tercera etapa consistió en el diseño e instalación del tanque de almacenamiento y sedimentación, el Sedimentador es el primer componente de la planta de reutilización, su función es remover en un porcentaje los sólidos sedimentables de las aguas grises, antes de entrar al sistema de filtración. Tiene los siguientes accesorios: Tanque azul de 60 litros, tubería de ingreso de PVC de 2", tubería de salida de 2", llave de control del flujo de las aguas grises.

## Almacenamiento y sedimentación



Figura 7. Contenedores y filtro, (ver plano D-01).

El tanque de sedimentación y almacenamiento tiene una capacidad de 60 L, en cuyo costado tiene una llave que dirige el agua hacia el filtro a un caudal de 0.2 L/s, donde al llenarse pasa por el filtro de grava, arena y carbón del medio. El sedimentador es un componente que se encuentra después de la caja de pre-colección (donde se realiza el tratamiento biológico) y del sistema de bombeo. En esta unidad ocurre la separación de los sólidos en suspensión del efluente de agua gris sometido a tratamiento. Este sedimentador se diseñó con la finalidad de reducir la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ) y la concentración de sólidos en suspensión, antes de ser sometido al proceso de filtración.

Posteriormente se pasó al siguiente componente del sistema que consiste en un sistema de filtración, que consta de un sistema de lecho filtrantes que van a ayudar a remover la mayoría de los contaminantes del agua gris proveniente del tanque de almacenamiento y filtración. Las capas del lecho filtrante del sistema se muestran a continuación:





*Figura 8.* Primera capa del filtro.

La primera capa del filtro está constituida por piedra mediana de aproximadamente 4 pulgadas, el sistema de filtración consta de un tanque de tratamiento de polietileno cuya capacidad fue de 60L, con 71cm de altura y 21 pulgadas de diámetro. Se instaló un tubería de 2 pulgadas de diámetro perforada para regular la velocidad y presión del efluente de agua gris que ingresó al sistema, también cumplió la función de regular la entrada del agua de manera uniforme al sistema de filtración, el sistema de filtración tubo una primera capa de piedra media aproximadamente de 4 pulgadas con una altura de 0.20 m. El lecho filtrante de la primera capa fue debidamente acondicionada para dar consistencia a la filtración y pueda cumplir con la función al cien por ciento y permita además, dar el mantenimiento y limpieza adecuada a la estructura, cada que lo requiera. La piedra utilizada en esta capa fue debidamente seleccionada para que cumpla con las especificaciones requeridas para primer lecho filtrante.

La primera capa de lecho filtrante también permite un compartimento de limpieza inferior y como protector del tubo que impulsará el agua hacia arriba con presión

de las demás capas, así mismo, esta funciona como unidad espaciosa que permitiría el flujo del agua en la base del contenedor, así mismo no impiden el paso del agua, pero si retienen los sólidos que viajan en ella.



*Figura 9.* Segunda capa del filtro, constituida piedra chancada entre 2 y 3 pulgadas de diámetro.

La función principal es la adsorción de partículas y compuestos que inducen la turbiedad entre otros parámetros alterados, los cuales se adhieren a las partes planas de las piedras y quedan retenidas de esta forma. La segunda capa consta de piedra chancada comprendida en 2 y 3 pulgadas de diámetro con una altura de 0.15 m. El lecho filtrante de la segunda capa fue debidamente acondicionada para dar consistencia a la filtración y pueda cumplir con la función al cien por ciento y permita además, el paso de una tubería que conducirá el agua filtrada al tanque de almacenamiento. La piedra chancada utilizada en esta capa fue debidamente seleccionada para que cumpla con las especificaciones requeridas para esta etapa de filtración.





*Figura 10.* Tercera capa del filtro, la tercera capa del filtro de agua está constituida por gravilla.

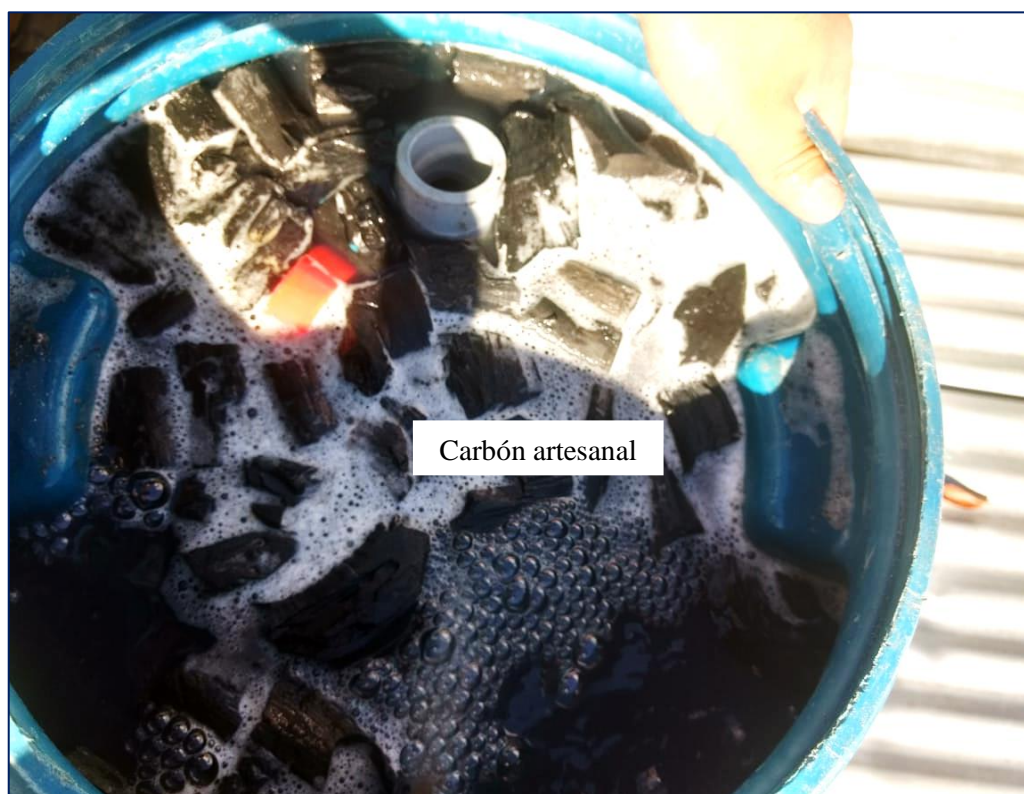
La filtración se efectuó después de la separación de la mayoría de los sólidos suspendidos por sedimentación, dependió de las características del agua. La cantidad de sólidos suspendidos en el agua a tratar es muy grande por eso no pasa directamente a la filtración, el filtro se saturaría muy rápidamente y es necesario su continua limpieza, ya que los ciclos de filtración son de poca duración. Si previamente se separan los sólidos sedimentables, la carga en el filtro disminuye, y se tiene una mejor operación y un proceso de remoción de sólidos suspendidos más eficiente. En este tipo de filtros, el agua fluye a través de un lecho de grava y arena. Las propiedades del medio, causan que el agua tome caminos erráticos y largos trayectos, lo cual incrementa la probabilidad de que el sólido tenga contacto con otras partículas suspendidas, y con el medio formado en la superficie del gránulo de gravilla o arena, de esta manera retenido entre el material filtrante. Este lecho filtrante cumple las mismas funciones de la grava, pero en mayor escala debido al menor tamaño, y con esto la retención mucho más del agua al pasar por esta capa. La tercera capa de medio filtrante se utilizó gravilla con una altura de 0.15m. En el interior del sistema de filtración se instaló una tubería de 2 pulgadas de diámetro de salida del agua filtrada.





*Figura 11.* Cuarta capa del filtro, constituida por arena.

Debe tener un diámetro que oscile entre 0,25 y 0,35 mm; la misma que hace las veces de campo filtrador y adsorbente para los líquidos y partículas no sedimentables del agua, la misma que permite el paso hacia las otras capas de grava y gravilla, debido a que el agua sin tratar contiene normalmente sólidos en suspensión. Los cuales son indeseables o perjudiciales para uso en aplicaciones domésticas. Los filtros de arena a presión eliminan las partículas finas. La cuarta capa del medio filtrante fue de arena de 0.25 a 0.35mm de diámetro con una altura de 0.06 m, la arena utilizadas en esta capa fue debidamente seleccionada para que cumpla con las especificaciones requeridas para esta etapa de filtración.



*Figura 12.* Capa de carbón del filtro, la quinta y última constituida por carbón artesanal que por sus distintas propiedades adherentes y porosas.

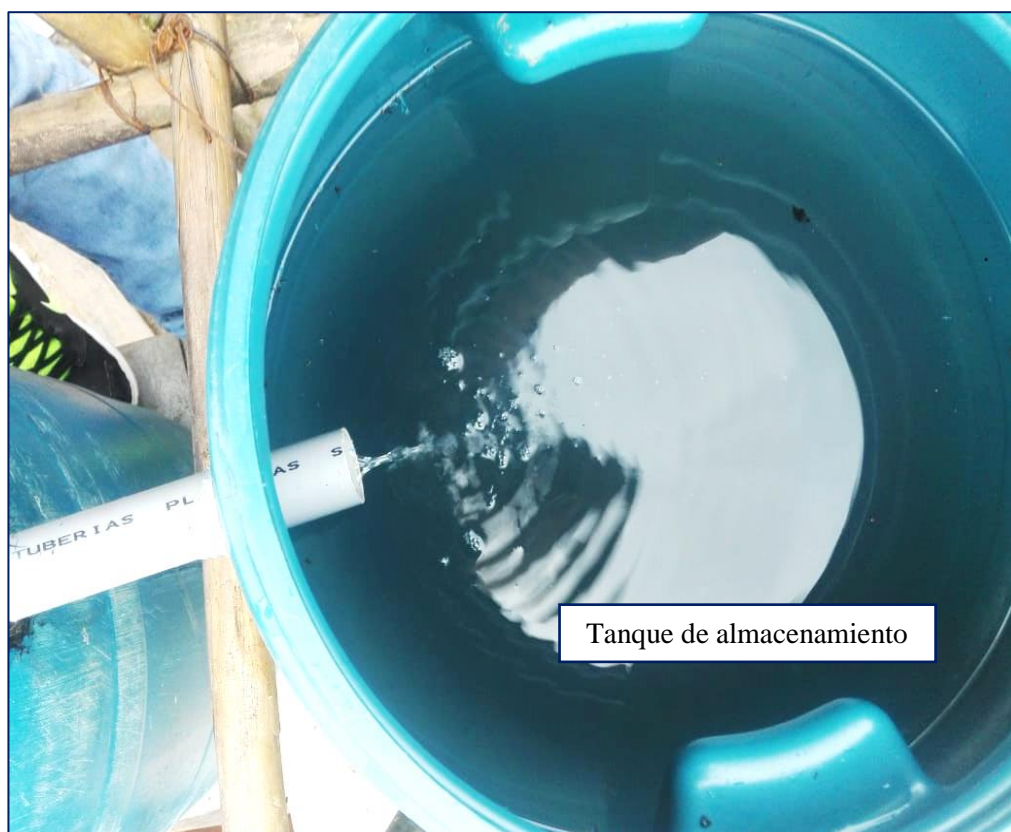
Las cuales permiten la adsorción de contaminantes especialmente removiendo, color, olor, nitratos, fosfatos esta capa es uno de las fundamentales para el paso del agua gris. Cabe resaltar que es la primera barrera donde se esparce el agua del sistema de retención. La última capa de medio filtrante fue de carbón artesanal con una altura de 0.21 m.

El filtro de carbón se diseñó para que funcione principalmente por el proceso de adsorción. La adsorción, lo que significa una interacción superficial entre las especies disueltas y el carbón, sin embargo, en el tratamiento de aguas contaminantes difusas en los poros de carbón (absorción) donde se unen a las superficies de carbón (adsorción). Esto ha llevado a un amplio uso del término no específico "sorción".

La porosidad y el área superficial grande de carbón proporcionan una multitud de sitios reactivos para la unión de compuestos disueltos. En estos sitios reactivos se

pueden unir los compuestos orgánicos disueltos no problemáticos, así como dirigidos contaminantes peligrosos.

Un poco de materia orgánica disuelta, presente en todas las aguas grises puede ocupar lugares en las superficies de carbón y con ello excluir los contaminantes de interés. Este problema en este diseño de filtros de carbón es mitigado por los procesos unitarios de la grava y filtro de arena que actúan para eliminar una parte sustancial de materia orgánica disuelta en el agua de la fuente antes de que se encuentre con el carbón. El principio es lograr un alto nivel de tratamiento antes del filtro de carbón, con el fin de "salvar el carbón" para la eliminación de compuestos problemáticos disueltos que pasan a través de las etapas de tratamiento anteriores.



*Figura 13.* Reservorio de agua filtrada, constituye el último componente del sistema.

En el que se llega a depositar el agua tratada, así mismo es el lugar donde semanal se vierte 60 mL de hipoclorito de sodio para su desinfección y matar algunas bacterias que puedan adherirse a las paredes del bidón y generar problemas biológicos infecciosos.

### 3.1.2. Caracterización de las aguas gris, antes y después del sistema hidráulico de reutilización.

Debido a la amplia gama de contaminantes, a los diferentes niveles de contaminación, así como a la cinética química de las sustancias, elementos, materia orgánica y microorganismos que se incorporan en el cuerpo de agua formando las aguas grises, se determinó las características físicas, químicas y biológicas del agua antes de ejecutar la alternativa de tratamiento y después de sistema hidráulico de recuperación de aguas grises.

Finalmente se buscó explicar en forma profunda y a la vez sencilla la complejidad del proceso utilizado en el sistema hidráulico, con el fin de que los profesionales de diversa formación que se encuentran laborando en este campo como ingenieros sanitarios, civiles, químicos y agrícolas, biólogos, geógrafos, arquitectos e incluso zootecnistas tengan una clara comprensión del tema y, de este modo, sirva de base para mejorar el modelo y aplicarlo en la solución a problemas concretos.

**Tabla 8**

*Análisis de laboratorio de las aguas grises antes del sistema hidráulico.*

Ítem	Parámetro	Unid	Ingreso	LMP
1	Temperatura	°C	23.8	<35
2	pH	pH	7.54	6.5-8.5
3	Sólidos Totales Disueltos	mg/ L	721	1000
4	Color	UPC	500	200
5	Nitratos	ppm	0.17	0.2
6	DBO <sub>5</sub>	mg/L	90	100
7	DQO	mg/L	112	200

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la tabla 8, se muestran el análisis de laboratorio de las aguas grises provenientes de la vivienda unifamiliar antes del sistema hidráulico de reutilización de aguas grises, las muestras fueron tomadas en la caja de pre-recolección, con fecha de 13/06/2018 y trasladadas con la cadena de custodia requerida al laboratorio de Biología y Química de la Universidad Nacional de San Martín, facultad de ecología; en los que se realizó en el análisis respectivo.



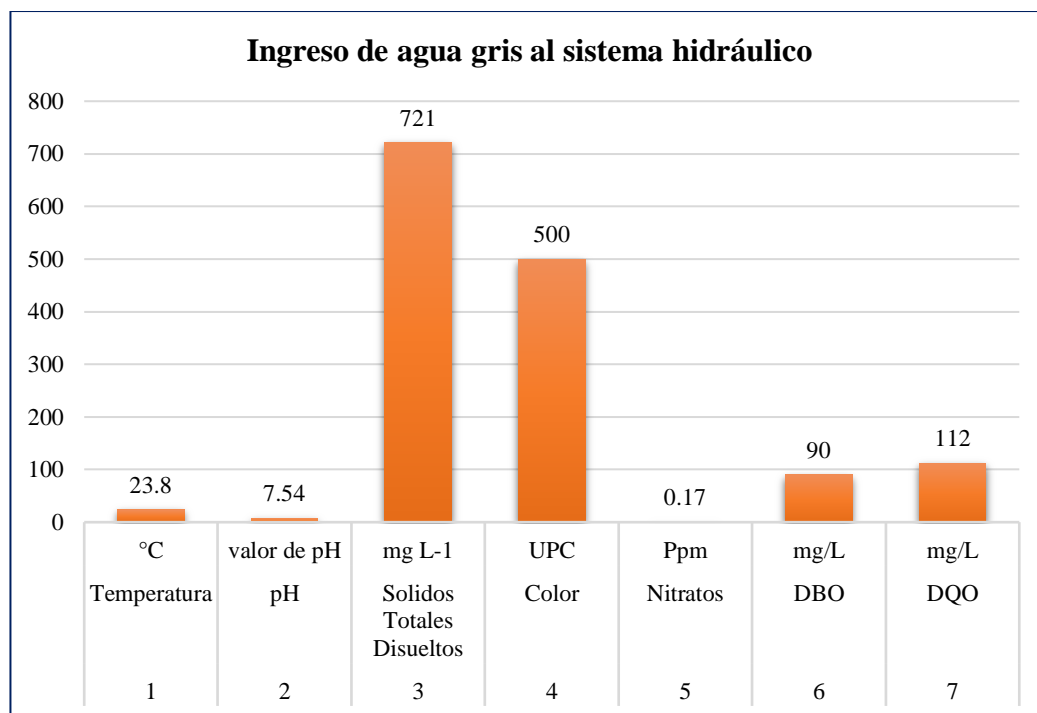


Figura 14. Caracterización de las aguas grises en la caja de pre- recolección.

Las aguas grises provenientes de las instalaciones sanitarias son las que se disponen directamente de la ducha, lavatorios y lavadora, las cuales son llevadas hasta una caja de pre-recolección (Figura 05) donde se realizó el muestreo para su caracterización; pudiendo ver que tiene una temperatura relacionada con el ambiente de 23.8 °C y cuyo valor de pH no se encuentra en el lado ácido y menos en el lado básico con 7.54 unidades; así mismo se puede observar la gran cantidad de solidos totales disueltos 721 mg/L que fundamentalmente está asociado a la disolución de partículas en todo el agua. Relacionado con el concepto gris está el color sumamente elevado de 500 unidades platino cobalto de color (UPC), así mismo los nitratos están elevado debido al uso de detergentes y lavavajillas en los lavatorios, cuyo valor se eleva y se observa con el 0.17 mg/L de nitrato, también por la gran cantidad y presencia de materia orgánica dispuesta por la comida en lavatorios, los valores de DBO<sub>5</sub> y DQO están con 90 y 112 respectivamente. Se observa que fundamentalmente los parámetros más elevados son el color, los nitratos y la demanda biológica de oxígeno junto con la demanda química de oxígeno y esto por la proveniencia de las actividades realizadas en cada instalación.

**Tabla 9**

*Análisis de laboratorio de las aguas grises semana 2 después del sistema hidráulico.*

Ítem	Parámetro	Unid	Salida (Semana 2)	LMP
1	Temperatura	°C	23.7	<35
2	pH	pH	7.12	6.5-8.5
3	Sólidos Totales Disueltos	mg/L	424	1000
4	Color	UPC	445	200
5	Nitratos	ppm	0.07	0.2
6	DBO <sub>5</sub>	mg/L	45	100
7	DQO	mg/L	47	200

Fuente: Elaboración propia, 2018

En la tabla 9, se muestran el análisis de laboratorio de las aguas grises provenientes de la vivienda unifamiliar después del sistema hidráulico de reutilización de aguas grises, las muestras fueron tomadas en el tanque de almacenamiento, con fecha de 20/06/2018 y trasladadas con la cadena de custodia requerida al laboratorio de Biología y Química de la Universidad Nacional de San Martín, facultad de ecología; en los que se realizó en el análisis respectivo.

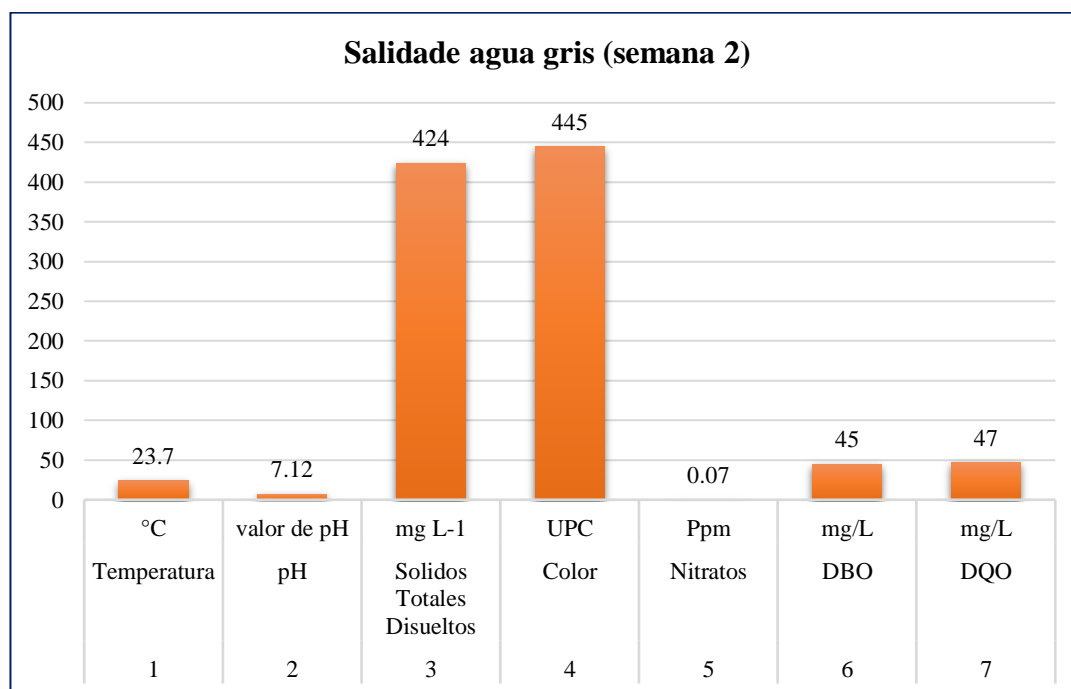


Figura 15. Caracterización del agua a la salida del sistema de recuperación (Semana 2).

El primer análisis de que se realizó a la salida del sistema de recuperación, se ha tomado muestra del reservorio justo después del filtro de grava y arena (como se muestra en la figura 13), cuyos valores se observan cómo es que este sistema ha procesado a tan solo dos semanas de instalación, en este caso se observa como el valor de pH 7.12 pudiendo decir que es un parámetro poco incrementado tanto al ingreso como a la salida; los sólidos totales disueltos también han bajado durante la segunda semana llegando hasta 424 mg/L desde lo que inicialmente se veía; el color también nos demuestran una baja progresiva al llegar hasta los 445 UPC, son los nitratos uno de los parámetros más elevados al ingreso y que a tan solo dos semanas ha obtenido los mejores resultados cuyo valor llego a ser 0.07 mg/L; la demanda biológica de oxígeno ha tomado importancia al ser reducida hasta los 45 mg/L cuyo valor se encuentra relacionado con la materia orgánica y con la acción de la demanda química de oxígeno el cual llego a medir 47 mg/L.

**Tabla 10**

*Análisis de laboratorio de las aguas grises semana 3 después del sistema hidráulico.*

Ítem	Parámetro	Unid	Salida (Semana 3)	LMP
1	Temperatura	°C	23.4	<35
2	pH	pH	7.02	6.5-8.5
3	Sólidos Totales Disueltos	mg/ L	415	1000
4	Color	UPC	315	200
5	Nitratos	ppm	0.05	0.2
6	DBO <sub>5</sub>	mg/L	41	100
7	DQO	mg/L	45	200

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la tabla 10, se muestran el análisis de laboratorio de las aguas grises provenientes de la vivienda unifamiliar, después del sistema hidráulico de reutilización de aguas grises, las muestras fueron tomadas en el tanque de almacenamiento, con fecha de 27/06/2018 y trasladadas con la cadena de custodia requerida al laboratorio de Biología y Química de la Universidad Nacional de San Martín, facultad de ecología; en los que se realizó en el análisis respectivo.

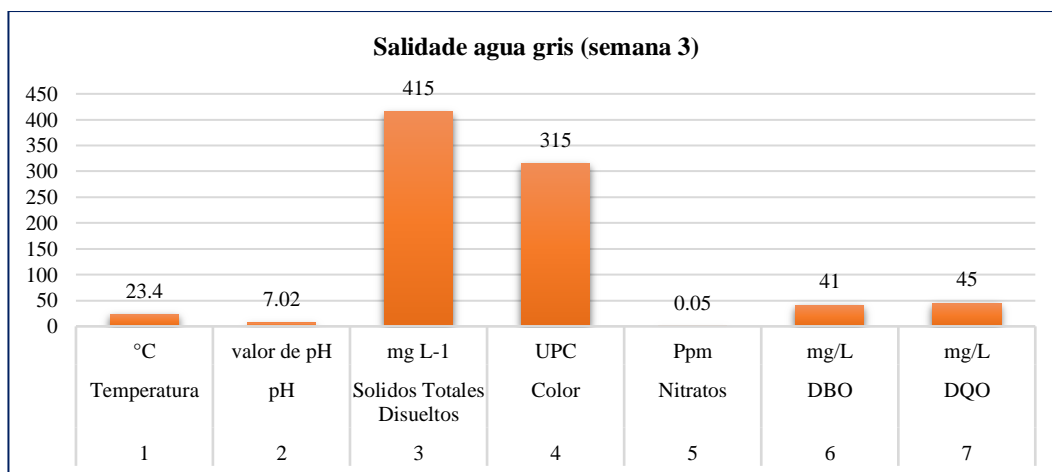


Figura 16. Caracterización del agua a la salida del sistema de recuperación (Semana 3).

El segundo análisis realizado a la salida del sistema de recuperación, cuyos valores se observan y demuestran cómo es que este sistema ha procesado a la tercera semana de instalación, en este caso se observa como el valor de pH es 7.02, es decir que es un parámetro poco afectado tanto al ingreso como a la salida y ha bajado poco en la tercera semana; los sólidos totales disueltos también han bajado durante la segunda y tercera semana llegando hasta 415 mg/L desde lo que inicialmente se veía; el color también nos demuestran al llegar hasta los 315 UPC, son los nitratos los que como al primer análisis habían bajado, este ha tornado un equilibrado valor bajo cerca al primer análisis con 0.07 mg/L; la demanda biológica de oxígeno ha tomado importancia al ser reducida hasta los 41 mg/L y la demanda química de oxígeno el cual llego a medir 45 mg/L.

### Tabla 11

*Análisis de laboratorio de las aguas grises semana 4 después del sistema hidráulico.*

Ítem	Parámetro	Unid	Salida (Semana 4)	LMP
1	Temperatura	°C	23.5	<35
2	pH	pH	7.05	6.5-8.5
3	Sólidos Totales Disueltos	mg/ L	312	1000
4	Color	UPC	200	200
5	Nitratos	ppm	0.05	0.2
6	DBO <sub>5</sub>	mg/L	30	100
7	DQO	mg/L	42	200

Fuente: Elaboración propia, 2018.



En la tabla 11, se muestran el análisis de laboratorio de las aguas grises provenientes de la vivienda unifamiliar después del sistema hidráulico de reutilización de aguas grises, las muestras fueron tomadas en el tanque de almacenamiento, con fecha de 04/07/2018 y trasladadas con la cadena de custodia requerida al laboratorio de Biología y Química de la Universidad Nacional de San Martín, facultad de ecología; en los que se realizó en el análisis respectivo.

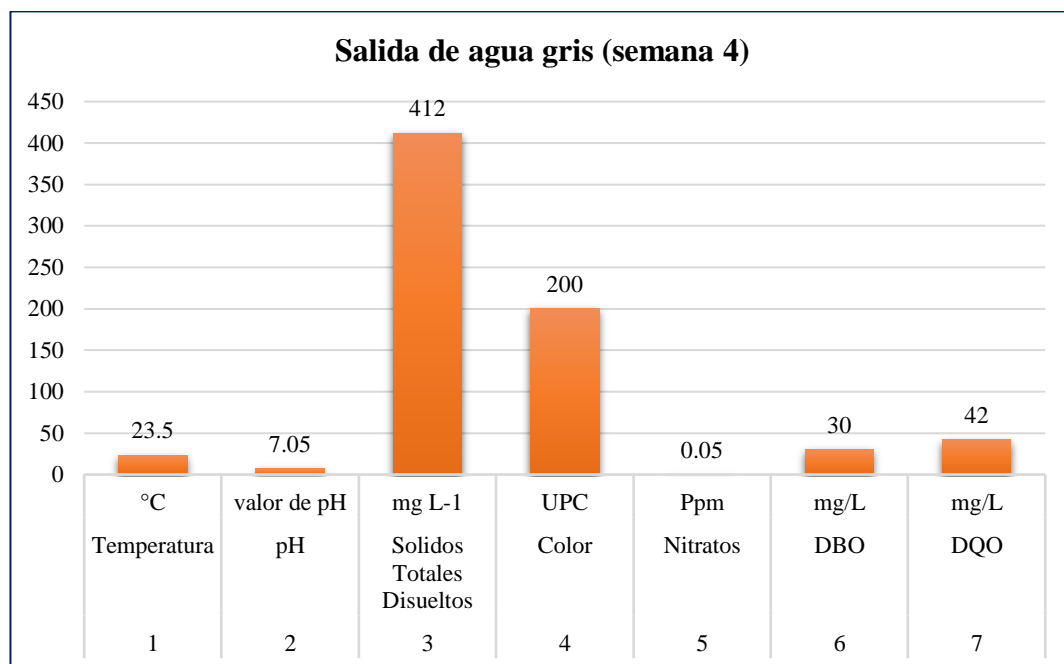


Figura 17. Caracterización del agua a la salida del sistema de recuperación (Semana 4).

El último análisis realizado fue a la cuarta semana cuyos valores se observan como una función cuya forma es decreciente al leerlas demuestran efectividad, es decir hasta la cuarta semana ha ido bajando los valores que se esperaba reducir, como el valor de pH que ha decrecido pero no de manera abrupta o total ya que es un parámetro poco afectado tanto al ingreso como a la salida; los sólidos totales disueltos también han bajado durante las cuarta semanas llegando hasta 412 mg/L desde lo que inicialmente se veía; el color también nos demuestran una baja progresiva al llegar hasta los 200 UPC, son los nitratos uno de los parámetros más elevados al ingreso y con el paso del tiempo han llegado con los mejores resultados cuyo valor hasta la cuarta semana llegó a ser 0.05 mg/L; la demanda biológica de oxígeno ha tomado importancia al ser reducida hasta los 30 mg/L cuyo valor se encuentra relacionado con la materia orgánica y con la acción de la demanda química de oxígeno el cual llegó en la cuarta semana a medir 42 mg/L.

### 3.1.3. Evaluación de la eficiencia del sistema hidráulico de recuperación de aguas grises.

**Tabla 12**

*Comparación con los LMP*

Parámetro	Unidad	Promedio	LMP
<b>Temperatura</b>	°C	23.5	<35
<b>pH</b>	valor de pH	7.1	6.5-8.5
<b>Sólidos Totales Disueltos</b>	mg/L	417.0	1000
<b>Color</b>	UPC	320.0	200
<b>Nitratos</b>	ppm	0.1	0.2
<b>DBO<sub>5</sub></b>	mg/L	38.7	100
<b>DQO</b>	mg/L	44.7	200

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la tabla 12, se muestran el análisis de laboratorio de las aguas grises un promedio de todos los parámetros, provenientes de la vivienda unifamiliar después del sistema hidráulico de reutilización de aguas grises, las muestras fueron tomadas en el tanque de almacenamiento, y trasladadas con la cadena de custodia requerida al laboratorio de Biología y Química de la Universidad Nacional de San Martín, facultad de ecología; en los que se realizó en los análisis respectivos. También, se muestra la comparación de estos con los límites máximos permisibles.

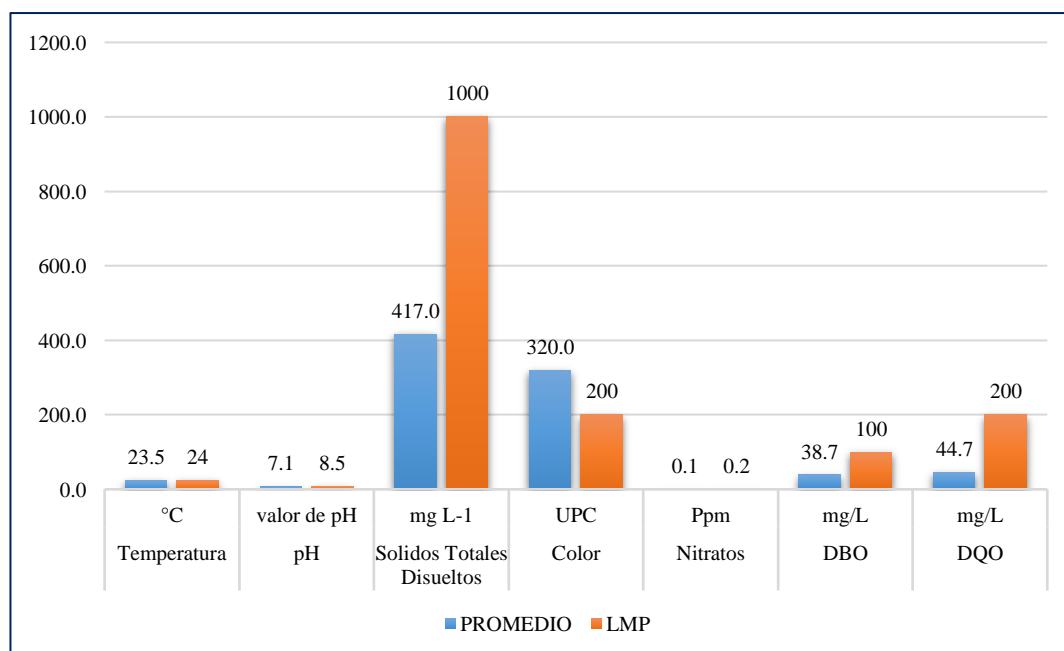


Figura 18. Evaluación permisible de los LMP.

La acción del sistema de recuperación de aguas grises evaluado dentro de cuatro semanas, indica resultados favorables al funcionamiento y acción del filtro de arena y grava utilizado en la presente investigación; se puede observar que la temperatura según los límites máximos debe ser menor de 35 °C por lo que se puede observar su equilibrio y control, así mismo para el valor del pH cuyo calor estable y dentro de los permitido por el límite máximo de 8.5 nos demuestra su poca acidez y basicidad en el agua; la reducción de solidos totales también es notable y en gran manera a lo permitido, lo mismo sucede para el nitrato cuya primera impresión fue alta pero se ha logrado detener, así mismo para los valores del DBO<sub>5</sub> y DQO, el valor que no cumplió con los LMP fue el color cuya función al bajar fue amplia pero en ese tiempo poco suficiente para llegar a cumplir con lo exigido en las normas de los Límites máximos permisibles para aguas residuales.

**Tabla 13**

*Caracterización acumulada de los parámetros*

<i>Clase</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>% acumulado</i>
0.2	3	14.29%
8.5	3	28.57%
24	3	42.86%
100	5	66.67%
200	1	71.43%
200	0	71.43%
1000	6	100.00%
y mayor...	0	100.00%

Fuente: Elaboración propia, (2018).

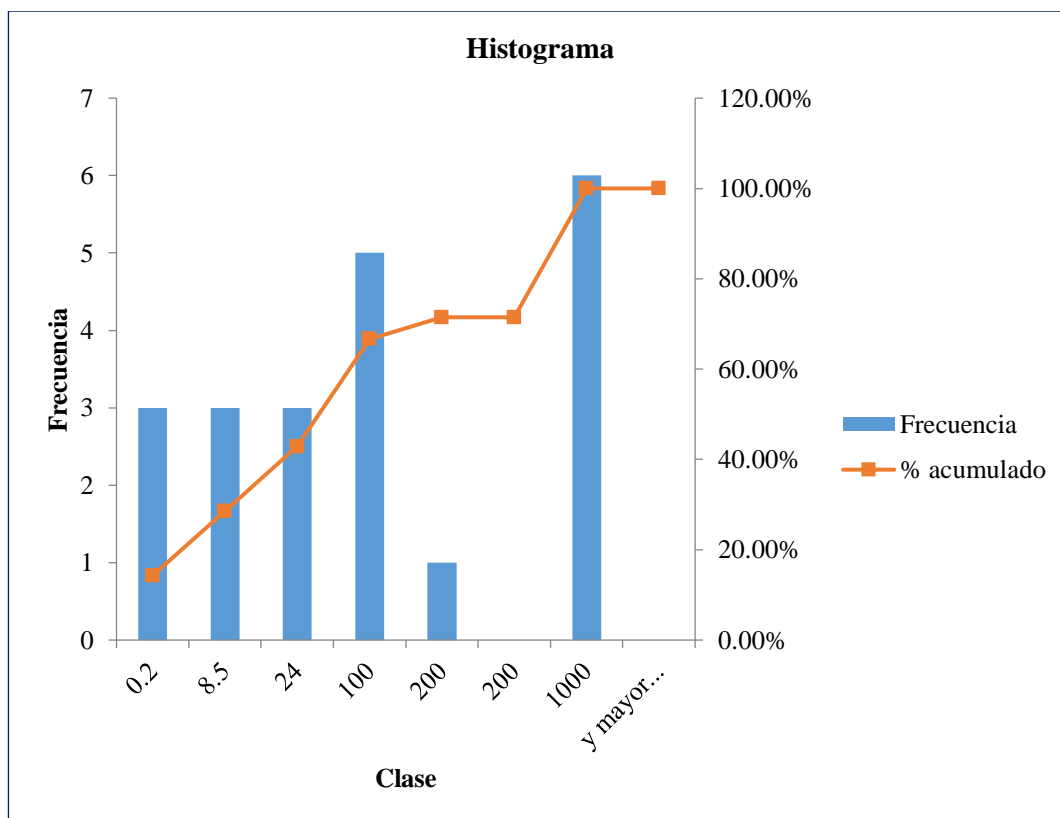


Figura 19. Caracterización acumulada de los parámetros.

El gráfico describe el comportamiento porcentual acumulado de los valores obtenidos en los análisis en las semanas 2, 3 y 4 para el referido tratamiento de aguas grises, se puede describir de manera colectiva y de acuerdo a la frecuencia, es decir a la cantidad de veces presente o recurrente y a la acumulación de las cantidades, así mismo hablamos de las clases diferenciadas en todos los valores deferidos como punto máximo y crítico para cada parámetro, así mismo se ha distribuido el valor de manera ascendente (por acumulación), donde como primer punto acumulado tenemos el valor de 0.2 que era para los nitratos, donde se puede verificar que solo hay tres valores menores e iguales a este, la misma cantidad de veces que para 8.5 de pH y el 24 °C que es para la temperatura, existe bastante acumulación en lo referido a los sólidos totales disueltos, donde se repite hasta las 6 veces e inclusive se puede decir que su acumulación es al 100 % siendo en este aspecto uno de los parámetros más altos y que deben ser removido por su notoriedad.

**Tabla 14***Eficiencia de remoción del sistema hidráulico a la Semana 2*

Ítem	Parámetro	Unidad	Ingreso	Salida (Semana 2)	% remoción
1	Temperatura	°C	23.8	23.7	
2	pH	valor de pH	7.54	7.12	
3	Solidos Totales Disueltos	mg/L	721	424	41.19
4	Color	UPC	500	445	11.00
5	Nitratos	ppm	0.17	0.07	58.82
6	DBO <sub>5</sub>	mg/L	90	45	50.00
7	DQO	mg/L	112	47	58.04

Fuente: Elaboración propia, (2018).

En la tabla 14, se muestran el análisis de laboratorio antes del ingreso al sistema hidráulico, muestreo realizado en la caja de pre-recolección, con fecha 13/06/2018, y análisis de laboratorio después del sistema hidráulico semana 2 con fecha 20/06/2018, los resultados muestran porcentajes de remoción muy favorable como es el caso de la DQO que muestra un 58.04 % de remoción, Nitratos 58.82 % de remoción, DBO<sub>5</sub> 50 % de remoción, solidos totales disueltos 41.19 % de remoción, siendo el Color el parámetro que muestra el porcentaje de remoción más bajo con un 11.00 %.

**Tabla 15***Eficiencia de remoción a la Semana 3*

Ítem	Parámetro	Unidad	Ingreso	Salida (Semana 3)	% remoción
1	Temperatura	°C	23.8	23.4	
2	pH	valor de pH	7.54	7.02	
3	Solidos Totales Disueltos	mg/L	721	415	42.44
4	Color	UPC	500	315	37.00
5	Nitratos	ppm	0.17	0.05	70.59
6	DBO <sub>5</sub>	mg/L	90	41	54.44
7	DQO	mg/L	112	45	59.82

Fuente: Elaboración propia, (2018).

En la tabla 15, se muestran el análisis de laboratorio antes del ingreso al sistema hidráulico, muestreo realizado en la caja de pre-recolección, con fecha 13/06/2018, y análisis de laboratorio después del sistema hidráulico semana 3 con fecha 27/06/2018, los resultados muestran porcentajes de remoción muy favorable como es el caso de la DQO que muestra un 59.82 % de remoción, Nitratos 70.59 % de remoción, DBO<sub>5</sub> 54.44 % de remoción, sólidos totales disueltos 42.44 % de remoción, siendo el Color el parámetro que muestra el porcentaje de remoción más bajo con un 37.00 %.

**Tabla 16**

*Eficiencia de remoción a la Semana 4*

Ítem	Parámetro	Unidad	Ingreso	Salida (Semana 4)	% remoción
1	Temperatura	°C	23.8	23.5	
2	pH	valor de pH	7.54	7.05	
3	Sólidos Totales Disueltos	mg/L	721	312	56.73
4	Color	UPC	500	200	60.00
5	Nitratos	ppm	0.17	0.05	70.59
6	DBO <sub>5</sub>	mg/L	90	30	66.67
7	DQO	mg/L	112	42	62.50

Fuente: Elaboración propia, (2018).

En la tabla 16, se muestran el análisis de laboratorio antes del ingreso al sistema hidráulico, muestreo realizado en la caja de pre-recolección, con fecha 13/06/2018, y análisis de laboratorio después del sistema hidráulico semana 4 con fecha 04/07/2018, los resultados muestran porcentajes de remoción muy favorable como es el caso de la DQO que muestra un 62.50 % de remoción, Nitratos 70.59 % de remoción, DBO<sub>5</sub> 66.67 % de remoción, sólidos totales disueltos 56.73 % de remoción, siendo el Color el parámetro que muestra el porcentaje de remoción más alto a esta semana con un 60.00 %.

### **Análisis estadístico Anova y Turkey**

Sabiendo que:

- 1) El tratamiento produce el mismo efecto en sus parámetros en el proceso semanal.

$$H_0: \tau_i = 0, \forall i$$

2) Frente a la alternativa: Los análisis de parámetros en las semanas difieren significativamente entre sí:

$$H_1: \tau_i \neq 0 \quad \text{por lo menos para algun } i$$

**Tabla 17**

*Análisis de varianza para las diferentes semanas*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	5496.50	2.00	2748.25	0.09	0.92	3.55
Dentro de los grupos	555551.56	18.00	30863.98			
Total	561048.06	20.00				

Fuente: Elaboración propia, (2018).

En la tabla anterior se puede observar el análisis de varianza mediante el cuadro de Anova estadístico, donde se deducen varios aspectos, encontramos los grados de libertad para los tres grupos es de 2, es decir la cantidad de veces independientes que se conocen para completar la cantidad de datos, los cuales son 21, pues fueron siete parámetros analizados en tres semanas consecutivas; y que dentro de los grupos por ser 18 los grados de libertad se pueden decir que han existido 18 respuestas diferentes para cada parámetro, así mismo se encontró que la probabilidad de que el valor de los parámetros analizados en las diferentes semanas sean iguales es nulo debido a que siguiendo un 95% de confianza y al ser la probabilidad mayor que 0.05, se reconoce esta diferencia que si existe, esta probabilidad se concuerda también con el valor de F.

**Tabla 18**

*Resumen del análisis*

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Semana 2	7	991.89	141.698571	40349.6655
Semana 3	7	846.47	120.924286	28899.0105
Semana 4	7	714.6	102.085714	23343.2506

Fuente: Elaboración propia, (2018).

Según se puede observar fueron siete parámetros analizados para cada semana hasta la cuarta semana, donde el valor más alto en suma y acumulación lo tiene la semana 2 con 991.89 cuyo promedio es 141.69, y se suman debido a que son los mismos siete parámetros analizados y aunque tienen diferentes concentraciones estos valores pueden llegar a ser diferenciados de forma grupal al tener un valor sumado diferente, independientemente de que haya algún parámetro que subió o descendió, del cual hasta la última semana se observa cómo va descendiendo tanto en la suma como el promedio de 102.08, así mismo descrito tal cual donde la variabilidad menor también es para los datos de la última semana son los mejores.

**Tabla 19**

*Prueba de hipótesis*

Nivel de confianza del 95 %			
<b>¿Será que existe diferencia significativa de los parámetros en las semanas?</b>	Valor F	valor P	sí/no
	0.08904388	0.91520585	SI

Fuente: Elaboración propia, (2018).

Según el cuadro resumen de anova se deduce que los datos registrados para las tres semanas analizadas son significativamente diferentes según lo observado en el siguiente cuadro, utilizado un 95 % de confianza, y por lo tanto rechazando la hipótesis nula para aceptar la alterno que dice los análisis de los parámetros en las semanas difieren significativamente en sus resultados, según la probabilidad o prueba p es mayor que 0.05 también se puede decir que según el resumen la varianza de resultados entre grupos de semanas es mayor para la primera y la última semana, comparado con los resultados variables dentro de grupos que es lógico debido a los diferentes parámetros dentro de cada análisis.

### **Análisis de prueba Turkey**

Utilizando la tabla de prueba Q de acuerdo a los grados de libertad obtenidos anteriormente se tiene:



**Tabla 20***Tabla de Q alfa valor*

Q alfa valor		
	Nivel de Confianza	3 grupos
Grados de libertad 18	0.05	3.59
	0.01	4.67

Fuente: Elaboración propia, (2018).

Se ha elegido en la tabla de Turkey el valor para los 18 grados de libertad y la columna de los 3 grupos, donde se observan los dos datos para 99 % de confianza y el 95 % de confianza y como estamos trabajando al 95 % de confianza se tomó el valor de 3.59 porque el 95 % de confianza.

**Tabla 21***Análisis de prueba Turkey*

Análisis de Turkey	
HSD (Diferencia Honestamente Significativa)	238.380849
Multiplicador	3.59
MSE (Cuadrado de error medio)	30863.9755
N (Número de elementos de cada grupo)	7

Fuente: Elaboración propia, (2018).

Para calcular la diferencia honestamente significativa, se necesita calcular el multiplicador que es el valor jalado directamente retirado del valor de Q alfa en el cuadro anterior, así mismo para calcular el cuadrado del error medio se calcula el valor de la suma de cuadrados entre el valor de los grado de libertad, así mismo N significa la cantidad de parámetros que hay por cada grupo, todos estos datos se utilizan para determinar la diferencia honestamente significativa cuyo valor es 238.38 , es decir para poder ser notorio o altamente diferente debe ser igual o superior al valor encontrado.

De esta manera se deduce:

	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Semana 2		20.7742857	39.6128571
Semana 3			18.8385714
Semana 4			

Fuente: Elaboración propia, 2018.

De acuerdo al resultado anterior la diferencia honestamente significativa debe ser mínimo 238.38 para llegar a ser significativamente diferente, y como en todo los valores son mucho menores, quiere decir que no existe diferencia netamente significativa, por lo cual se deduce que la mayor diferencia existente esta entre la semana 2 y la semana 4 de los parámetros analizados, seguido de la segunda mayor diferencia que se da entre la semana 2 y la semana 3 y por lo que se describe luego la reducción de valores es progresivamente lenta es por eso que la diferencia ultima entre la semana 3 y la semana 4 es de 18.84.

### **3.2. Discusiones**

Para Díaz y Ramírez (2016), sus resultados fueron bastante optimistas y las personas mostraron gran agrado a la idea del proyecto debido a que la vieron como solución exitosa al desperdicio y mal uso del recurso hídrico y sobre todo como una expectativa de ahorro en la factura de agua. Bueno entre las diferencias con este informe, es que también se realizó el aprovechamiento del agua desde casa y con un sistema más pequeño con capacidad de 60 litros, captada directamente el agua residual logrando diseñar y plasmar un sistema de filtración para mejorar el agua, en la anterior investigación se llegó a lograr la captación de aguas lluvias para dar un mejor provecho al sistema; que el sistema se conecte los inodoros del hogar para evitar el desperdicio de agua potable en el hogar.

En la presente investigación, se logró diseñar y recrear un sistema de circulación de aguas grises, con el objetivo de mejorar la utilización de aguas, al igual que Espinal et. al (2014), en su investigación también propone un sistema de reciclaje de aguas grises, cuyo principal objetivo es el diseño y simulación que permita volver a utilizar este tipo de aguas, para lo cual fue necesario la ubicación de los principales puntos de captación en el hogar desde donde se pueden obtener aguas grises, procedentes de lavados en general, después se observan los resultados, los cuales cumplen con las expectativas esperadas, llegando a cumplir lo esperado en el sistema actual donde se observó su progresivo mejoramiento. Bermejo y Echerrí, (2012) prepararon un sistema de tratamiento de aguas grises urbanas, de esta forma concluyeron: Los rendimientos de eliminación de los principales parámetros estudiados fueron superiores al 94% para DQO, en cuanto al sistema de tratamiento de aguas grises se logró mejorar hasta más de

un 50 % de la remoción del DQO, al 97% para DBO<sub>5</sub> y en cambio ha llegado hasta más de 60 % en este, pero así como se observó buenos resultados en este tratamiento para los sólidos es mucho menos eficiente. Por su parte los rendimientos de eliminación de nutrientes oscilaron entre el 57% y 90% para nitrógeno total y entre el 5% y el 56% para fosforo total. Coincidiendo con ello también se logró reducir el nitrógeno a un porcentaje del 90 %. Además, a lo largo del tratamiento se produce un incremento de la concentración de oxígeno disuelto O<sub>2</sub>, lo que realmente no se medido actualmente, pero se logra deducir su aumento a la reducción del DBO<sub>5</sub>, finalmente se coincide con la investigación diciendo que la calidad de efluente desde el punto de vista físico-químico, es adecuado para el uso del regadío en las zonas verdes y cumple con la directiva reglamentaria.

En la investigación que realizo Calderón en el año 2014 sobre el funcionamiento de un biodigestor llego a determinar que el biodigestor comercial tiene similar eficiencia tanto en su fase inicial, como a cinco años de funcionamiento sin discrepar el funcionamiento de los biodigestores podemos hablar del diseño actual de la investigación donde se recalca el funcionamiento progresivo y mejorado de un sistema de tratamiento para aguas grises; Calderón evaluó esta eficiencia de 97 % de remoción de sólidos sedimentables y DBO<sub>5</sub> del 57 %. Lo que concordamos con la actual investigación llegando a removerse en mayor proporción la demanda biológica de oxígenos y los sólidos sedimentables, aunque en poca proporción los sólidos suspendidos y esto en 4 semanas de análisis.

Se discrepa con el diseño del tratamiento de uso de aguas residuales domesticas de Méndez, (2010) que tiene por objetivo principal: Proponer un modelo socio económico de decisión sobre el uso de las aguas residuales domésticas tratadas con fines productivos y de servicio debido a que esta necesita de grandes espacios para sus depuración, se habla de tratamientos básicos pero de gran magnitud por lo tanto diferente a la evaluada en esta investigación, aunque los fines también son usarlo para riego de parques y jardines se propuso en la actualidad usarlo para los inodoros nuevamente, es como un sistema de recirculación al alcance de un hogar y no de una institución mucho más grande que demostraría eficiencia también.

Se construyó tres compartimentos de pre filtro, filtro y el post filtro, cuyos compartimentos están en base a la composición cilíndrica de los tanques cuya capacidad

es de 60 litros, para Ballón y Palomino (2007). Se construyeron dos reactores de vidrio cada uno con sus respectivos sedimentador secundario como eficiencia de remoción de demanda bioquímica de oxígeno al quinto día ( $DBO_5$ ) de 69.66% y 49.06% en el reactor N°1 y N°2 respectivamente. Debido a la baja eficiencia de remoción se aplicó como segunda condición una tasa de oxigenación de 0.062 g  $O_2$ /h, obteniéndose una eficiencia de remoción de  $DBO_5$  del 84.7% en el reactor N°1 y 86.35% en el reactor N°2, para la presente se obtuvo una serie de análisis realizado a los 14 días de su funcionamiento, cuya eficiencia de remoción supera los 50 % para la demanda biológica de oxígeno y para la demanda química, no se administrado otro tipo de compartimento debido a que se observó al pasar las semanas mejores resultados, aunque dentro de la cuarto y tercer semana iban bajando los cambios pero igual iban en progreso.

## CONCLUSIONES

Se ha logrado diseñar y aplicar un sistema de tratamiento de aguas grises conformado por: sistema de separación de aguas grises, caja de pre-recolección, sistema de bombeo de aguas grises, sistema de tratamiento (sedimentador, filtro de piedra, piedra chancada, gravilla, arena y carbón artesanal), y finalmente un tanque de almacenamiento, desde donde se enviaba directamente a los inodoros.

La utilización de un sistema de tratamiento con recirculación logró disminuir hasta más de 288 litros diarios en la utilización de agua procedente de las tuberías de agua potable.

La caracterización de las aguas grises en la vivienda unifamiliar son la temperatura relacionada con el ambiente de 23.8 °C, pH con 7.54 unidades; así mismo la gran cantidad de sólidos totales disueltos 721 mg/L, 500 unidades platino cobalto de color (UPC), 0.17 mg/L de nitrato, DBO<sub>5</sub> y DQO están con 90 y 112 respectivamente.

Los resultados finales indican remoción desde el 50 al 70 % de los contaminantes así pues en la cuarta semana se registraron los siguientes datos: 7.05 pH que ha decrecido, pero no de manera abrupta, los sólidos totales disueltos 412 mg/L, 200 UPC, son los nitratos con los mejores resultados 0.05 mg/L; la demanda biológica de oxígeno llegó hasta los 30 mg/L y la demanda química de oxígeno a 42 mg/L.

La conclusión estadística nos dice que existe diferencia honestamente significativa entre el paso de las semanas, comparadas con las iniciales que, si es notorio el cambio, la mayor eficiencia existente esta entre la semana 2 y la semana 4 de los parámetros analizados.

## RECOMENDACIONES

A los estudiantes y tesistas se recomienda programar en mayores tiempos antes del uso continuo del agua, y en la utilización del sistema incluir la utilización de hipoclorito de sodio como desinfectante semanal, que van de 60 mL para cada 60 L.

A las personas interesadas en utilizar este tipo de tecnologías de tratamiento de aguas grises, se recomienda para diseñar correctamente abarcar totalmente la utilización de pendientes y distancias dentro de un hogar, pues de no ser así, se tendría que abarcar bombas para generar presión.

A las autoridades locales, se recomienda utilizar este tipo de tecnologías de tratamiento de aguas grises en lavanderías, instituciones y localidades que carecen de tratamiento de aguas residuales donde se haga uso constante y abundante del agua.

A las personas interesadas en esta tecnología de tratamiento de aguas grises, para cada domicilio o lugar comercial debe tomar en cuenta los parámetros antes de enviarlos directamente a las redes de alcantarillado, debido a que malogran las tuberías.

A las personas que cuentan con restaurantes, y estén interesadas en utilizar este sistema, se recomienda instalar un sistema atrapa grasas, debido a que este provoca problemas de estancamiento en la infraestructura utilizada.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen L. (2015).** *Manual de diseño para manejo de aguas grises. Greywater Action.*  
Recuperado de: <https://greywateraction.org>
- Asenjo C. (2017).** *Tratamiento de aguas grises. Ingeniería Civil en Hidrología. I Agua.* Recuperado de: <https://www.iagua.es/blogs>
- Ballón y Palomino (2007).** *Tratamiento de aguas residuales por procesos de biopelícula.* (Tesis para obtener el título profesional). Universidad Nacional de Ingeniería. Perú.
- Bermejo D. y Echarry V. (2012).** *Reutilización de aguas residuales domésticas. Estudio y comparativa de tipologías edificatorias: depuradoras naturales como alternativa sostenible.* Universidad de Alicante. España.
- Calderón A. (2014).** *Evaluación de la eficiencia de biodigestor comercial en el tratamiento de aguas residuales domiciliarias.* (Tesis para el grado). Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.
- CEPIS – OPS (2002).** *Sistemas Integrados de Tratamiento de aguas Residuales en América Latina, Guía para la formulación de Proyectos, Moscoso, Julio, Egocheaga, Luis, Ugas, Roberto y Trellez, Eloisa; CEPIS – OPS – CIID*
- Díaz J.J., y Ramírez L.Y. (2016).** *Diseño de un sistema de tratamiento y reutilización del agua de la lavadora aplicado a los hogares de Bogotá D.C.* Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Colombia.
- Espinal C.M., Ocampo D., Rojas J.D. (2014).** *Construcción de un prototipo para el sistema de reciclaje de aguas grises en el hogar.* Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia.
- Fernández J. (2009).** *Guía para la utilización de las aguas grises de lavamanos en establecimientos educacionales,* (Segunda Edición). Chile 2009.

- García J. (1982).** *El reúso del Agua y sus Implicaciones. Manuscrito Inédito. Vanderbilt University.* Estados Unidos: Edita. (En red). Recuperado de: [www.mty.itesm.mx/die/ddre/transferencia/Transferencia52/eli4-52.html](http://www.mty.itesm.mx/die/ddre/transferencia/Transferencia52/eli4-52.html)
- Gobierno Regional de San Martín (2017).** *Plan estratégico Institucional del Gobierno Regional de San Martín 2018-2020.* Gerencia Regional de Planeamiento y Presupuesto. Perú.
- Imhof y Muhlemann (2005).** *Greywater treatment on household level in developing countries.* Recuperado de: [http://www.nccr-north-south.unibe.ch/publications/Infosystem/Online%20Dokumente/Upload/Imhoff\\_Muhlemann\\_Morel\\_2004\(1\).pdf](http://www.nccr-north-south.unibe.ch/publications/Infosystem/Online%20Dokumente/Upload/Imhoff_Muhlemann_Morel_2004(1).pdf)
- LEY N° 28611.- LEY GENERAL DEL AMBIENTE (2013).** *Autoridad Nacional del Agua/ Ministerio del Ambiente.* Perú.
- LEY N° 29338 – LEY DE RECURSOS HÍDRICOS (2010).** *Decreto Supremo N° 001-2010-AG.* Autoridad Nacional del Agua. Perú.
- Mamani y Santos (2015).** *Evaluación de biodigestor de polietileno rotoplast en el tratamiento de aguas residuales domésticas y propuestas de diseño de biofiltro en la comunidad de Oquebamba-Espinar.* (Tesis para obtener el grado). Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Perú.
- María. V. Franco A. (2007).** *Tratamiento y reutilización de aguas grises con aplicación acaso en Chile.* (Tesis para obtener el grado). Universidad Tecnológica de Pereira. Chile.
- Méndez M. y Fortunato V. (2010).** *Propuesta de un modelo socio económico de decisión de uso de aguas residuales tratadas en sustitución de agua limpia para áreas verdes.* (Tesis de investigación). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima Perú.
- Metcalf & Eddy. (1996).** *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento Vertido y Reutilización: Mc Graw-Hill.* México.



- MINAM (2010).** *Aprobación de Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (PTAR).* Diario El Peruano. Lima. Perú.
- Moreno J.A. (2013).** *Diseño de planta de tratamiento de agua de osmosis inversa para la empresa DOBER OSMOTECH de Colombia LTDA.* Generación de conceptos. Universidad autónoma de occidente. Santiago de Cali. Colombia.
- Nina R.S. (2015).** *Evaluación de biodigestor de polietileno rotoplast en el tratamiento de aguas residuales domésticas y propuestas de diseño de biofiltro en la comunidad de Oquebamba-espinar.* Primera Ed. Puno (Perú).
- OEFA – Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2014).** *Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales.* Ministerio del Ambiente. Perú.
- Palacios F. (1991).** *Proyecto Ecológico e hidráulico de Tratamiento de Aguas Residuales.* Primera Ed – Lima (Perú).
- Palomino G. y Ballón M. (2007).** *Tratamiento de aguas residuales por procesos de biopelícula.* Universidad Nacional de Ingeniería. Lima Perú.
- Raluy, A. (1991).** *Diccionario Porrúa de la Lengua Española.* (Trigésimo segunda Edición). México: Edita.
- RNE, (2006).** *Reglamento Nacional de Edificaciones. Dotaciones de consumo de agua según regiones: Costa, Sierra y Selva.* Perú.
- RNE. (2006).** *Reglamento Nacional de Edificaciones, DS N°011-2006-Vivienda, OS.090 Plantas de tratamiento de agua residual.* Perú.
- RNE (2017).** *Reglamento Nacional de Edificaciones. OS.010 Captación y conducción de agua para consumo humano.* Perú.
- Reglamento Nacional de calidad de agua para consumo humano. (2011).** *D.S. N° 031-2010-SA /Ministerio de Salud.* Dirección General de Salud Ambiental; 2011. 44 p.; ilus. Lima, Perú.

- Romero J.A. (2000).** *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño.* Primera edición. Santafé de Bogotá: Editorial escuela colombiana de ingeniería.
- Salazar, D. (2003).** *Guía para el Manejo de Excretas y Aguas Residuales Municipales.* Manuscrito Inédito, PROARCA / SIGMA. Guatemala: Edita
- Seoánez M. (2004).** *Depuración de las aguas residuales por tecnologías ecológicas de bajo costo.* Madrid. España: Mundi-Prensa.
- Sierra, C. (2011).** *Calidad del Agua: Evaluación y Diagnostico.* (1a ed.) Ediciones de la U. Universidad de Medellín, Medellín, Colombia.
- Soliclima. (2017).** Energía solar. Recuperado de: < <http://www.soliclima.es/aguas-grises>
- SIGMA (2009).** *Guía para el Manejo de Excretas y Aguas Residuales Municipales.* Manuscrito Inédito, PROARCA / SIGMA. Guatemala: Edita
- Torres C. (1994).** *Proyecto de una planta de tratamiento de aguas residuales domesticas para reúso del agua en la agricultura* (Tesis de grado). Universidad Autónoma de Nuevo León. México.
- Wachsman, M. (2006),** *Aplicación de diferentes técnicas de recuento para bacterias de importancia sanitaria.* Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Buenos Aires, Argentina.

## **ANEXOS**













## ANEXO "F": PANEL FOTOGRÁFICO.

**Foto N° 1:** Vivienda familiar, en la que se instaló el sistema hidráulico de recuperación de aguas grises.



**Foto N° 2:** Caja de pre-recolección de aguas grises provenientes de la vivienda familiar.



**Foto N° 3:** Accesorios utilizados en la instalación de la caja de pre-recolección.



**Foto N° 4:** Electro bomba utilizada en el sistema hidráulico.



**Foto N° 5:** Sistema hidráulico, instalado en la vivienda familiar.



**Foto N° 6:** Sedimentador de aguas grises instalado en la vivienda familiar.



**Foto N° 7:** Filtro de aguas grises instalado en la vivienda familiar.



**Foto N° 8:** Filtro de aguas grises instalado en la vivienda familiar.



**Foto N° 9:** Filtro de aguas grises instalado en la vivienda familiar.



**Foto N° 10:** Tanque de almacenamiento de agua filtrada.





**Foto N° 11:** Instalación del agua gris filtrada, al inodoro con su llave control.



**Foto N° 12:** Toma de muestras de agua gris, para los análisis de laboratorio.



**Foto N° 13:** Análisis de laboratorio de las muestras de aguas grises.



**Foto N° 14:** Acompañamiento del asesor para los análisis de laboratorio.



## ANEXO "G": REGISTRO DE FOROS DE AGUA GRIS

## REGISTRO DE AFOROS DE AGUA GRIS

FUENTE	AGUA GRIS	COORDENADAS UTM DATUM WGS-84
LOCALIDAD :	JEPELACIO	ESTE : 287908.82
DISTRITO :	JEPELACIO	NORTE : 9324506.98
PROVINCIA :	MOYOBAMBA	ALTURA : 1056.00 m.s.n.m.
DEPARTAMENTO :	SAN MARTIN	

## Medición de Caudal : Metodo volumetrico

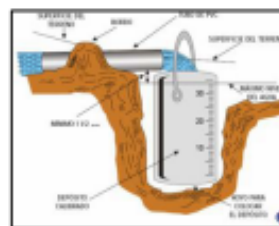
Requerimiento para el aforo:



Balde graduado (3 L)



Reloj cronometro



Estructura de aforo

## Tiempo de Llenado

MUESTRA	VOLUMEN DE RECIPIENTE (lt)	TIEMPO (seg)
1	3.00	10.70
2	3.00	11.00
3	3.00	10.30
4	3.00	10.40
5	3.00	10.10
6	3.00	10.00
Prom.	3.00	10.417

Para el cálculo del caudal se ha utilizado la siguiente formula:

$$Q = V/T$$

Donde:  
 Q = caudal  
 T = Tiempo de Llenado en segundos  
 V = Volumen de llenado (Litros)

Entonces : Caudal (Q) = 0.288 lt/s

Factor de corrección (n): 1.00

Caudal (Q) = 0.288 lt/s

Aplicando la formula dio como resultado:

0.288 lt/s Que viene a ser el caudal de las aguas grises recolectadas

**ANEXO “H”: AUTORIZACIÓN PARA USO DE VIVIENDA FAMILIAR**

*“Año del buen servicio al ciudadano”*

Moyobamba, 20 de octubre de 2017

**CARTA N°001 -2017 /KRL**

**Tec Elec. VICTOR POQUIZ CASIQUE**

Propietario de la vivienda.

**JEPELACIO. -**

**ASUNTO: APOYO PARA LA EJECUCION DE PROYECTO DE TESIS**

Grato es dirigirme a usted, para saludarle cordialmente y al mismo tiempo solicitar su apoyo con su domicilio para instalar un sistema hidráulico para la ejecución de la Tesis titulada **“Diseño y aplicación de un sistema hidráulico de reutilización de las aguas grises, para disminuir el consumo de agua potable en una vivienda familiar en el distrito de Jepelacio – 2017”**.

Sin otro particular, a la espera de su gentil atención y trámites que corresponda, me suscribo de usted.

Atentamente

  
\_\_\_\_\_  
**KARY ROJAS LÓPEZ**  
**TESISTA**

  
Recibido: 24/10/2017  
10.00 AM.