

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**TESIS**

**“MEJORAMIENTO DE CALIDAD DE AGUAS GRISES  
PROVENIENTES DE LAVADO DE ROPA CON DETERGENTES  
APLICANDO MATERIALES FILTRANTES CON Y SIN  
ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN EL DISTRITO DE POCOLLAY  
(FUNDO SOBROYA)”**

**PARA OPTAR:**

**TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. ELIZABETH MAGALY HUANACUNI CUTIPA**

**TACNA – PERÚ**

**2021**

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Tesis**

**“MEJORAMIENTO DE CALIDAD DE AGUAS GRISES  
PROVENIENTES DE LAVADO DE ROPA CON DETERGENTES  
APLICANDO MATERIALES FILTRANTES CON Y SIN  
ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN EL DISTRITO DE POCOLLAY  
(FUNDO SOBROYA)”**

**Tesis sustentada y aprobada el 13 de octubre de 2021, estando el jurado calificador integrado por:**

**PRESIDENTE: Mtra. MILAGROS HERRERA REJAS**

**SECRETARIO: Mtra. MARISOL MENDOZA AQUINO**

**VOCAL: Mtro. RICARDO WILLIAM NAVARRO AYALA**

**ASESOR: Dr. RICHARD SABINO LAZO RAMOS**

## Declaración Jurada de Originalidad

Yo, Elizabeth Magaly Huanacuni Cutipa, en calidad de bachiller de la Escuela de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado(a) con DNI 71399265

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor (a) de la tesis titulada:

*“Mejoramiento de calidad de aguas grises provenientes de lavado de ropa con detergentes aplicando materiales filtrantes con y sin energía fotovoltaica en el distrito de Pocollay (Fundo Sobraya)”*

la misma que presento para optar el:

*Título Profesional de Ingeniero Ambiental*

2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a *la universidad* cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a *la universidad* y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro y/o invento. De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 13 de octubre del 2021



---

Bach. Elizabeth Magaly Huanacuni Cutipa

DNI 71399265

## DEDICATORIA

*A Dios,*

Por darme la vida, por presentarme a las personas correctas e incorrectas para hacerme más fuerte, porque Él siempre tiene un plan para todo.

*A mis padres y hermana*

Por ser la base de mi formación, experiencia, y darme todo su cariño, apoyo y comprensión.

*A mi familia y amigos*

Por apoyarme para lograr mis metas y forjarme como mejor persona, por abrirme los ojos y ver otras realidades que no son vistas por cualquiera.

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, agradecer a Dios por permitirme tener y disfrutar de mi familia, por darme la fortaleza para continuar en este camino llamado vida, iluminar mi mente y por haber puesto experiencias difíciles en mi camino para fortalecer mi corazón.

Agradecer a mi familia por apoyarme en cada paso que di, agradecer porque sin ellos el desarrollo de esta tesis no sería posible y por ayudarme a cumplir esta meta.

A mi asesor, por guiarme y ayudarme a culminar esta etapa.

A todas las personas especiales que me encontré en el camino, aportándome mayor conocimiento, que sin pensarlo me apoyaron sin nada a cambio e hicieron de este proyecto posible.

## ÍNDICE GENERAL

<b>Declaración Jurada de Originalidad .....</b>	<b>ii</b>
<b>Dedicatoria .....</b>	<b>iv</b>
<b>agradecimiento .....</b>	<b>v</b>
<b>Índice de Tablas.....</b>	<b>ix</b>
<b>índice de Figuras .....</b>	<b>x</b>
<b>Índice de Anexos .....</b>	<b>xi</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>xii</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>xiii</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo I: Planteamiento del Problema.....</b>	<b>2</b>
1.1. Descripción del Problema.....	2
1.2. Formulación del Problema.....	2
1.2.1. Formulación del Problema General .....	2
1.2.2. Formulación de Problemas Específicos.....	3
1.3. Justificación e Importancia de la Investigación .....	3
1.3.1. Desde el Punto de Vista Económico.....	3
1.3.2. Desde el Punto de Vista Científico .....	4
1.3.3. Desde el Punto de Vista Social .....	5
1.4. Objetivos .....	5
1.4.1. Objetivo General .....	5
1.4.2. Objetivos Específicos .....	5
1.5. Hipótesis .....	6
1.5.1. Hipótesis General.....	6
1.5.2. Hipótesis Específica .....	6
<b>Capítulo II: Marco Teórico.....</b>	<b>7</b>
2.1. Antecedentes del Estudio.....	7
2.1.1. A Nivel Internacional .....	7
2.1.2. A Nivel Nacional .....	9
2.1.3. A Nivel Local .....	9
2.2. Bases Teóricas.....	10
2.2.1. Aguas Residuales Urbanas .....	10

2.2.2. Parámetros de Control para el Tratamiento de Aguas Residuales .....	10
2.2.3. Decreto Supremo N°10-2019-VIVIENDA:.....	12
2.2.4. Definición de Aguas Grises .....	12
2.2.5. Composición de Aguas Grises Según Origen.....	12
2.2.6. Caracterización de Aguas Grises .....	13
2.2.7. Caracterización Físicoquímica del Agua Gris del Lavado de Ropa .....	15
2.2.8. Reúso de Aguas Grises.....	15
2.2.9. Tipos de Reúsos para Aguas Grises .....	16
2.2.10. Tratamiento de Aguas Grises .....	17
2.2.11. Velocidad de Filtración: .....	17
2.3. Definición de Términos.....	18
2.3.1. Aguas Residuales .....	18
2.3.2. Aguas Grises.....	18
2.3.3. Reúso de Aguas Residuales .....	18
2.3.4. Filtración de Agua .....	18
2.3.5. Medio Filtrante.....	18
2.3.6. Desarrollo Sostenible .....	19
2.3.7. Energía Solar Fotovoltaica .....	19
2.3.8. Tratamiento de Aguas Residuales.....	19
2.3.9. Depuración.....	19
2.3.10. Efluente.....	19
<b>Capítulo III: Marco Metodológico.....</b>	<b>20</b>
3.1. Tipo y Nivel de la Investigación .....	20
3.2. Población y/o Muestra de Estudio .....	20
3.3. Operacionalización de Variables .....	21
3.4. Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos .....	23
3.4.1. Etapa I: Compilación de Indagación, Estimación del Estado Actual, Calidad del Agua Gris y Cálculo de Caudales.....	23
3.4.2. Etapa II: Diseño e Implementación de Tecnologías.....	24
3.4.3. Etapa III: Metodologías de Laboratorio Aplicados.....	35
3.5. Procesamiento y análisis de datos .....	38
<b>Capítulo IV: Resultados.....</b>	<b>39</b>
4.1. Caracterización del Agua Gris de Lavadora por Laboratorio Acreditado .....	39
4.1.1. Interpretación de la Caracterización de las Aguas Grises.....	39
4.2. Resultados de los Análisis Físicoquímicos por Tratamientos (Punto de Inicio).40	



Resultados del Tratamiento 1 .....	42
Resultados del Tratamiento 2 .....	43
Resultados del Tratamiento 3 .....	44
Porcentaje de remoción .....	45
4.3. Comparación Estadística de los Tratamientos .....	47
4.3.1. Temperatura.....	47
4.3.2. pH .....	48
4.3.3. Conductividad Eléctrica .....	49
4.3.4. Turbidez .....	50
4.3.5. Alcalinidad.....	51
4.3.6. Nitratos.....	52
4.3.7. Nitritos .....	53
4.3.8. Arsénico .....	54
4.3.9. Aluminio .....	55
<b>Capítulo V: Discusión.....</b>	<b>57</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>59</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>60</b>
<b>Referencias Bibliográficas .....</b>	<b>61</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>65</b>

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Características de las aguas grises según su origen .....	14
Tabla 2. Caracterización fisicoquímica del agua gris del lavado de ropa .....	15
Tabla 3. Operacionalización de variables .....	22
Tabla 4. Resumen de dimensiones de filtros .....	26
Tabla 5. Materiales usados para la generación de inyección de oxígeno mediante energía fotovoltaica. ....	30
Tabla 6. Resumen de dimensiones de filtros .....	32
Tabla 7. Materiales del tratamiento 3 y presupuesto .....	33
Tabla 8. Resultado de laboratorio acreditado de aguas residuales de lavadora.....	39
Tabla 9. Comparación de Parámetros realizados respecto a VMA y Estándar de Calidad Ambiental- Categoría 3. D1.....	41
Tabla 10. Resultados del tratamiento 1.....	43
Tabla 11. Resultados del tratamiento 2.....	44
Tabla 12. Resultados del tratamiento 3.....	45
Tabla 13. Porcentaje de remoción de los tres tratamientos y su promedio.....	46
Tabla 14. Tabla ANOVA para el parámetro de temperatura.....	47
Tabla 15. Tabla ANOVA para el parámetro de pH .....	48
Tabla 16. Tabla ANOVA para el parámetro de conductividad eléctrica .....	49
Tabla 17. Tabla ANOVA para el parámetro de turbidez .....	50
Tabla 18. Tabla ANOVA de alcalinidad.....	51
Tabla 19. Tabla ANOVA para el parámetro de nitratos .....	52
Tabla 20. Tabla ANOVA para parámetro de nitritos .....	53
Tabla 21. Tabla ANOVA para parámetro de arsénico .....	54
Tabla 22. Tabla ANOVA para el parámetro de aluminio.....	55

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la zona experimental .....	21
Figura 2. Esquema general del sistema de tratamiento 1 .....	27
Figura 3. Descripción de materiales utilizados en el tratamiento 1 y 2 .....	28
Figura 4. Multicámara horizontal con inyección de oxígeno .....	29
Figura 5. Conexiones mediante cableado desde el panel solar a la bomba de oxígeno.....	29
Figura 6. Filtración por capas con flujo hidráulico .....	32
Figura 7. Toma de muestra de los tratamiento 1, 2 y 3. ....	34
Figura 8. Toma de muestra de agua gris (agua cruda) .....	34
Figura 9. Valores de medias de la temperatura en los tres tratamientos al 95 % del nivel de confianza. ....	48
Figura 10. Valores de medias del pH en los tres tratamientos al 95 % del nivel de confianza. ....	49
Figura 11. Valores de medias de la conductividad eléctrica en los tres tratamientos al 95 % del nivel de confianza.....	50
Figura 12. Valores de medias de la Turbidez en los tres tratamientos al 95 % del nivel de confianza. ....	51
Figura 13. Valores de medias de la alcalinidad en los tres tratamientos al 95 % del nivel de confianza. ....	52
Figura 14. Valores de medias del nitrato en los tres tratamientos al 95 % del nivel de confianza. ....	53
Figura 15. Valores de medias del nitrito en los tres tratamientos al 95 % del nivel de confianza. ....	54
Figura 16. Valores de medias del arsénico en los tres tratamientos al 95 % del nivel de confianza. ....	55
Figura 17. Valores de medias del aluminio en los tres tratamientos al 95 % del nivel de confianza. ....	56
Figura 18. Esquema del sistema de tratamiento de aguas grises .....	73

**ÍNDICE DE ANEXOS**

Anexo 1. Matriz de consistencia. ....	66
Anexo 2. Informe de Ensayo N° 000041603 .....	67
Anexo 2a. Informe de Ensayo N° 000041603 – página 1 .....	67
Anexo 2b. Informe de Ensayo N° 000041603 – página 2.....	68
Anexo 2c. Informe de Ensayo N° 000041603 – página 3.....	69
Anexo 3. D.S N°010-2019-Vivienda. Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) Para las Descargas de Aguas Residuales no Domésticas en el Sistema de Alcantarillado Sanitario. ....	70
Anexo 4. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua- Categoría 3....	71
Anexo 4a. ECA categoría 3 – página 1 .....	71
Anexo 4b. ECA categoría 3 – página 2 .....	72
Anexo 5. Esquema de tratamiento de aguas grises .....	73

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en una vivienda de 4 habitantes en el Fundo Sobraya s/n. Lateral 7, distrito de Pocollay, provincia de Tacna, departamento de Tacna, con el objetivo de mejorar la calidad de aguas grises provenientes de lavado de ropa con detergentes aplicando materiales filtrantes con y sin energía fotovoltaica, con la finalidad de cumplir los Valores Máximos Admisibles (VMA) y tener una opción para reutilizar las aguas grises del lavado de ropa para el riego de vegetales de la Categoría 3 de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua. Se utilizó un área para la instalación de los 3 tratamientos, teniendo en cuenta que el área sea plana, así como la medición de la distancia del pre-tratamiento al piloto de tratamiento para favorecer que el sistema de cada tratamiento discorra por gravedad y no requiera uso de electrobombas. Se diseñaron tres tipos de Sistemas de tratamiento: el tratamiento 1, mediante multicámara horizontal sin inyección de oxígeno con materiales filtrantes del más grueso al más fino (grava, arena de playa, cuarcita y carbón activado); el tratamiento 2, mediante multicámara horizontal con inyección de oxígeno mediante panel fotovoltaico con materiales filtrantes del más grueso al más fino (grava, arena de playa, cuarcita y carbón activado); el tratamiento 3, mediante filtración por capas con flujo hidráulico tipo vertical sin inyección de oxígeno con material filtrante grueso al más fino (grava, arena de playa, cuarcita, carbón activado). Al hacer los análisis fisicoquímicos y biológicos correspondientes, de los resultados obtenidos, la mayoría de parámetros exigidos en D.S N°010-2019-VIVIENDA. Valores Máximos Admisibles fueron cumplidos, así como en el D.S. N° 004-2017-MINAM, Estándares de Calidad Ambiental para Agua categoría 3: riego de vegetales, subcategoría D1: Riego de vegetales; cumplen con esta exigencia, exceptuando los parámetros de DBO y DQO, que requeriría tratamientos complementarios para cumplir con la norma. El sistema de tratamiento 1, es más efectivo de los tres tratamientos, según diseño descrito en la metodología, se observa la eficiencia con reducción significativa en el parámetro DBO5 en 89,8 %, DQO en 90,3 %, turbidez en 97,9 %, sólidos sedimentables en 100 %, alcalinidad 21 %, nitratos en 69 %, nitritos en 81 %.

**Palabras claves:** Aguas grises, Diseños, Energía Fotovoltaica, Tratamiento, Reutilización

## ABSTRACT

The present research work was carried out in a house with 4 inhabitants in the Fundo Sobraya s / n. Lateral 7, district of Pocollay, province of Tacna, department of Tacna, with the aim of improving the quality of gray water from washing clothes with detergents by applying filter materials with and without photovoltaic energy, in order to meet the Maximum Admissible Values (MAV) and have an option to reuse gray water from laundry for irrigation of vegetables in Category 3 of the Environmental Quality Standards for Water. An area was used for the installation of the 3 treatments, taking into account that the area is flat, as well as the measurement of the distance from the pre-treatment to the treatment pilot to favor that the system of each treatment runs by gravity and does not require use of electric pumps. Three types of Treatment Systems were designed: Treatment 1, by means of horizontal multi-chamber without oxygen injection with filtering materials from the thickest to the finest (gravel, beach sand, quartzite and activated carbon); Treatment 2, by means of horizontal multi-chamber with oxygen injection using a photovoltaic panel with filtering materials from the thickest to the finest (gravel, beach sand, quartzite and activated carbon); Treatment 3, by means of layer filtration with vertical type hydraulic flow without oxygen injection with coarse filter material to the finest (gravel, beach sand, quartzite, activated carbon). When making the corresponding physicochemical and biological analyzes, of the results obtained, most of the parameters required in D.S N ° 010-2019-VIVIENDA Maximum Admissible Values were met, as well as in the S.D. N ° 004-2017-MINAM, Environmental Quality Standards for Water category 3: irrigation of vegetables, subcategory D1: Irrigation of vegetables; They meet this requirement, except for the DBO and DQO parameters, which would require complementary treatments to comply with the standard. Treatment system 1 is the most effective of the three treatments, according to the design described in the methodology, the efficiency was with a significant reduction in the parameter DBO<sub>5</sub> in 89,79 %, DQO in 90,3 %, turbidity in 97,93 %, Sedimentables solids in 100 %, alkalinity 21 %, nitrates in 69 %, nitrites in 81 %.

**Key Words:** Greywater, Designs, Photovoltaic Energy, Treatment, Reuse

## INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico siendo natural renovable e indispensable para el desarrollo de la raza humana, está siendo limitada para renovarse gracias a procesos de consumo y contaminación, lo cual conlleva a una amenaza en la disponibilidad como recurso. El desgaste de la condición del agua superficial en Perú y Tacna es preocupante, ya que daña la salud de toda la población y la economía familiar, debido a causas naturales o actividades humanas; como primordial componente son los botaderos de residuos sólidos, a causa de malos tratamientos de aguas residuales y la evacuación directa de aguas residuales sin previo proceso alguno hacia los cuerpos de aguas superficiales.

Igualmente, de las 253 localidades del entorno de las EPSs a nivel nacional, 89 no procesan sus aguas residuales, llevando a cabo vertimientos directos a los ríos, océanos, quebradas, lagunas o drenes. En las 164 localidades restantes, las aguas residuales son llevadas a una planta de tratamiento de aguas residuales, con altas cargas orgánica y con deficiencia para costos de operación y mantenimiento. Frente a estas situaciones se debería tener una alternativa diferente, creativa, ecológica en el tratamiento de aguas residuales, sobre todo sostenible, donde los precios de operación y mantenimiento de una PTAR sean bajos.

En tal sentido, se buscan alternativas de solución para un uso eficiente del agua, así como su reutilización. La creatividad y modernización en la gestión de las aguas residuales, es una de las disposiciones de mayor relevancia para poder enriquecer el tratamiento de los residuos y efluentes para que el efecto en el ambiente disminuya, y realizarlo con eficiencia y menor gasto de energía o recursos posible.

La reutilización de aguas grises son prácticas que se realizan en Europa y algunos países de Latinoamérica, lo que reduce significativamente el gasto del agua potable. En el Perú existen algunos edificios que han implementado estos sistemas logrando disminuir el consumo de agua potable. Es así, que, en la presente tesis, busca dar alternativas de solución con un actual planteamiento de tratamiento de aguas grises que estén al avance de los requerimientos ambientales, teniendo como objetivo mejorar la calidad de aguas grises provenientes de lavado de ropa con detergentes aplicando materiales filtrantes con y sin energía fotovoltaica.

## **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Descripción del Problema**

La disponibilidad de agua dulce es motivo de preocupación y fuerza a la población a promover una nueva cultura del ahorro y uso adecuado del recurso hídrico. El Ministerio del Ambiente en su revista MINAM 05-2014, menciona que la demanda de agua dulce crece cada año, siendo que cada peruano necesita 50 litros de agua por día para satisfacer sus necesidades primordiales, como la alimentación y el aseo. Teniendo gastos de agua con un nivel alto de huella hídrica (MINAM, 2014).

Según el Plan de Gestión de Recursos Hídricos de la Cuenca Caplina Locumba, el principal problema en la región de Tacna es la escasa disponibilidad y daño de la calidad del agua, con desconocimiento de su valor estratégico y deficiencias en su suministro y uso. La oferta hídrica en las cuencas de Tacna es de 13,2 m<sup>3</sup>/s, siendo la demanda de 21,7 m<sup>3</sup>/s, teniendo un déficit de 8,5 m<sup>3</sup>/s para todos los usos; asimismo se tiene un déficit de uso poblacional de 270 L/s en la ciudad de Tacna (PGRHCL, 2014).

Por consiguiente, el problema para la ciudad de Tacna, es la escasez de recurso hídrico y daño de la calidad de las aguas superficiales por los vertimientos existentes de aguas residuales en algunos poblados, lo cual trae como consecuencia impactos negativos a la salud de las personas, como las enfermedades del estómago en la población. A esto se suma que las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) que operan en la ciudad de Tacna, están sobrecargadas, no cuentan con certificación ambiental y la calidad del efluente sobrepasa los Límites Máximos Permisibles (LMP), ya que también recibe aguas residuales industriales y otras que no son de uso doméstico en la red de alcantarillado.

Por lo que es necesario buscar estrategias sostenibles en la gestión del recurso hídrico.

### **1.2. Formulación del Problema**

#### **1.2.1. Formulación del Problema General**

¿Cuál será el porcentaje de remoción de contaminantes en aguas grises provenientes de lavado de ropa con detergentes aplicando materiales filtrantes con y sin energía fotovoltaica en el Distrito De Pocollay (Fundo Sobraya)?



### **1.2.2. Formulación de Problemas Específicos**

¿Cuál será el porcentaje de remoción de contaminantes empleando la técnica mediante multicámara horizontal con cuatro materiales filtrantes y uso de Energía Fotovoltaica para la inyección de oxígeno en el tratamiento de aguas de lavado de ropa con detergentes en el distrito de Pocollay?

¿Será posible mejorar las condiciones fisicoquímicas: (temperatura, pH, conductividad eléctrica, turbidez, arsénico, sólidos sedimentables, olor y DBO) mediante la evaluación de tres tratamientos para reducir la carga contaminante presente en las aguas grises domésticas de lavado de ropa con detergentes?

### **1.3. Justificación e Importancia de la Investigación**

Actualmente, una de las mayores privaciones de la población mundial es el déficit de agua que puede empeorar debido al cambio climático, una demanda enorme de agua dulce por parte de la población y el actual manejo del recurso hídrico.

#### **1.3.1. Desde el Punto de Vista Económico**

Existe un interés ascendente en la reutilización de las aguas residuales en muchas partes del mundo, la fuerza impulsora son las consideraciones ambientales y económicas. La reutilización reducirá los costos totales de manejo de aguas residuales, ya que se reducirá la carga de agua a las plantas de tratamiento (Eriksson, Auffarth, Henze, y Ledin, 2002).

En Perú, se cuenta con un déficit financiamiento en tratamiento de aguas residuales de financiamiento de US\$ 978 millones para alcanzar la meta de 2015 en tratamiento de aguas residuales domésticas. El Plan Nacional de Saneamiento 2006-2015 considera un esquema de financiamiento para el periodo 2009- 2015 que incluye las inversiones en agua y alcantarillado, pero no cuenta con recursos concertados (EPS, 2008).

Al reutilizar las aguas residuales se podrá beneficiar no sólo en la economía, sino también al utilizar sistemas de tratamiento de aguas residuales usando la energía solar. El cual, ayudará a las zonas rurales que no cuentan con alumbrado para poder tratar las aguas residuales, para así poder mitigar la descontaminación de los ríos. Al utilizar la energía renovable al ser auto sostenible es eficiente. Como

se sabe las áreas rurales están en proceso de desarrollo, el cual podrían adaptarse y crecer tanto como las zonas urbanas en la ciudad (ANA, 2010).

### **1.3.2. Desde el Punto de Vista Científico**

El reúso de aguas residuales constituye una táctica sostenible de gestión de los recursos hídricos, constituyéndose en un elemento fundamental de la economía circular. De las aguas residuales domésticas las mejores para reutilizar son las aguas grises por la menor cantidad de contaminantes respecto a aguas negras, también tiene simplicidad de tratamiento y de minúsculo riesgo. Las aguas grises resultantes del lavamanos y ducha han sido reusadas para descarga de inodoros, riego de jardín, limpieza del hogar, lavandería y lavado de vehículos (Meléndez, Lima, Domínguez y Oviedo, 2019).

Las aguas residuales grises se definen como aguas residuales sin entrada de inodoros, lo que corresponde a las aguas residuales producidas en bañeras, duchas, lavabos, lavadoras y fregaderos de cocina, en hogares, oficinas, escuelas, etc. La fracción total de aguas residuales grises ha sido se estima que representa alrededor del 75% en volumen de las aguas residuales residenciales combinadas. Se ha prestado especial atención a las posibilidades de reutilización de las aguas residuales grises. La explicación es que esta fracción de aguas residuales está menos contaminada que las aguas residuales municipales en ausencia de heces, orina y papel higiénico. Las características serán de importancia al evaluar las posibilidades de reutilización, incluida la necesidad de un tratamiento previo (Eriksson et al., 2002).

Existe la necesidad de gestionar los problemas de agua y aguas residuales anteriores considerando alternativas a los métodos convencionales. El estudio realizado en la Universidad de Loughborough durante el periodo de 1994 a 1998 muestra que las aguas grises directas planificadas de la bañera, la ducha, el lavabo y la lavadora con o sin agua de lluvia del techo podrían recuperarse y usarse para interiores no potables (WC) y exteriores (jardinería) con el propósito de dar una opción adicional adecuada para resolver el problema (James, Surendran, Ifelebuegu, Ganjian y Kinuthia, 1998).

El agua recuperada se puede utilizar para riego de jardines y terrenos recreativos, procesos industriales, torres de enfriamiento, aire acondicionado, lavado de gases de chimenea, descarga de inodoros, construcción, extinción de incendios y mejora ambiental, como el mantenimiento de los caudales de arroyos urbanos y humedales.

El sistema de tratamiento de filtración se basa en traspasar el agua con componentes no deseados a través de un material filtrante que remueva contaminantes ya sea físicos, químicos o microbiológicos mejor que los originales. La filtración lenta es usada primordialmente para aminorar la turbidez del agua, manejando indicadores medios, pero si se diseña y opera adecuadamente, se considera como un sistema de purificación del agua (Palmer y Corpus, 2018).

La filtración biológica simboliza una opción diversa a los procesos fisicoquímicos. La biofiltración se puede llevar a cabo en medios porosos o en medios granulares como la arena, grava, entre otros (Narvaez, 2017).

### **1.3.3. Desde el Punto de Vista Social**

Según valoraciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), el 80% de las enfermedades se transfieren por medio del agua contaminada. Esto es debido a que gran parte de la población no tiene abastecimiento de agua ni saneamiento básico de calidad suficiente (Torres y Villanueva, 2014).

La reutilización urbana no potable es una opción que vale la pena considerar por los municipios que buscan suministro de agua adicional para satisfacer las necesidades futuras (Okun, 1997).

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

Mejorar la calidad de aguas grises provenientes de lavado de ropa con detergentes aplicando materiales filtrantes con y sin energía fotovoltaica en el Distrito de Pocollay (Fundo Sobraya).

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

Remover los contaminantes empleando la técnica multicámara horizontal con cuatro materiales filtrantes y uso de Energía Fotovoltaica para la inyección de oxígeno en el tratamiento de aguas de lavado de ropa con detergentes en el distrito de Pocollay.

Mejorar la calidad fisicoquímica: Temperatura, pH, conductividad eléctrica, turbidez, arsénico, sólidos sedimentables, olor y DBO mediante la aplicación de tratamientos para reducir la carga contaminante presente en las aguas grises domésticas de lavado de ropa con detergentes.

## **1.5. Hipótesis**

### **1.5.1. Hipótesis General**

El tratamiento con la técnica multicámara horizontal con cuatro materiales filtrantes y uso de Energía Fotovoltaica para inyección de oxígeno mejora la calidad fisicoquímica de las aguas grises provenientes de lavado de ropa con detergentes en el distrito de Pocollay.

### **1.5.2. Hipótesis Específica**

La técnica multicámara horizontal con cuatro materiales filtrantes y uso de Energía Fotovoltaica para inyección de oxígeno remueve en mayor porcentaje los contaminantes respecto al tratamiento sin aplicación de oxígeno en las aguas de lavado de ropa con detergentes en el distrito de Pocollay.

Los resultados de la calidad fisicoquímica: Temperatura, pH, conductividad eléctrica, turbidez, arsénico, sólidos sedimentables, olor y DBO mediante la aplicación de la técnica multicámara horizontal con cuatro materiales filtrantes y uso de Energía Fotovoltaica para la inyección de oxígeno cumplen con los Valores Máximos Admisibles del D.S N°010-2019-VIVIENDA.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes del Estudio

Actualmente, las posibilidades de implementación de procesos de tratamiento de aguas para crear sistemas de reutilización de aguas grises, es notorio actualmente a nivel mundial volviéndose común la implementación de los mismos. Un ejemplo es que Estados Unidos, Japón y Australia han sido los pioneros en la reutilización de aguas grises (Ardila, 2013).

#### 2.1.1. A Nivel Internacional

Según Hernández (2010) con la tesis “Alternativas para el tratamiento de las aguas grises de origen doméstico”, manifiesta que se elaboraron dos pilotos para el tratamiento de aguas grises de origen doméstico: una como medio filtrante piedra pómez y el otro carbón. Estos pilotos no hicieron uso de energía artificial y se labora mediante una única filtración directa (sin recirculación). Teniendo como resultados en DBO<sub>5</sub> una remoción con valores promedio de 18,5 % y un máximo de 39,8 %. Para DQO, una remoción con valores promedio de 31,5 % y un máximo de 47,4 %.

Según Jarrín, Ramos y Matamoros (2009) en el Proyecto Semilla denominado “Evaluación de sistemas de filtración agua de bajo costo para consumo humano”, fueron evaluados dos sistemas de filtración caseros, uno de filtro biológico de arena y un filtro cerámico de arcilla, de fácil elaboración, mantenimiento, operación y bajo costo, para posteriormente aplicarlo en comunidades de recursos limitados y como posible plan de contingencia ante inundaciones. Se removieron 99,8 % de Coliformes fecales y 99,7 % de *E. Coli* en algunos de los casos.

Según Franco (2007) en su tesis “Tratamiento y reutilización de aguas grises con aplicación acaso en Chile” menciona que la práctica de reutilizar aguas grises va ascendiendo. Muchas veces han sido recuperadas sin ningún tratamiento, lo que no se recomienda, ya que, si bien son aguas menos contaminadas, también disponen patógenos, su composición también puede ser nocivo para plantas, pudiendo ser el caso de aguas de lavaplatos y lavadoras, que suelen tener elevadas cargas contaminantes.

Según el estudio de (Palmer y Corpus, 2018) “Diseño e implementación de un filtro para tratamiento de aguas grises en la aplicación de un sistema de riego para una huerta casera en San Andrés Islas, Colombia” la referencia de clase cuyo alto porcentaje de remoción mostró en el agua filtrada con respecto a las aguas grises iniciales, fue la turbidez tanto en la huerta 1 como en la huerta 2. En este caso hubo decadencia de hasta el 98 % de la turbiedad en el agua filtrada referente al agua gris sin tratar. Aunque, por otra parte, este descenso nos permite deducir que el filtro puede estar funcionando apropiadamente.

Díaz y Ramírez (2016), en su monografía “Diseño de un sistema de tratamiento y reutilización del agua de la lavadora aplicado a los hogares de Bogotá D.C.” indica que existen filtros altamente eficientes, fáciles de elaborar económico en su mantenimiento. Un filtro con estas características es conocido como filtro de arena, conteniendo varias capas de arena que retienen los sólidos a medida que el agua pasa por ellos. Los materiales que comúnmente se utilizan son: grava, gravilla, arena, carbón activo.

En el estudio realizado por (Restrepo, Montoya, & Velásquez, 2008) al realizar su “Evaluación del tratamiento Foto catalítico de aguas residuales industriales empleando energía Solar” concluyeron que, su tratamiento foto catalítico de aguas residuales industriales alcanzó porcentajes de degradación en la DQO entre un 6 y 45 %, y que, la relación  $DBO_5$ : DQO siempre mayor a 0,5 obtenida al final de todos los experimentos de FH muestran que es posible ejecutar esta tecnología como etapa de pretratamiento del agua residual industrial para acoplamiento posterior con un tratamiento biológico.

Según (Lloclla et al., 2017) en su estudio optimización del sistema de aireación con paneles solares fotovoltaicos para el tratamiento de aguas residuales en la bahía interior de Puno concluyeron que, gracias a los resultados obtenidos, pudieron desarrollar el diseño de los que van a ser los componentes del generador fotovoltaico, dentro de los cuales está el generador, acumulador, regulador e inversor. La demanda se logró a un 11,7 kW para condiciones óptimas, donde se obtuvo también los cuatro módulos experimentales de unos 3000 W con un total de 12 kW. Cada módulo contaba con 10 generadores fotovoltaicos de 24 V y 300 W, 12 baterías de 24 V 200 Ah, “el regulador con seguidor MPPT que trabaja a la máxima potencia cuya corriente máxima de carga es de 54,5 A y el inversor de potencia nominal 2 KW y soporta una potencia pico 2,4 veces la capacidad nominal (4,8 kW)”.

En el estudio realizado por (Fernando et al., n.d.) al utilizar “La fotocátalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales” concluyeron que, de los procesos avanzados de oxidación, dos tecnologías foto oxidativas son convenientes para el tratamiento de aguas residuales: la fotocátalisis heterogénea mediada por semiconductores y la fotosensibilización con ion férrico.

### **2.1.2. A Nivel Nacional**

Según Madueño, Meza y Rashta (2017) en el artículo “Tratamiento y reúso de aguas grises mediante un filtro lento de arena”, menciona el uso de un filtro conformado por tres estratos, el primero de arena fina, el segundo de arena gruesa y el tercero de cantos rodados de diferentes diámetros.

Rojas (2017) en su tesis “ 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”, logró diseñar y aplicar un sistema de tratamiento de aguas grises constituido por: separación de aguas grises, caja de pre-colección, 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.

Según el estudio realizado por (Unidas & Chac, 2011) sobre “Tratamiento de efluentes textiles con luz ultravioleta solar” El dióxido de Titanio se usa como fotocatalizador para la degradación fotocatalítica de efluentes textiles, con luz ultravioleta solar mínima de energía, el cual el tiempo de degradación adecuado del color es de dos horas y la concentración de dióxido de titanio para lograr dicho tiempo fue de 50 ppm.

### **2.1.3. A Nivel Local**

Loza (2017) en su tesis “Diseño de un sistema de reciclado de aguas grises y su aprovechamiento para un desarrollo sostenible en una vivienda multifamiliar de doce pisos en la ciudad de Tacna, 2017”, concluye que el tema principal para la viabilidad del proyecto es la cantidad de agua que se ahorrará por persona con un

63,4 L/d promedio, colaborando con el problema hídrico que existe en la Ciudad de Tacna, siendo este valor incalculable.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Aguas Residuales Urbanas**

Las aguas residuales domésticas son oriundas de viviendas y servicios generados principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas. En las aguas residuales urbanas encontraremos siempre las aguas residuales domésticas, pero también puede haber, aguas industriales, las cuales descargan sus vertidos a la red de alcantarillado municipal, así como aguas de escorrentía pluvial (Huertas, Marcos, Iburguren y Ordás, 2013).

### **2.2.2. Parámetros de Control para el Tratamiento de Aguas Residuales**

#### **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):**

Este parámetro cuantifica la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias (aeróbicas o anaeróbicas), hongos y plancton, consumen durante la degeneración de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra. Ayuda a medir el grado de contaminación (Induanálisis, 2019).

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Parámetro cuantificador de oxígeno fundamental para oxidar la materia orgánica por medios químicos y convertirla en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O. Cuanto mayor es la DQO, más contaminada está el agua (Induanálisis, 2019).
- **Temperatura:** El valor exacto de la temperatura es fundamental para diversos tratamientos y análisis de laboratorio, ya que, por ejemplo, el grado de saturación de oxígeno disuelto, la actividad biológica y el valor de saturación de carbonato de calcio se relaciona con la temperatura (Romero, 2002).
- **pH:** Medida convencional de la acidez o basicidad de soluciones acuosas. El pH, permanece constante a menos que la calidad de agua cambie debido a



las influencias de tipo natural o antropogénico, aumentando la acidez o basicidad (Barba, 2002).

La concentración del ion hidrógeno es un primordial parámetro de calidad de las aguas residuales. Ya que el intervalo de concentración idóneo para la existencia de la vida acuática es muy estrecho y crítico (Sánchez, 2016).

- **Conductividad Eléctrica:** Término numérico capaz de transportar una corriente eléctrica, dependiente de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se haga su determinación. Ante cualquier alteración en la cantidad de sustancias disueltas, en la movilidad de los iones disueltos y en su valencia, conlleva a un cambio en la conductividad. Lo cual da un estimado rápido del contenido de sólidos disueltos (Romero, 2002).
- **Turbidez:** Originario por partículas en suspensión o coloides (arcillas, limo, tierra finamente dividida), etcétera, es decir, aquellas que, por su tamaño, se encuentran suspendidas y disminuyen la lucidez del agua en menor o mayor grado. Para cuantificar la turbidez se hace uso de un turbidímetro o nefelómetro. Las unidades utilizadas son, por lo general, unidades nefelométrías de turbiedad (UNT) (Barrenechea, s.f.).
- **Sólidos Sedimentables:** Refiere a los sólidos en suspensión que se sedimentarán, en condiciones tranquilas por acción de la gravedad. Básico para establecer la necesidad del diseño de tanques de sedimentación como unidades de tratamiento y para controlar su eficiencia (Romero, 2002).
- **Alcalinidad:** Es la capacidad del agua de neutralizar ácidos. Sin embargo, aniones de ácidos débiles como los bicarbonatos pueden contribuir a la alcalinidad. La alcalinidad es de importancia en el tratamiento del agua porque reacciona con coagulantes hidrolizables durante el proceso de coagulación.
- **Nitratos:** Los nitratos son muy solubles en agua a causa de polaridad del ion. en los sistemas acuáticos y terrestres, los materiales nitrogenados tienden a transformarse en nitratos (Romero, 2002).

- **Nitritos:** La presencia de nitritos en el agua indica procesos activos biológicos en el agua, ya que rápidamente es convertido en nitrato. El nitrógeno de nitritos raras veces aparece en concentraciones mayores a 1 mg/L, aún en efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales (Romero, 2002).
- **Arsénico:** Metal pesado que se pueden encontrar en las aguas residuales confiriéndoles un carácter tóxico en concentraciones altas (Punguil, 2017).
- **Aluminio:** Metal pesado considerado sustancia tóxica si se encuentra en concentraciones altas según la normativa ambiental (Barba, 2002).

### **2.2.3. Decreto Supremo N°10-2019-VIVIENDA:**

Este Decreto Supremo aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, con el objetivo de regular los procedimientos para el control de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario y establecer los parámetros de los Valores Máximos Admisibles (Ministerio de Vivienda, 2019).

### **2.2.4. Definición de Aguas Grises**

Corresponden a aguas residuales domésticas con excepción de las provenientes de inodoros y urinarios, llamadas aguas negras. Dividido en aguas grises en claras y oscuras, siendo correspondientes a efluentes del lavamanos, duchas y tinas, y las segundas a lavadoras y lavaplatos. Estudios realizados en diferentes países indican que el porcentaje de aguas grises, presentes en aguas servidas domésticas, se encontraría entre un 50 y 80 % o, entre un 60 y 70 % (Franco, 2007).

### **2.2.5. Composición de Aguas Grises Según Origen**

Según su origen la composición porcentual de las aguas grises varía según el lugar, ingreso económico, las costumbres, el clima, la época del año, y otros. Pero tomando en cuenta que la producción de aguas grises se encontraría entre el 60 y

70 % del agua residual, se tiene la siguiente distribución: 33% de lavadoras, 11 % de lavamanos, 15 % de lavavajillas y 41 % de duchas y tinas (Franco, 2007).

### **2.2.6. Caracterización de Aguas Grises**

Las características de las aguas residuales grises dependen primeramente de la calidad del suministro de agua, seguidamente, en el tipo de la red de distribución tanto para el agua potable como para las aguas grises residuales (lixiviación de tuberías, productos químicos y bio-procesos lógicos en la biopelícula en las paredes de la tubería) y de las actividades en el hogar. Los compuestos presentes en el agua se diferencian de una fuente a otra, donde los estilos de vida, costumbres, instalaciones y uso de los productos químicos para el hogar serán de importancia (Eriksson, Auffarth, Henze, y Ledin, 2002).

Eriksson et al. (2002) refieren que los parámetros físicos de relevancia son la temperatura, color, turbidez y contenido de sólidos en suspensión. Según este estudio, la temperatura de las aguas residuales grises varía dentro del rango 18 – 38 °C.

La turbidez en el agua de lavado tiene valores significativamente más altos comparado con el ciclo de enjuague, 39 – 296 y 14 – 29 NTU, respectivamente. Las mediciones de sólidos en suspensión variaron en el rango de 17 - 330 mg/L, donde los valores más altos se originó de lavandería y cocina.

En cuanto a los parámetros químicos, los valores de pH más altos registrados para el agua de las lavadoras y lavavajillas son posiblemente debido al tipo de detergentes utilizados en el Lavado. Los valores de DQO son altos, alcanzando un máximo de 1782 mg/L en el fregadero. La mayor parte de la DQO derivan de los productos químicos utilizados y es por lo tanto más alto en la lavandería y la cocina, con grandes variaciones de casa en casa (Matos, Sampaio y Bentes 2012).

Franco (2007) indica que los patógenos se encuentran en bajas cantidades en las aguas grises, pero existente de carga fecal al medir bacterias indicadoras, por posible crecimiento, mostrando en aguas almacenadas un importante incremento de coliformes fecales y totales las primeras 48 horas.

La contaminación microbiológica de coliformes totales y fecales siempre es muy significativa, con excepción de la lavadora que no presentaba coliformes fecales, dispositivos domésticos de la cocina y la lavandería, son los principales productores de concentración de contaminantes. De hecho, el agua gris de la cocina puede

contener numerosos microorganismos procedentes del lavado de alimentos y suele ser la fuente más contaminada (Matos, Sampaio y Bentes 2012).

De manera general las aguas grises se pueden caracterizar de la siguiente manera:

**Tabla 1**

*Características de las aguas grises según su origen*

<b>Origen de las Aguas grises</b>		<b>Características</b>
Cuarto de baño	Microbiológico	Concentración variada de microorganismos, menor que de la lavadora
	Biológico	Reducción de concentración de materia orgánica biodegradable
	Físico	Elevada concentración de sólidos, pelo, pelusa y valores altos de turbidez, temperatura
	Químico	Jabones, champús, tintes de cabello, pasta de dientes, crema de afeitar y varios productos químicos usados para aseo personal.
Lavadora	Microbiológico	Conglomeración de microorganismos dependiendo del tipo de usuario (niños, enfermos, ancianos, etc.)
	Biológico	Elevada concentración de materia orgánica biodegradable
	Físico	Alta concentración de sólidos, pelo, pelusa y valores altos de turbidez, temperatura
	Químico	Sodio, fosfatos, boro, agentes tensioactivos, amoníaco y nitrógeno, todo procedente de los detergentes y suciedad de la ropa.
Cocina	Microbiológico	Conglomeración de microorganismos
	Biológico	Detergentes (muy alcalinos) y otros productos de limpieza.
	Físico	Restos de comida, aceites, grasas y turbidez. Temperatura.
	Químico	Detergentes y otros productos de limpieza.

*Nota.* Esta tabla nos muestra las características de las aguas grises según su origen de procedencia. Palma (2009)

### 2.2.7. Caracterización Físicoquímica del Agua Gris del Lavado de Ropa

El parámetro físicoquímico del agua gris respecto al agua potable tiene un aumento considerable, encontrándose una variación en los sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos totales, turbidez y conductividad, esto es asociado a la cantidad de detergente agregado y a la carga orgánica desprendida por la ropa: sudor, suciedad, cabello, pelusa, etc. El aumento en pH se debe a la naturaleza alcalina del detergente (Suárez, 2010). La caracterización físicoquímica del agua gris se puede visualizar en la tabla 2.

**Tabla 2**

*Caracterización físicoquímica del agua gris del lavado de ropa*

Parámetro	Agua gris que contiene detergente en polvo*	Agua Potable**	Agua Gris que contiene detergente líquido*
pH	9,3 ± 0,3	7,54	8,1 ± 0.3
ST, mg/L	1708 ± 222	613	740 ± 85
SDT, mg/L	1003 ± 97	447	429 ± 123
SST, mg/L	705 ± 225	166	311 ± 102
Turbidez, NTU	184 ± 75	0,35	53 ± 24
Conductividad, $\mu\text{S}/\text{cm}^2$	1922 ± 167	844	827 ± 246
Temperatura (pc)	20,6 ± 3,9	24,8	20,7 ± 3,2

*Nota.* Los datos mostrados corresponden a valores medios  $\pm$  su desviación estándar. ST, significa sólidos totales. SDT, sólidos disueltos totales. SST, sólidos suspendidos totales. \*Se refiere a la mezcla equitativa entre la primer y segunda descarga de la lavadora. \*\* Es el agua de suministro para la lavadora, proveniente de los laboratorios del ITESM (Suárez, 2010)

### 2.2.8. Reúso de Aguas Grises

Se entiende por reúso al desarrollo de reutilizar directa o indirectamente, las aguas desechadas por la raza humana. El reúso suele ser indirecto, debido a la enorme cantidad de los desagües tratados y no tratados son desembocados a cuerpos receptores, tales como ríos, mares o lagos, de los cuales se capta el agua para el uso agrícola (ANA, 2016).

En el Perú, la legislación actual es inconsistente e incompetente mayormente, por una parte, los límites máximos permisibles (LMP) son en apariencia laxos, pero

su análisis manifiesta una exigencia considerablemente mayor que la aparente en cuanto a calidad de efluente. No existe legislación nacional para reúso de aguas y la aplica la de la OMS (2006), tampoco, legislación específica para el uso beneficioso de los lodos tratados de PTAR (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento-Grupo Banco Mundial, 2017).

Una de las guías esenciales para regular el reúso son las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS), donde se habla de la calidad microbiológica de aguas residuales para irrigación, divididas en tres categorías, según niveles de parásitos y coliformes fecales, indicadores de la presencia de patógenos en las aguas residuales domésticas, y las físico-químicas para calidad de las aguas de riego de la FAO (1999). En 2006, la OMS publicó nuevas guías de uso de aguas residuales, excretas y aguas grises (WHO, 2006), que son de ayuda para manejo preventivo de aguas residuales en agricultura y maximizar la seguridad para la salud pública (Silva, Torres y Madera 2008).

### **2.2.9. Tipos de Reúso para Aguas Grises**

La Agencia estadounidense de Protección Ambiental (EPA) clasificó el reúso en ocho categorías, respecto a la calidad del agua: urbano, áreas de acceso restringido, agrícola para cultivos consumidos crudos y para cultivos no consumidos crudos, recreacional, industrial, recarga de acuíferos y reúso indirecto potable (EPA, 2004; Metcalf y Eddy, 2003).

El reúso permitido varía mucho entre estados, es importante revisar las regulaciones estatales individuales. Algunos de sus usos son los siguientes:

- Riego Agrícola
- Reutilización urbana (riego de jardines, campos de golf)
- Reutilización ambiental
- Recarga de agua subterránea
- Reutilización industrial
- Actividades recreativas (EPA, 2012)

Los usos urbanos dados a las aguas grises tratadas son de tipo no potable y entre ellos se encuentran:

- Riego: áreas verdes como: parques, canchas deportivas, campos de golf, etc.
- Riego de caminos de tierra.

- Limpieza: de calles, vehículos, ventanas, lavado de ropa en lavadoras, entre otros.
- Estanques de inodoros y urinarios.
- Paisajismo, como uso en fuentes y caídas de agua.
- Control de incendios.

Los fundamentales usos urbanos dados al agua tratada son para riego y en estanques de inodoros, otorgando un ahorro de un 30 a un 40 % del agua usada. En caso de uso en riego residencial, es posible reusar el 60 a 70 % del agua residual producido, correspondiente a aguas grises, permitiendo un aceptable ahorro de este recurso y/o aumento de áreas verdes residenciales (Franco, 2007).

El estudio dado a nivel nacional e internacional asegura que las aguas residuales tratadas pueden ser bien aprovechadas en el riego de áreas verdes productivas y recreativas. Para poder ser la base del desarrollo y mantenimiento de las áreas verdes municipales (parques y jardines) y privadas (colegios, clubes y cementerios), así como de entornos ecológicos contribuyentes a la protección ambiental de las ciudades y a la lucha contra la desertificación y el calentamiento global (Tratamiento y reúso de aguas residuales, s.f.).

#### **2.2.10. Tratamiento de Aguas Grises**

Existen fases de tipo primario, secundario o terciario. Los tratamientos pueden ser químicos, como coagulación y floculación; físicos como filtración y decantación; biológicos como lodos activados, filtros biológicos aireados y humedales; y de desinfección, como cloración, ozonificación y radiación UV (Franco, 2007).

#### **2.2.11. Velocidad de Filtración:**

Para hallar la velocidad de filtración se tomó como referencia el documento "Filtración de aguas residuales para reutilización" por Natalia Otero Calviño (2006), donde nos indica que existen filtros que pueden ser rápidos ( $120-360 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ día}$ ) o lentos ( $7-14 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ ) en medios granulares.

## **2.3. Definición de Términos**

### **2.3.1. Aguas Residuales**

Son aguas cuyas características originales han cambiado debido a la actividad humana y que por su calidad necesitan ser pretratadas antes de ser reutilizadas o transferidas a cuerpos de agua naturales o vertidas en sistemas de alcantarillado. (OEFA, 2014).

### **2.3.2. Aguas Grises**

Aquellas aguas residuales originario de las actividades domésticas, como la lavandería, el lavado de platos, y el baño, con potencial de ser reciclados se puede usar para el riego de jardines y humedales artificiales. Esta agua no posee materia fecal. Éstas se distinguen del agua de los baños por ser aguas negras, contenientes de desechos humanos. Las aguas grises representan el 50-80 % de las aguas residuales residenciales (Asenjo, 2018).

### **2.3.3. Reúso de Aguas Residuales**

Se denomina así a la utilización de aguas residuales debidamente tratadas para un propósito específico (Norma O.S.090, 2006).

### **2.3.4. Filtración de Agua**

Es un proceso de limpieza del agua, consiste en separar sedimentos, mediante un determinado elemento que sirve de filtro. Este elemento suele ser poroso y hace que el líquido pase por el mismo mientras que las partículas contaminadas se impregnan en el material filtrante reduciendo el índice de contaminación en el agua (Jiménez, 2016).

### **2.3.5. Medio Filtrante**

El medio conveniente deberá ser de tamaño y naturaleza tales que sea idóneo de crear un efluente de calidad satisfactoria, conservar la máxima cantidad de sólidos y poder limpiarse fácilmente empleando la mínima cantidad de agua para lavado (Casero, 2008).



### **2.3.6. Desarrollo Sostenible**

Es un procedimiento de cambio global, flujo y equilibrio entre economía, sociedad y ecología, para la protección y conservación de los recursos naturales y el ambiente, así como el bienestar general de las personas. (Collazos, 2005, p. 61).

### **2.3.7. Energía Solar Fotovoltaica**

Los paneles fotovoltaicos funcionan mediante el efecto fotoeléctrico, es decir, con la conversión de la energía lumínica proveniente del sol en energía eléctrica.

### **2.3.8. Tratamiento de Aguas Residuales**

Está compuesto por un conglomerado de operaciones físicas, biológicas y químicas. El propósito es erradicar la mayoría de los contaminantes antes de ser descargados, de manera que el nivel de polución residual en las aguas residuales tratadas cumpla con las restricciones legales vigentes y pueda ser asimilado en algunos casos naturalmente (Alianza por el agua, 2008).

### **2.3.9. Depuración**

Remoción de los contaminantes del agua residual que ha recibido durante su uso, para llegar al estado adecuado y retornar al ciclo natural del agua, cumplir con la mayoría de garantías ambientales exigidas. La depuración es fundamental para avalar el cuidado del ambiente, salud de las personas y uso ecuánime de nuestros recursos hídricos (Huertas, Marcos, Ibarguren y Ordás, 2013).

### **2.3.10. Efluente**

Existente en una etapa del procedimiento de tratamiento de aguas residuales, descargado en estado líquido (Crites y Tchobanoglous. 2000).

## CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

### 3.1. Tipo y Nivel de la Investigación

Tipo de estudio: Exploratorio /Correlacional

Nivel de investigación: Aprehensivo

Diseño de Investigación: Diseño de Laboratorio

### 3.2. Población y/o Muestra de Estudio

La población de estudio se encuentra ubicado en el Fundo Pago Sobraya, en una vivienda que habitan cuatro personas en el distrito de Pocollay, el cual, el volumen de aguas residuales grises correspondió al total del flujo de agua expulsado por el uso de una lavadora domiciliaria, de acuerdo al siguiente detalle:

- Caudal total de 0,2 L/s.
- Caudal muestra de estudio 0,28 m<sup>3</sup>/día, equivalente a 0,003 L/s.
- Volumen de 20 L para análisis de laboratorio por cada tratamiento y repetición (aguas grises del uso de las lavadoras domiciliarias como muestras de estudio provenientes de lavado de ropa) a continuación:

*Tratamiento 1:* Tratamiento mediante multicámara horizontal con flujo hidráulico sin inyección de oxígeno con material filtrante grueso al más fino (grava, arena, cuarcita y carbón activado).

*Tratamiento 2:* Tratamiento mediante multicámara horizontal con inyección de oxígeno mediante panel fotovoltaico con materiales filtrantes del más grueso al más fino (grava, arena de playa, cuarcita y carbón activado).

*Tratamiento 3:* Diseño Mediante filtración por capas con flujo hidráulico tipo vertical sin inyección de oxígeno con material filtrante grueso al más fino (grava, arena de playa, cuarcita, carbón activado).

El cual se tomaron tres muestras de cada sistema de tratamiento, con tres repeticiones de agua residual de lavado de ropa para análisis de laboratorio.

El desarrollo del experimento piloto, se llevó a cabo en el Fundo Sobraya, ubicada en la región de Tacna, provincia de Tacna y distrito de Pocollay a 552 msnm.



**Tabla 3**

## Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Dimensión	Indicador
Variables Dependientes			
Temperatura	Grado o nivel térmico de un cuerpo.	Temperatura	$\Delta 3$ (variación de 3°C)
pH	Medida convencional de la acidez o basicidad de soluciones acuosas.	Rango de pH	6,5 – 8,5
C.E	Cuantificador hábil para transportar una corriente eléctrica	Nivel de C. E	2500 $\mu$ S/cm
Turbidez	Se origina por partículas en suspensión o coloides aquellas que por su tamaño reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado	Concentración de Turbidez	NTU
Sólidos sedimentables	Sólidos en suspensión que se sedimentarán, en condiciones tranquilas por acción de la gravedad.	Concentración de Sólidos Sedimentables	mg/L
Parámetros químicos			
DBO	Este parámetro mide la cantidad de oxígeno que los microorganismos consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas	Concentración de DBO	15 mg/L
DQO	Es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica por medios químicos y convertirla en CO <sub>2</sub> y H <sub>2</sub> O.	Concentración de DQO	40 mg/L
Alcalinidad	Es la capacidad del agua de neutralizar ácidos	Concentración de Alcalinidad	518 mg/L
Nitratos	Muy solubles en agua debido a la polaridad del ion, los materiales nitrogenados tienden a transformarse en nitratos.	Concentración de Nitratos	100 mg/L
Nitritos	Indica procesos activos biológicos en el agua	Concentración de Nitritos	10 mg/L
Arsénico	Metal pesado que se pueden encontrar en las aguas residuales de carácter tóxico.	Concentración de Arsénico	0,1 mg/L
Aluminio	Metal pesado considerado sustancia tóxica si se encuentra en concentraciones altas.	Concentración de Aluminio	5 mg/L
Variables Independientes			
Tratamiento 1	Mediante multicámara horizontal sin inyección de oxígeno con materiales filtrantes del más grueso al más fino (grava, arena de playa, cuarcita y carbón activado).	Remoción	% de remoción
Tratamiento 2	Mediante multicámara horizontal con inyección de oxígeno mediante panel fotovoltaico con materiales filtrantes del más grueso al más fino (grava, arena de playa, cuarcita y carbón activado).	Remoción	% de remoción
Tratamiento 3	Mediante filtración por capas con flujo hidráulico tipo vertical sin inyección de oxígeno con material filtrante grueso al más fino (grava, arena de playa, cuarcita, carbón activado).	Remoción	% de remoción

### **3.4. Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos**

Para poder ejecutar la presente investigación, se requirió de diversos materiales, herramientas, procedimientos y comparación estadística de los datos respectivo a los objetivos específicos proyectados en la tesis los cuales fueron:

#### **3.4.1. *Etapa I: Compilación de Indagación, Estimación del Estado Actual, Calidad del Agua Gris y Cálculo de Caudales.***

##### **3.4.1.1. Compilación de Indagación y Reconocimiento.**

- La primera acción fue realizar consulta bibliográfica existentes en el mundo, en Perú y la región de Tacna, referente al tema de tipos de tratamientos para aguas grises mediante filtros y energía fotovoltaica.
- Se recopiló información respecto al agua gris que obtenemos de la lavadora de ropa, mediante investigaciones ya hechas o informes de ensayo de laboratorio acreditado de la calidad de aguas grises, así como el impacto que genera, ya que pueden contener concentraciones elevadas de sustancias contaminantes o tóxicas que deben ser reguladas y controladas.
- Se consultó sobre los hábitos y diferentes usos de las aguas utilizadas en el país para determinar el consumo de agua en el proceso de lavado de ropa, cifras y estadísticas que permitan el análisis de la situación actual, evidenciando el problema y ofrecer opciones de solución y mejora.
- Se hizo la identificación del área disponible en Pago Sobraya Lateral 7 distrito Pocollay, el cual es una vivienda de 4 integrantes.
- Se identificó la posible área para la instalación de los tres tratamientos, teniendo en cuenta que el área sea plana, así como la medición de la distancia del pre-tratamiento al piloto de tratamiento para que el sistema de cada tratamiento fluya por gravedad y no requiera uso de algún otro equipo.
- Con los resultados del laboratorio acreditado se logró tasar los parámetros fisicoquímicos según el Informe de Ensayo N.º 000041603 de la EPS Tacna S.A para diseñar los tres tipos de tratamientos.

### **3.4.1.2. Cálculo de Caudal**

- Se obtuvo el caudal del agua de lavado de ropa mediante método volumétrico, dividiendo el volumen del agua total en una jarra de 1 L de capacidad entre el número de segundos que se tarda en llenarla.
- Se realizó el cálculo del caudal de aguas grises a la salida de la lavadora de ropa.
- Se obtuvo con este cálculo un caudal de 0,2 L/s de salida del sistema de lavado.
- Se calculó el caudal saliente del pre-tratamiento para posteriores cálculos, dando por resultado un caudal de 0,28 m<sup>3</sup>/día, equivalente a 0,003 L/s.

### **3.4.1.3. Caracterización del Agua Gris**

- Se realizó la caracterización del agua gris semanalmente por cada tratamiento la toma de muestras y análisis en el laboratorio de la Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento Tacna (EPS TACNA S.A).
- La caracterización y análisis de los resultados de los tratamientos, se muestran en el Informe de Ensayo N° 000041603 del laboratorio acreditado contratado por la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento Tacna S.A, donde todas las muestras fueron sujetas a los métodos estándares para el estudio de aguas residuales.
- Se diagnosticaron los siguientes parámetros: Temperatura, pH, Conductividad, Turbidez, Sólidos Sedimentables, Alcalinidad, Nitratos, Nitritos, Arsénico total y Aluminio.
- Para realizar la caracterización de las aguas grises domésticas se evaluó en un tiempo total de tres semanas, ejecutando las tomas de muestra semanal por cada tratamiento para análisis en laboratorio de la EPS Tacna.

## **3.4.2. Etapa II: Diseño e Implementación de Tecnologías**

### **3.4.2.1. Diseño de Tratamiento 1 y 2**

Los diseños de los sistemas de tratamiento 1 y 2, fueron realizados planteando cálculos y dimensiones para el sistema de filtración, los cuales se realizaron bajo el siguiente detalle:

- Para el dimensionamiento del sistema de filtración 1 y 2 se tomó por criterio del investigador cuatro cabezales de batería filtrante para el número de filtros.
- Para el dimensionamiento del tratamiento 3 se tomó como criterio el proceso de filtración de forma vertical, normalmente utilizado en los procesos de potabilización convencional.

Criterios de Diseño:

*Velocidad de filtración:*

Se tomaron los mínimos valores de la velocidad de filtración equivalente a 7 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día.

Cálculos para diseño de sistema de tratamiento 1 y 2:

*Área total de Filtración:* Se calcula mediante la ecuación (1)

$$Atf = \frac{Qd}{q} \quad (1)$$

*Nota.* Donde:

Qd = Caudal del pre-tratamiento (m<sup>3</sup>/día)

q = Velocidad de filtración (m<sup>3</sup>/día.m<sup>2</sup>)

$$Atf = \frac{0,28 \text{ m}^3/\text{día}}{7 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \cdot \text{m}^2}$$

$$Atf = 0,04 \text{ m}^2$$

*Área Superficial para cada filtro:* se calcula mediante la ecuación (2)

$$As = \frac{Atf}{N} \quad (2)$$

$$As = \frac{0,04 \text{ m}^2}{4}$$

$$As = 0,01 \text{ m}^2$$

*Diámetro de cada Filtro:* se calcula mediante la ecuación (3)

$$D = \sqrt{\frac{4 A_s}{\pi}} \quad (3)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 (0,01)m^2}{\pi}}$$

$$D = 11 \text{ cm}$$

Con estos cálculos se determinó el diámetro del filtro para el tratamiento 1 y 2.

Una vez hechos los cálculos correspondientes para las dimensiones del tratamiento, se elaboró la tabla 4, la cual muestra un resumen de todos los datos correspondientes.

**Tabla 4**

*Resumen de dimensiones de filtros*

<b>Parámetro</b>		<b>Valor</b>
Número de filtros	N	4
Velocidad de filtrado (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .día)	q	7
Área de cada filtro (m <sup>2</sup> )	As	0,01
Diámetro de cada filtro (cm)	D	11
Altura capa de grava (cm)	Acg	20
Altura capa de arena (cm)	ACa	25
Altura capa de cuarcita (cm)	Acc	25
Altura capa de carbón activado (cm)	Acca	20



### **Esquema del Tratamiento 1**

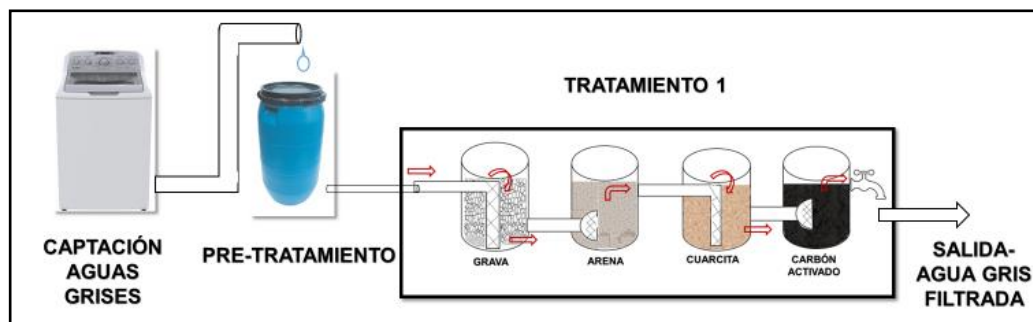
Para el tratamiento 1 se diseñó una multicámara horizontal con flujo hidráulico sin inyección de oxígeno. El sistema de funcionamiento de este tratamiento se divide en tres etapas:

- Captación de Aguas Grises: Se captaron las aguas grises de la lavadora, conduciendo el agua al envase para pre-sedimentación.
- Pre-sedimentación: Para la pre sedimentación, se llenó un cilindro con 60L de agua gris.
- Tratamiento: Cuatro filtros diferentes, siendo el primero de grava, el segundo de arena, el tercero de cuarcita y el último de carbón activado, dichos filtros fueron acomodados del material filtrante más grueso al más fino.

El esquema descrito, se puede visualizar en la figura 2.

**Figura 2**

*Esquema general del sistema de tratamiento 1*



*Nota.* Tratamiento mediante multicámara horizontal con flujo hidráulico sin inyección de oxígeno con material filtrante grueso al más fino (grava, arena, cuarcita y carbón activado).

Para la dosificación de Sulfato de Aluminio, este se determinó mediante ensayos de pruebas de jarras. Empezando por la dosis más baja (0,1 gr/L), aumentando progresivamente para encontrar la óptima dosis siendo de 0,6 gr/L de Sulfato de Aluminio aplicadas para lograr la remoción de la materia orgánica mediante coagulación química, logrando clarificar el agua gris en un tiempo de dos horas aproximadamente.

El agua pre-tratada pasó por los cabezales de filtros de grava, continuando por la cápsula filtrante de arena, cuarcita y finalmente con el carbón activado,

obteniendo un agua más clarificada, sin olor y con buenas características de calidad de agua.

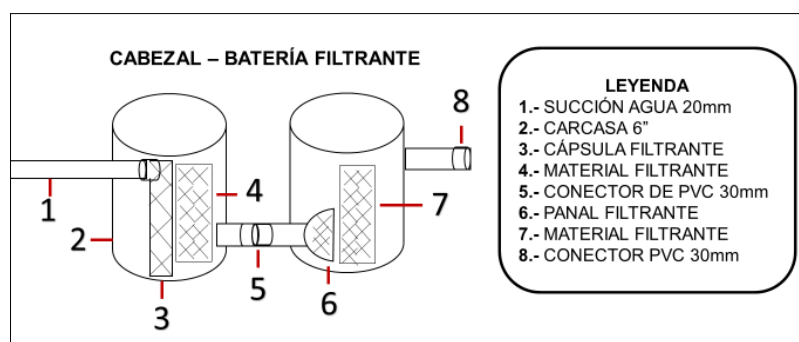
Cada cabezal del prototipo midió 35 cm exactamente, con diferentes cantidades de material filtrante para obtener un mayor porcentaje de remoción, donde se dispusieron las siguientes cantidades:

- 1er Cabezal (Grava): 20 cm
- 2do Cabezal (Arena): 25 cm
- 3er Cabezal (Cuarcita): 25 cm
- 4to Cabezal (Carbón activado): 20 cm

En la figura 3 se describe todos los materiales a utilizarse para la conexión de los cabezales.

### Figura 3

*Descripción de materiales utilizados en el tratamiento 1 y 2*



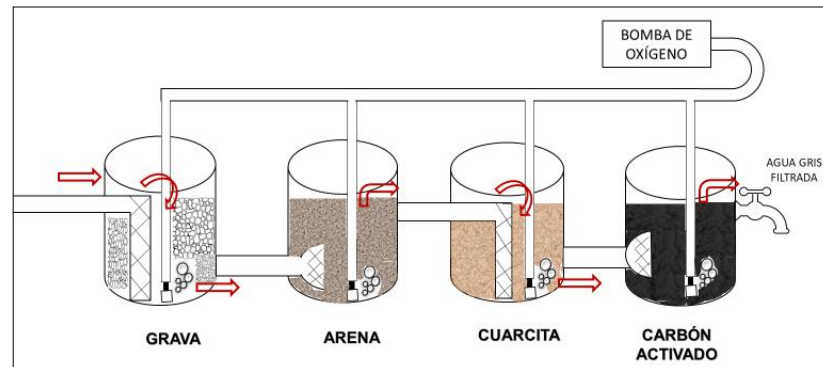
*Nota.* materiales utilizados para elaborar el diseño y lograr una filtración eficaz para tratar el agua gris de lavado de ropa.

### **Esquema del Tratamiento 2**

El tratamiento 2 al igual que el tratamiento 1 cuenta con la etapa de captación de aguas grises y la pre sedimentación, seguido de una multicámara horizontal con inyección de oxígeno mediante panel fotovoltaico. Integrado por cuatro filtros diferentes, siendo el primero de grava, el segundo de arena, el tercero de cuarcita y el último de carbón activado, dichos filtros fueron acomodados del material filtrante más grueso al más fino, los cuales se pueden visualizar en la figura 4.

**Figura 4**

*Multicámara horizontal con inyección de oxígeno*



*Nota.* Tratamiento mediante multicámara horizontal con inyección de oxígeno mediante panel fotovoltaico.

Para determinar la dosificación de sulfato de aluminio del tratamiento 2, se emplea la misma técnica que se empleó en el tratamiento 1.

Para este sistema de tratamiento se utilizó un panel solar para generar energía fotovoltaica, siendo conectado a un regulador, batería de 20 A, inversor de corriente y una bomba de aire con una potencia de 2,5 W con una presión de 0,02 Mpa. Cada cabezal contuvo una piedra difusora conectada a la bomba de aire para inyectar oxígeno, véase la figura 5.

**Figura 5**

*Conexiones mediante cableado desde el panel solar a la bomba de oxígeno*



El agua pre-tratada pasó por los cabezales de filtros de grava, continuando por la cápsula filtrante de arena, cuarcita y finalmente con el carbón activado, obteniendo un agua no tan clarificada debido al movimiento del agua, sin olor y con buenas características de calidad de agua. Para poder lograr la inyección de oxígeno en cada cabezal se utilizaron los materiales que se muestran en la tabla 5.

**Tabla 5**

*Materiales usados para la generación de inyección de oxígeno mediante energía fotovoltaica.*

<b>Material</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo en soles</b>
1 bomba de oxígeno para acuario	Potencia de 2,5 W Requerimiento de tomacorriente de 220 – 240 V Presión 0.02 Mpa	25
4 piedras difusoras	Estructura cerámica muy porosa Flotabilidad negativa Peso 5gr	12
1 panel fotovoltaico	Tipo de módulo 30 – 36 Tolerancia de potencia de 30 V Voltaje de circuito abierto 22.54 V Temperatura nominal de la celda operativa (4 – 2 °C) Peso 2,6 Kg	150
1 inversor de corriente	300 W	90
1 regulador	10 A	50
1 batería	20 A Ciclo profundo	90
1 regulador	21 V	30
<b>Total</b>		<b>447</b>

### 3.4.2.2. Diseño del Tratamiento Nº 3:

Para este diseño el Dimensionamiento del Sistema de Filtración varía en cuanto al Tratamiento 1 y 2, ya que este diseño es con flujo hidráulico tipo vertical y los materiales filtrantes son por capas.

Criterios de Diseño:

*Velocidad de filtración*

Por ser un filtro de velocidad de filtración lenta media, y de forma vertical se tomó el valor de 14 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>dia.

*Cálculos para diseño de sistema de tratamiento 3:*

*Área total de Filtración:* Se calcula mediante la ecuación (1)

$$A_{tf} = \frac{0.28 \text{ m}^3/\text{día}}{14 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \cdot \text{m}^2}$$

$$A_{tf} = 0.02 \text{ m}^2$$

*Área Superficial para cada Filtro:* Se calcula mediante la ecuación (2)

$$A_s = \frac{0.02 \text{ m}^2}{1}$$

$$A_s = 0.02 \text{ m}^2$$

*Diámetro de cada Filtro:* Se calcula mediante la ecuación (3)

$$D = \sqrt{\frac{4 (0.02) \text{m}^2}{\pi}}$$

$$D = 16 \text{ cm}$$

Con estos cálculos se determinó el diámetro del filtro vertical.

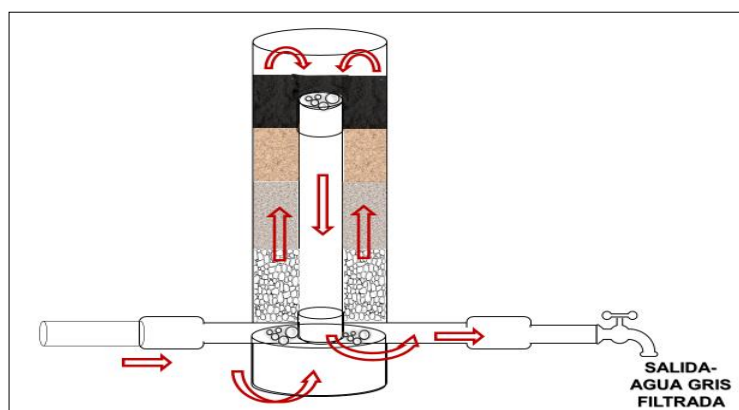
Una vez hechos los cálculos correspondientes para las dimensiones del tratamiento, se elaboró la tabla 6, la cual muestra un resumen de todos los datos correspondientes.

**Tabla 6***Resumen de dimensiones de filtros*

Parámetro		Valor
Número de filtros	N	1
Velocidad de filtrado ( $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$ )	q	14 $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$
Área de cada filtro ( $\text{m}^2$ )	As	0,02 $\text{m}^2$
Diámetro de cada filtro (cm)	D	16 cm
Altura capa de grava (cm)	Acg	12,5 cm
Altura capa de arena (cm)	ACa	215,6 cm
Altura capa de cuarcita (cm)	Acc	11 cm
Altura capa de carbón activado (cm)	Acca	10,9 cm

**Esquema del Tratamiento 3**

El tratamiento 3 al igual que los tratamientos previos, cuenta con la etapa de captación de aguas grises y la pre sedimentación, seguido de una filtración por capas con flujo hidráulico tipo vertical sin inyección de oxígeno con material filtrante grueso al más fino (grava, arena de playa, cuarcita, carbón activado), los cuales se muestran la figura 6.

**Figura 6***Filtración por capas con flujo hidráulico*

*Nota.* Diseño Mediante filtración por capas con flujo hidráulico tipo vertical sin inyección de oxígeno con material filtrante grueso al más fino

Para determinar la dosificación de sulfato de aluminio del tratamiento 3 es el mismo que se realizó en los tratamientos previos.

Se ingresó el agua de lavado de ropa pre-sedimentada al filtro el cual descendió a la base y nuevamente ascendió mediante los hoyos como parte del filtrado, mediante fue ascendiendo el agua se empezó a filtrar con la primera capa que es la grava, continuó filtrando en la segunda capa con arena, cuarcita y finalmente con el carbón activado; descendió hacia el medio del filtro, donde se encontraba el tubo con pequeños hoyos, posteriormente el agua fue llevada mediante los tubos hacia la salida con el agua gris ya filtrada.

La medida total del filtro fue de 90 cm incluyendo la base, pero el filtro usado fue de 50 cm dónde las capas se dividieron en cuatro, con las siguientes medidas:

- Grava 12,5 cm.
- Arena 15,6 cm.
- Cuarcita 11 cm.
- Carbón Activado 10,9 cm.

Para este prototipo se diseñó tomando en cuenta referencias pasadas, aplicadas a la realidad, siendo elaboradas por un contrato de servicio. Los materiales usados para este tratamiento se muestran en la tabla 7.

**Tabla 7**

*Materiales del tratamiento 3 y presupuesto*

Ítem	Descripción	Cantidad	Precio en soles
1	Metro tubo 2 "	1	4,10
2	Metro tubo 4 "	1	7
3	Metro 3 "	1	5
4	Tubo 6 " pesado	½	50
5	Cruceta 6x3	1	45
6	Codo 3"	1	9
7	Pegamento azul	1	12
8	Tapa 6 "	3	36
9	Tapón 2 "	2	10
10	Reducción 90x63	1	7
11	Tapón 4 "	1	6
12	Reducción 3x2	2	12
13	Reducción 2x1	2	10
14	Reducción 1x ¾	2	7
15	Pegamento azul	1	10
16	Cinta teflón	5	10
Total (compartido con primer filtro compacto)			240,10

### 3.4.2.3. Análisis de Laboratorio

Seguidamente, para hacer el análisis en el laboratorio de la EPS Tacna S.A, tanto como para el tratamiento 1, 2 y 3; se tomaron muestras tal como lo muestra la figura 7.

**Figura 7**

*Toma de muestra de los tratamiento 1, 2 y 3.*



*Nota.* Toma de muestras de cada uno de los tratamientos.

Seguidamente se transportaron al laboratorio 2000 mL de muestras por cada repetición (tres repeticiones) para cada sistema de tratamiento, además de 2 L de muestra para el agua cruda (como comparación), en frascos de PVC, con capacidad de 1000 mL boca angosta con cierre hermético y limpio. Tal como se muestra en la figura 8.

**Figura 8**

*Toma de muestra de agua gris (agua cruda)*



*Nota.* Muestras en frascos de PVC para llevarlos a analizar.

Los resultados de los análisis de los parámetros fisicoquímicos se encuentran en la tabla 9.



### **3.4.3. Etapa III: Metodologías de Laboratorio Aplicados**

#### **3.4.3.1. Metodología Análisis Microbiológico**

##### *Metodología DBO*

- Disponer del agua de dilución necesaria en una botella y agregar por cada litro, 1 mL de cada una de las siguientes soluciones: tampón fosfato,  $MgSO_4$ ,  $CaCl_2$ , y  $FeCl_3$ .
- Permanecer a una temperatura de 20 °C antes de su uso; saturarla con OD por agitación en una botella parcialmente llena. Emplear material de vidrio bien limpio para proteger la calidad del agua.
- Verificación del agua de dilución.
- Colmar una botella de DBO con agua de dilución, determinar el OD inicial, incubar a 20 °C por 5 días y evaluar el OD final como se describe en 6,8 y 6,10. El OD consumido en este lapso no debe ser mayor de 0,2 mg/L y preferiblemente menor de 0,1 mg/L.
- Controlar la calidad del agua de dilución, la efectividad de las semillas y la técnica analítica, mediante control de la DBO para compuestos orgánicos puros y muestras con adiciones conocidas.
- Determinar la DBO5 a 20°C de una dilución al 2% de la solución estándar de chequeo glucosa-ácido glutámico mediante las técnicas descritas en los numerales 6,4 a 6,10. Evaluar los datos como se describe en la sección de Precisión (Calderón, 1997).

#### **3.4.3.2. Análisis fisicoquímico:**

##### *Metodología pH:*

- Para esta metodología se utilizará un Multiparámetro del cual:
- Se toma una muestra del agua residual 100 mL aproximadamente.
- Se coloca la muestra en un vaso de precipitado de 250 mL, se introduce el electrodo para posteriormente evaluar el nivel del pH.
- Se anota el resultado una vez estabilizado el Multiparámetro.

*Metodología Temperatura:*

- Para evaluar la temperatura del pH, se utilizará un termómetro.
- Se tomará una muestra de 100 mL aproximadamente.
- Se coloca la muestra en un vaso de precipitado de 250 mL.
- Se coloca el termómetro y se anota el resultado al estabilizarlo completamente.

*Metodología Conductividad Eléctrica:*

- Para esta metodología se utilizará un Multiparámetro del cual:
- Se toma una muestra de 100 mL aproximadamente vertido en un vaso de precipitado.
- Se introduce el electrodo de conductividad en un vaso de precipitado de 250 mL con la muestra.
- Se anota el resultado una vez estabilizado según el Multiparámetro.

*Metodología Turbidez*

- Para esta metodología se utilizará un turbidímetro Hach:
- Se toma una muestra en una celda de 10 mL con tapa rosca.
- Se introduce la celda en el turbidímetro para su posterior análisis y nota del resultado.

*Metodología Arsénico:*

Para esta metodología se utilizará un kit de prueba de arsénico de bajo rango marca Hach.

Procedimiento de análisis de 0 a 500 ppb (0, 10, 25, 50, 100, 250, 500 ppb).

- a) Colocar una tira de análisis en la tapa del frasco de manera que la almohadilla cubra el orificio pequeño por completo. Cerrar la parte superior de la tapa y presionar para que quede bien cerrada.
- b) Verter al frasco de reacción con muestra hasta la marca (50 mL).
- c) Colocar a la muestra un sobre del reactivo en polvo 1 y un sobre del reactivo en polvo 2.
- d) Tapar inmediatamente el frasco de reacción. Agitar, con rotación, para mezclar en forma continua durante 60 segundos. No sacudir ni invertir la muestra y evitar que toque la tira.

- e) Evaluar después de 20 minutos. Agitar con rotación para mezclar la solución dos veces durante el periodo de reacción.

#### *Metodología Sólidos Sedimentables*

- Para el análisis de sólidos sedimentables se usarán los Conos Imhoff, con la siguiente metodología:
- Primeramente, dejar que la muestra alcance la temperatura ambiente del laboratorio.
- Mezclar bien la muestra por agitación.
- Llenar el cono Imhoff, hasta la marca de 1 L y verter toda la muestra anotando el volumen (esto último para realizar los cálculos).
- Dejar sedimentar por 45 minutos.
- Remover suavemente las paredes del cono con una varilla agitadora.
- Dejar sedimentar 15 minutos más.
- Anotar el volumen de sólidos sedimentables como mL/L.

#### *Metodología Nitratos*

Para esta metodología se utilizará un kit de prueba de nitratos de bajo rango marca Hach. El cual se siguieron todos los procedimientos de la Metodología del Kit Hach.

#### *Metodología Nitritos*

Para esta metodología se utilizará un kit de prueba de nitritos de bajo rango marca Hach. El cual se siguieron todos los procedimientos de la Metodología del Kit Hach.

#### *Metodología Aluminio*

Para esta metodología se utilizará el espectrofotómetro del laboratorio de la EPS Tacna.

- Llenar una bureta de 50 mL de Muestra y añadir el contenido de un sobre de Aluminium ECR reagent, disolver el contenido por unos 30 segundos.
- Añadir el contenido del sobre buffer hexametenetramine y disolver.

- Dividir la muestra en dos celdas de 25 mL y en la muestra patrón agregar dos gotas de ECR masking.
- Encender el espectrofotómetro y colocar N° de método nueve, regular a 535 nm y analizar.

#### *Metodología Alcalinidad*

Para esta metodología se utilizó el método conocido del laboratorio de la EPS.

- Tomar 25 mL de muestra en un matraz y luego agregar gotas de fenolftaleína hasta que cambie de color, este es para obtener AF (alcalinidad fenolftaleína) se expresa en:  $Af = N^{\circ} \text{ gotas} \times 2$ .
- Para Alcalinidad total de la muestra que contiene fenolftaleína agregar tres gotas de indicador (verde de bromocresol) o (rojo de fenol); agitar y agregar gota a gota el ácido sulfúrico hasta que cambie de color; el resultado se expresa:  $AT = N^{\circ} \text{ de gotas} \times 2$ .

Los resultados de los análisis de los parámetros fisicoquímicos se encuentran en la tabla 9.

### **3.5. Procesamiento y análisis de datos**

La información recabada fue registrada en una base de datos, las cuales fueron recopiladas en formatos Excel que sirvió para la elaboración de tablas y figuras. Se indicaron los resultados obtenidos, las incidencias presentadas y las medidas correctivas adoptadas.

Para realizar el análisis estadístico fue conveniente utilizar las pruebas de medias con el análisis de varianza (ANOVA) respecto a la hipótesis y evaluación de las variables independientes y dependientes para la posterior valoración de ellas. Se trabajó con la prueba de estadística de un  $\alpha = 0,05$ . Se utilizó el programa Statgraphics versión 2018 para evaluación de todos los datos hallados.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS

### 4.1. Caracterización del Agua Gris de Lavadora por Laboratorio Acreditado

Los valores de los parámetros fisicoquímicos e inorgánicos de agua residual (aguas grises) de la lavadora de ropa, analizados por el laboratorio acreditado se presentan en la tabla 8. La especificación se adjunta en el Anexo 2.

**Tabla 8**

*Resultado de laboratorio acreditado de aguas residuales de lavadora*

Parámetros	Unidad de medida	Muestra inicial	ECA – Categoría 3	
			VMA	D1: Riego de vegetales
Fisicoquímicos				
pH	Unidad de pH	9,55	6 - 9	6,5 – 8,5
Temperatura	°C	19,4	<35	Δ 3
Aceites y grasas	mg/L	31,3	**	5
Bicarbonatos	mg/L	**	**	518
DBO <sub>5</sub>	mg/L	343	500	115
DQO	mg/L	835	1000	40
Inorgánicos				
Aluminio	mg/L	1,76	10	5
Arsénico	mg/L	0,03	0.5	0,1
Boro	mg/L	0,4	**	1
Cobre	mg/L	0,07	**	0,2
Hierro	mg/L	1,98	**	5
Magnesio	mg/L	14	**	**
Mercurio	mg/L	< 0,001	**	0,001
Plomo	mg/L	0,006	**	0,05
Zinc	mg/L	1,2	**	2

*Nota.* \*\* no se registraron datos.

Los datos se pueden visualizar en el informe de ensayo N° 000041603 (Ver Anexo 2)

#### 4.1.1. Interpretación de la Caracterización de las Aguas Grises

Según los resultados obtenidos de la evaluación de las aguas grises, se aprecia que el pH es el único parámetro que excede al valor de nueve expresado en los Valores Máximos Admisibles (VMA). Los demás parámetros evaluados no exceden los valores según el Decreto Supremo N°10-2019-VIVIENDA, ver Anexo 3.

Se aprecia también que, aceites y grasas, DBO y DQO, son los parámetros que exceden los valores del ECA categoría 3: riego de vegetales, subcategoría D1: Riego de vegetales; en donde el parámetro aceites y grasas con 31,3 mg/L, DBO con 343 mg/L y DQO con 835 mg/L exceden a los valores de 5 mg/L, 115 mg/L y 40 mg/L respectivamente expresado en el ECA Agua para categoría 3, D1. Los valores del ECA se pueden visualizar en el Anexo 4

Los demás parámetros analizados según se muestra en la Tabla 8, no exceden los valores del D.S. N° 004-2017-MINAM, Estándares de Calidad Ambiental para Agua categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales subcategoría D1: Riego de vegetales.

#### **4.2. Resultados de los Análisis Físicoquímicos por Tratamientos (Punto de Inicio)**

Se realizaron tres repeticiones de cada tratamiento de aguas grises, las muestras de dichos tratamientos se llevaron a un laboratorio acreditado, al igual que muestras de agua no tratada, la cual denominamos como agua cruda, para así poder realizar una comparación de estas. Los resultados de las repeticiones de los tratamientos como el agua cruda se compararon con el ECA de categoría 3, subcategoría D1: agua de riego, y con el VMA según el Decreto Supremo N°10-2019-VIVIENDA, ver Anexo 3.

Los resultados de los parámetros físicoquímicos e inorgánicos de aguas grises por cada tratamiento analizado por un laboratorio acreditado se presentan en la tabla 9.

**Tabla 9**

*Comparación de Parámetros realizados respecto a VMA y Estándar de Calidad Ambiental- Categoría 3. D1*

Parámetro	Unidad	VMA	ECA-cat. 3	Tratamiento 1						Tratamiento 2				Tratamiento 3			
			D1	AC	R1	R2	R3	R4	R5	AC	R1	R2	R3	AC	R1	R2	R3
Fisicoquímicos																	
Temperatura	°C	<35	Δ 3	20,5	20	20,4	20,3	20,5	20,5	21	19,9	19,8	19,9	10,1	8,1	8,95	8,15
pH	Unidad de pH	6,0-9,0	6,5 - 8,5	7,83	6,94	6,86	6,84	6,84	6,8	9,25	5,85	5,75	5,82	9,48	7,72	7,65	7,68
Conductividad	(μS/cm)	**	2 500	1 797	2 179	2 210	2 210	2 210	2 200	1 626	1 942	1 951	1 954	1 722	2 021	2 084	2071
Turbidez	NTU	**	**	234	5,21	4,27	5,17	5,5	4,1	274,3	22,9	30,3	23,3	321	35,8	24,9	33,4
SS	mg/L	8.5	**	0,5	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	1,7	0	0	0
DBO	mg/L	500	15	**	35	**	**	**	**	**	80	**	**	**	88	**	**
DQO	mg/L	1000	40	**	81	**	**	**	**	**	170	**	**	**	186	**	**
Bicarbonatos	mg/L	**		0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	2	0	0	0
	mg/L	**	518	180	116	130	195	126	144	300	108	92	112	380	102	114	116
Inorgánicos																	
Nitratos	mg/L	**	100	2	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	3,9	0,7	0,7	0,7
Nitritos	mg/L	**	10	0,09	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03	0,06	0,01	0,01	0,01	0,1	0,2	0,07	0,08
Arsénico	mg/L	0,5	0,1	0	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0
Aluminio	mg/L	10	5	0	0,006	0,007	0,003	0,002	0,001	0,003	0,1	0,1	0,1	0,001	0,012	0,02	0,021

Nota: (c): Δ 3: significa variación de 3 °C respecto al promedio mensual multianual del área evaluada. El símbolo \*\* dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría. AC es agua cruda. R1, R2 R3, R4 y R5, significa cada número de repetición por tratamiento.

### **Resultados del Tratamiento 1**

Los resultados de evaluación del tratamiento 1, nos muestra que el porcentaje de remoción de los parámetros fisicoquímicos: Turbidez fue de (97,9 %), de sólidos sedimentables (100 %), Alcalinidad (21 %), Nitratos (69 %), Nitritos (81,1 %); notando que hubo un ascenso en los valores de conductividad eléctrica (22,5 %) en comparación a la muestra de ingreso de sistema. Para los porcentajes de remoción de los parámetros DBO y DQO, se tomó como base los valores de caracterización del agua gris de la lavadora realizado por laboratorio acreditado, en donde el porcentaje de remoción fue de DBO (89,8 %) y DQO (90,3 %). Los parámetros arsénico y aluminio se incrementaron en relación al ingreso (0), por lo cual no se pudo calcular porcentaje de remoción.

En cuanto al cumplimiento del VMA, de los parámetros exigidos en el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA, son cumplidos todos los valores evaluados en este Tratamiento. Y para el cumplimiento del ECA-Agua, de los parámetros exigidos en el D.S. N° 004-2017-MINAM, Estándares de Calidad Ambiental para Agua categoría 3: riego de vegetales, subcategoría D1: Riego de vegetales; los parámetros DBO y DQO, no cumplen los estándares exigidos, pero si disminuyeron en relación a los valores previos al tratamiento. Los resultados se muestran en la tabla 10.



**Tabla 10***Resultados del tratamiento 1*

Parámetros evaluados	Unidad	VMA	ECA cat. 3		AC	AT	% ER
			D1: Riego de vegetales				
Fisicoquímicos							
Temperatura	°C	<35	Δ 3		20,5	20,4	**
pH	Unidad de pH	6,0-9,0	6,5 -8,5		7,83	6,86	**
Conductividad	(μS/cm)	**	2500		1 797	2 202	- 22,5
Turbidez	NTU	**	**		234	4,85	97,9
SS	mg/L	8,5	**		0,5	0	100
DBO	mg/L	500	15		343	35	89,8
DQO	mg/L	1000	40		835	81	90
Bicarbonatos	mg/L	**	518		0 180	0 142	 21
Inorgánicos							
Nitratos	mg/L	**	100		2	0,62	69
Nitritos	mg/L	**	10		0,1	0,02	81,1
Arsénico	mg/L	0,5	0,1		0	0,01	**
Aluminio	mg/L	10	5		0	0,004	**

*Nota.* AC es agua cruda, AT agua tratada y % ER porcentaje de remoción. \*\* no se registran datos.

### **Resultados del Tratamiento 2**

Los resultados de evaluación del tratamiento 2, nos muestra que el porcentaje de remoción de los parámetros fisicoquímicos fue de: Turbidez (90,7 %), de sólidos sedimentables (100 %), Alcalinidad (65,3 %), Nitratos (33.3 %), Nitritos (77.7 %); con la percepción que hubo crecimiento en los valores de conductividad eléctrica (-19.9 %) y aluminio (-3167 %) en comparación a la muestra cruda. Para los porcentajes de remoción de los parámetros DBO y DQO, se tomó como base los valores de caracterización del agua gris de la lavadora realizado por laboratorio acreditado, en donde el porcentaje de remoción fue de DBO (76,7 %) y DQO (79.7 %). El parámetro arsénico tuvo valores de 0.

En cuanto al cumplimiento del VMA, de los parámetros exigidos en el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA, NO se cumple con el parámetro pH, ya que el valor es muy bajo al exigido, sin embargo, los demás parámetros evaluados, si cumplen con los Valores Máximos Admisibles. En cuanto al cumplimiento del ECA-Agua, de los

parámetros exigidos en el D.S. N° 004-2017-MINAM, Estándares de Calidad Ambiental para Agua categoría 3: riego de vegetales, subcategoría D1: Riego de vegetales; los parámetros DBO, DQO y pH, NO cumplen los estándares exigidos, pero si disminuyeron en relación a los valores previos al tratamiento. Los resultados se muestran en la tabla 11.

**Tabla 11**

*Resultados del tratamiento 2*

Parámetros evaluados	Unidad	VMA	ECA cat. 3	AC	AT	% ER
			D1: Riego de vegetales			
Fisicoquímicos						
Temperatura	°C	<35	Δ 3	21	19,9	**
pH	Unidad de pH	6 - 9	6,5 – 8,5	9,25	5,8	**
Conductividad	(μS/cm)	**	2 500	1 626	1 949	- 19,9
Turbidez	NTU	**	**	274	25,48	90,7
SS	mg/L	8,5	**	0,5	0	100
DBO	mg/L	500	15	343	80	76,7
DQO	mg/L	1 000	40	835	170	79,7
Bicarbonatos	mg/L	**	518	4 300	0 104	100 65,3
Inorgánicos						
Nitratos	mg/L	**	100	0,6	0,4	33,2
Nitritos	mg/L	**	10	0,06	0,01	77,7
Arsénico	mg/L	0,5	0,1	0	0	**
Aluminio	mg/L	10	5	0,098	- 3 167	**

*Nota.* AC es agua cruda, AT agua tratada y % ER porcentaje de remoción. \*\* no se registran datos.

### **Resultados del Tratamiento 3**

Los resultados de evaluación del tratamiento 3, nos muestra que el porcentaje de remoción de los parámetros fisicoquímicos fue de: Turbidez (90,2 %), de sólidos sedimentables (100 %), Alcalinidad (70,9 %), Nitratos (82,1 %), Nitritos (9,84 %); denotando que hubo crecimiento en los valores de conductividad eléctrica (- 19,6 %) y aluminio (- 1 600 %) en comparación a la muestra cruda. Para los porcentajes de remoción de los parámetros DBO y DQO, se tomó como base los valores de caracterización del agua gris de la lavadora realizado por laboratorio acreditado, en

donde el porcentaje de remoción fue de DBO (74,3 %) y DQO (77,7 %). El parámetro arsénico tuvo valores de 0.

En cuanto al cumplimiento del VMA, de los parámetros exigidos en el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA, son cumplidos todos los valores evaluados en este tratamiento. En cuanto al cumplimiento del ECA-Agua, de los parámetros exigidos en el D.S. N° 004-2017-MINAM, Estándares de Calidad Ambiental para Agua categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales subcategoría D1: Riego de vegetales; los parámetros DBO, DQO, NO cumplen los estándares exigidos, pero si disminuyeron en relación a los valores previos al tratamiento. Los resultados se muestran en la tabla 12.

**Tabla 12**

*Resultados del tratamiento 3*

Parámetros evaluados	Unidad	VMA	ECA cat. 3		AT	% ER
			D1: Riego de vegetales	AC		
Fisicoquímicos						
Temperatura	°C	<35	Δ 3	10,1	8,4	**
pH	Unidad de pH	6 - 9	6,5 - 8,5	9,48	7,68	**
Conductividad	(μS/cm)	**	2 500	1 722	2 059	- 19,6
Turbidez	NTU	**	**	321	31,3	90,2
SS	mg/L	8,5	**	1,7	0	100
DBO	mg/L	500	15	342	88	74,3
DQO	mg/L	1000	40	835	186	77,7
Bicarbonatos	mg/L	**	518	2 380	0 110	100 70,9
Inorgánicos						
Nitratos	mg/L	**	100	3,9	0,7	82,1
Nitritos	mg/L	**	10	0,12	0,11	9,84
Arsénico	mg/L	0,5	0,1	0	0	**
Aluminio	mg/L	10	0,001	0,02	- 1 600	**

*Nota.* AC es agua cruda, AT agua tratada y % ER porcentaje de remoción. \*\* no se registran datos.

### **Porcentaje de remoción**

Se calculó el porcentaje de remoción que cada tratamiento pudo obtener, para así determinar la eficacia frente a sus respectivos ingresos para los parámetros fisicoquímicos e inorgánicos. Los resultados se muestran en la tabla 13.

**Tabla 13***Porcentaje de remoción de los tres tratamientos y su promedio*

Parámetros evaluados	Tratamiento 1			Tratamiento 2			Tratamiento 3		
	Agua cruda	Promedio	% remoción	Agua cruda	Promedio	% remoción	Agua cruda	Promedio	% remoción
Fisicoquímicos									
Temperatura	20,5	20,4	**	21	19,9	**	10,1	8,4	**
pH	7,83	6,86	**	9,25	5,8	**	9,48	7,68	**
Conductividad	1 797	2 202	- 22,5	1 626	1 949	- 19,9	1 722	2 059	- 19,6
Turbidez	234	4,85	97,9	274	25,5	90,7	321	31,3	90,2
SS	0,5	0	100	0,5	0	100	1,7	0	100
DBO	343	35	90	342	80	76,7	343	88	74,3
DQO	835	81	90	835	170	79,7	835	186	77,7
Alcalinidad	0	0		4	0	100	2	0	100
	180	142	21	300	104	65,3	380	111	70,9
Inorgánicos									
Nitratos	2	0,6	69	0,6	0,4	33,3	3,9	0,7	82,1
Nitritos	0,09	0,02	81,1	0,06	0,01	77,7	0,12	0,11	9,8
Arsénico	0	0,01		0	0		0	0	
Aluminio	0	0,004		0,003	0,1	- 3 167	0,001	0,02	- 1 600

*Nota.* La tabla nos muestra un resumen de la eficacia de remoción de las muestras obtenidas de cada tratamiento frente a sus respectivos ingresos para los parámetros fisicoquímicos e inorgánicos.

### 4.3. Comparación Estadística de los Tratamientos

Seguidamente, se muestra los resultados de la comparación estadística de para los parámetros que se evaluaron a la salida de cada tratamiento y comparados entre sí, con el fin de establecer que tratamiento desempeñó un mayor porcentaje de remoción de los contaminantes.

Utilizando el programa Sthographic Centurión 18 y con un diseño multifactorial se halló las siguientes comparaciones entre los tres tratamientos, los resultados son los siguientes:

#### 4.3.1. Temperatura

El estudio de varianza de la comparación de medias de la variable Temperatura entre los tres tratamientos, muestra que, la razón-F, es igual a 37,1, y el valor-P de la prueba F (0,0004) es menor que 0,05, lo que confirma que existe una diferencia estadísticamente significativa con un nivel de confianza de 95 %.

**Tabla 14**

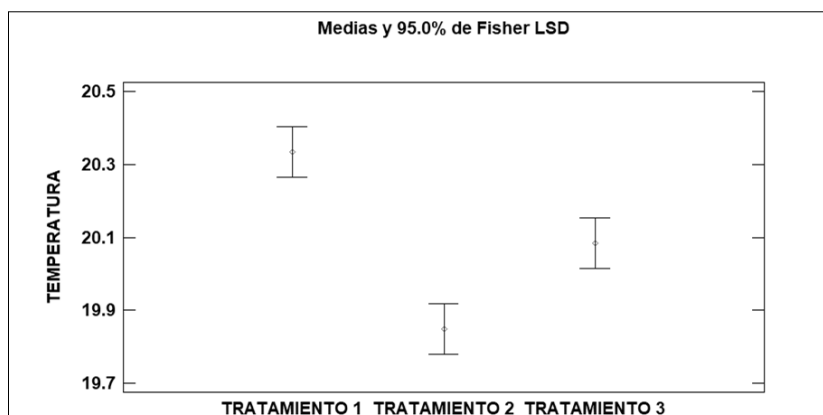
*Tabla ANOVA para el parámetro de temperatura*

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón - F	Valor - P
Entre grupos	0,35	2	0,18	37,1	0,004
Intra grupos	0,028	6	0,005		
Total (corr.)	0,38	8			

La prueba estadística nos indica aquellas medias que fueron significativamente diferente de otras, el cual se reportó que los tres tratamientos son completamente diferentes, siendo el tratamiento 1 el que obtuvo la temperatura más alta oscilando los valores entre (20,2 y 20,4), mientras que el tratamiento 2 obtuvo los valores más bajos manteniéndose entre (19,8 y 19,9); por otra parte, el tratamiento 3 obtuvo valores medios encontrándose sus valores entre (20 a 20,2), los valores de medias se pueden observar en la figura 9.

### Figura 9

Valores de medias de la temperatura en los tres tratamientos al 95 % del nivel de confianza.



#### 4.3.2. pH

El estudio de varianza de la comparación de medias de la variable pH entre los tres tratamientos, muestra que la razón-F, es igual a 1 197 y el valor-P de la prueba F ( $< 0,001$ ) es menor que 0,05, lo que confirma que existe una diferencia estadísticamente significativa con un nivel de confianza de 95 %.

**Tabla 15**

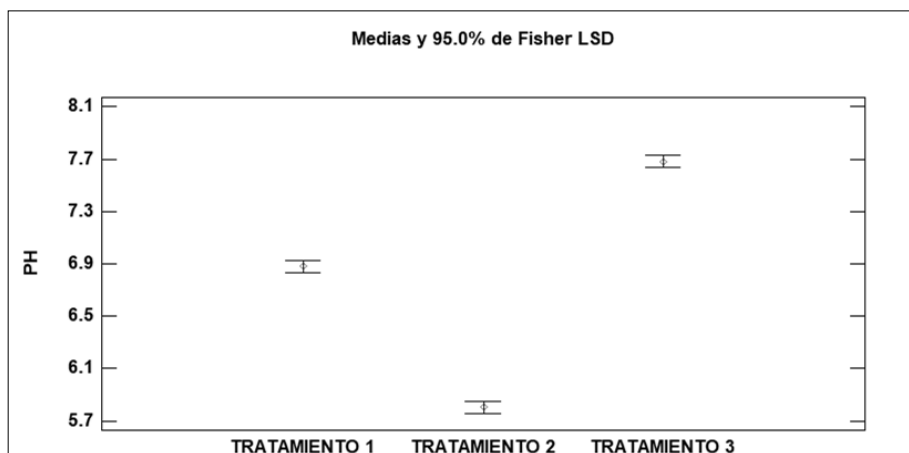
Tabla ANOVA para el parámetro de pH

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón - F	Valor - P
Entre grupos	5,32	2	2,66	1 196	$< 0,001$
Intra grupos	0,013	6	0,002		
Total (corr.)	5,33	8			

La prueba de ANOVA que muestra cuáles medias fue significativamente diferente de otras, reportó que los tres tratamientos tienen medias diferentes, el tratamiento 3 obtuvo los valores más altos (7,7) para el pH, el tratamiento el tratamiento 2 los valores más bajos (5,7), mientras que el tratamiento 1 obtuvo valores medios (6,9) los valores de medios se pueden visualizar en la figura 10.

**Figura 10**

Valores de medias del pH en los tres tratamientos al 95 % del nivel de confianza.



#### 4.3.3. Conductividad Eléctrica

El estudio de varianza de la comparación de medias de Conductividad Eléctrica entre los tres tratamientos, muestra que la razón-F, es igual a 96,9 y el valor-P de la prueba F ( $< 0,001$ ) es menor que 0.05, lo que nos confirma que hay una diferencia estadísticamente significativa con un nivel de confianza de 95 %.

**Tabla 16**

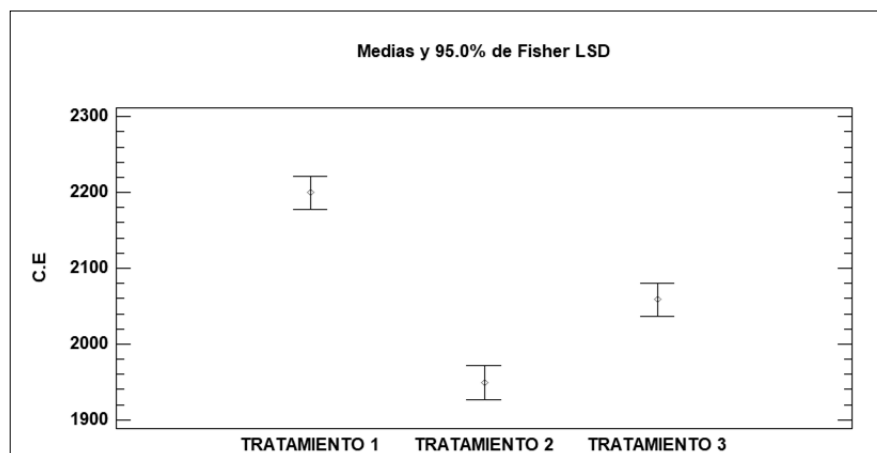
Tabla ANOVA para el parámetro de conductividad eléctrica

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón - F	Valor - P
Entre grupos	94 741	2	47 370	96,9	0
Intra grupos	2 931	6	488		
Total (corr.)	97 672	8			

La prueba ANOVA indica cuáles medias fue significativamente diferente de otras, reportó que los tres tratamientos tienen medias diferentes, el tratamiento 1 obtiene los valores más altos para la conductividad eléctrica (2 200), el tratamiento 2 obtuvo los valores más bajos (1 950), por otra parte, el tratamiento 3 obtuvo los valores medios oscilando entre 2 000 y 2 100, los valores de medios se pueden visualizar en la figura 11.

**Figura 11**

Valores de medias de la conductividad eléctrica en los tres tratamientos al 95 % del nivel de confianza.



#### 4.3.4. Turbidez

El estudio de varianza de la comparación de medias para Turbidez entre los tres tratamientos, señaló que la razón-F, es igual a 34,5 y el valor-P de la prueba-F (0,005) siendo menor que 0,05, el cual decreta una diferencia estadísticamente significativa con un grado de confianza de 95 %.

**Tabla 17**

Tabla ANOVA para el parámetro de turbidez

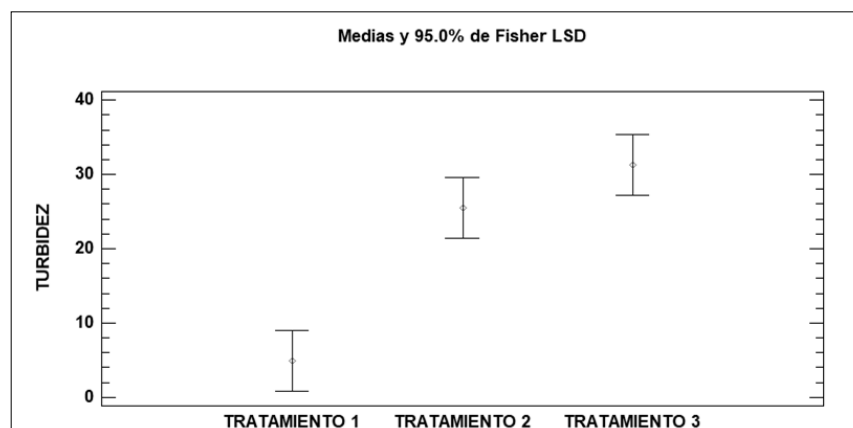
Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón - F	Valor - P
Entre grupos	1 158	2	579	34,5	0,005
Intra grupos	100	6	16,8		
Total (corr.)	1 259	8			

La prueba de ANOVA indica cuáles medias fue significativamente diferente de otras, reportó que los tres tratamientos tienen medias diferentes, los tratamientos 2 y 3 obtuvieron valores similares de turbidez, siendo a su vez estos los más altos oscilando entre 20 a 35, interpretándose también como que son tratamientos iguales; a diferencia del tratamiento 1 que obtuvo los valores más bajos, siendo de 5, los valores de las medias se pueden visualizar en la figura 12.



**Figura 12**

Valores de medias de la Turbidez en los tres tratamientos al 95 % del nivel de confianza.



#### 4.3.5. Alcalinidad

La evaluación comparativa para las medias de alcalinidad entre los tres tratamientos, nos mostró que la razón-F, es igual a 2,48 y el valor-P de la prueba – F (0,16) siendo mayor que 0,05, decretando que no existe una diferencia estadísticamente significativa con un grado de confianza de 95 %.

**Tabla 18**

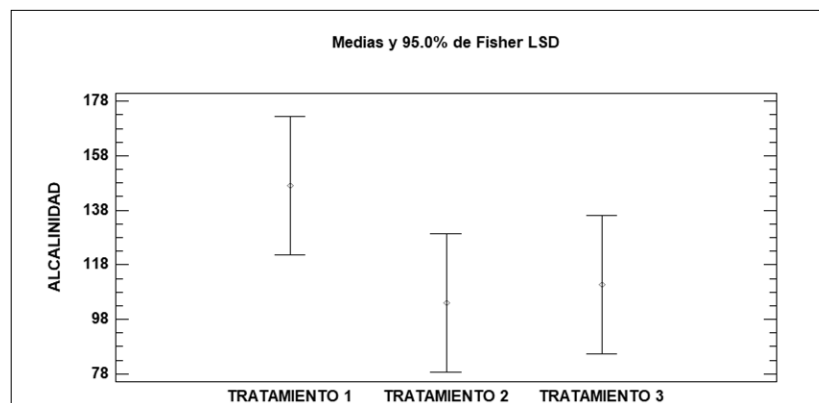
Tabla ANOVA de alcalinidad

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón - F	Valor - P
Entre grupos	3 213	2	1 606	2,48	0,16
Intra grupos	3 892	6	648		
Total (corr.)	7 106	8			

Se reportó que los tres tratamientos son similares, oscilando los valores obtenidos entre 130 a 90; a excepción a una repetición del tratamiento 1 que obtuvo el valor más alto (190) para alcalinidad.

**Figura 13**

Valores de medias de la alcalinidad en los tres tratamientos al 95 % del nivel de confianza.



#### 4.3.6. Nitratos

La evaluación comparativa para Nitratos con gráfica de medias entre los tres tratamientos, nos señaló que la razón-F, es igual a 67 y el valor-P de la prueba-F ( $< 0.001$ ) es menor que 0,05, el cual concretó que hay una diferencia estadísticamente significativa grado de confianza de 95 %.

**Tabla 19**

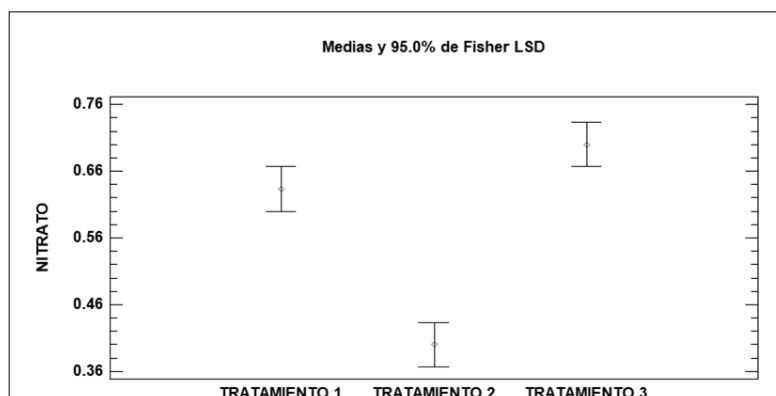
Tabla ANOVA para el parámetro de nitratos

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón - F	Valor - P
Entre grupos	0,15	2	0,07	67	$< 0,001$
Intra grupos	0,007	6	0,001		
Total (corr.)	0,15	8			

Se reportó que el tratamiento 1 y tratamiento 3 obtuvieron valores similares en una de sus pruebas, siendo un valor alto (0,7) de nitrato, el tratamiento 2 que obtuvo los valores más bajos (0,4), los valores de medias se pueden visualizar en la figura 14.

**Figura 14**

Valores de medias del nitrato en los tres tratamientos al 95 % del nivel de confianza.



#### 4.3.7. Nitritos

La comparación de medias en Nitritos entre los tres tratamientos, mostró que la razón-F, es igual a 8,4 y el valor-P de la prueba-F (0,02) es menor que 0,05, el cual concreta que existe una diferencia estadísticamente significativa a un nivel de confianza de 95 %.

**Tabla 20**

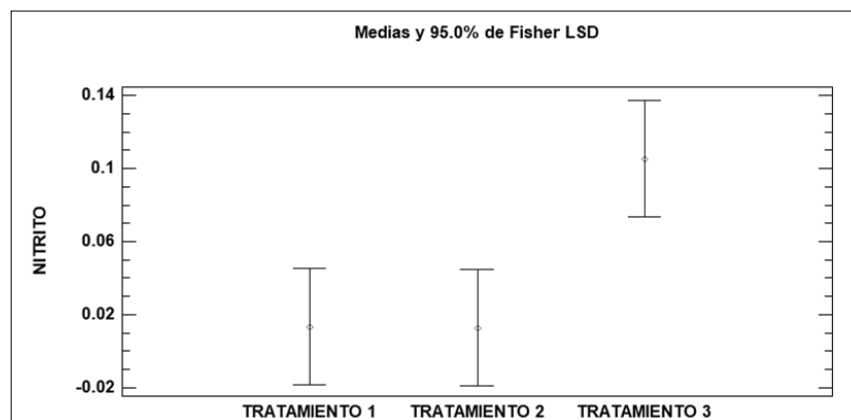
Tabla ANOVA para parámetro de nitritos

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón - F	Valor - P
Entre grupos	0,02	2	0.009	8,4	0,02
Intra grupos	0,006	6	0.001		
Total (corr.)	0,02	8			

Con la tabla mencionada y prueba de medias se reportó que los tratamientos 1 y 2 obtuvieron valores similares de nitrato, siendo también los más bajos (menores a 0,03), lo cual se puede interpretar como que los dos tratamientos son ligeramente iguales; a diferencia del tratamiento 3 que obtuvo los valores más altos de nitrato, oscilando entre 0,06 y 0,18. Los valores de medias se pueden visualizar en la figura 15.

**Figura 15**

Valores de medias del nitrato en los tres tratamientos al 95 % del nivel de confianza.



#### 4.3.8. Arsénico

La comparación de medias para Arsénico entre los tres tratamientos, señaló que la razón-F, es igual a 6,25 y el valor-P de la prueba-F (0,03) es menor que 0,05, el cual determina que hay una diferencia estadísticamente significativa a un nivel de confianza de 95 %.

**Tabla 21**

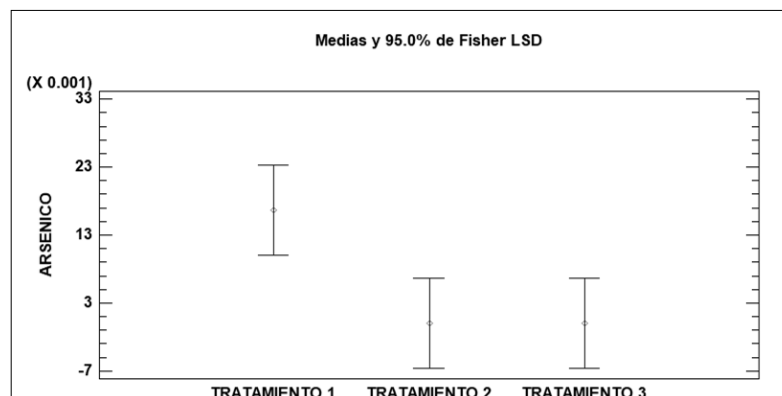
Tabla ANOVA para parámetro de arsénico

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón - F	Valor - P
Entre grupos	0,0006	2	0,0003	625	0,034
Intra grupos	0,0003	6	0,0001		
Total (corr.)	0,0008	8			

Las tablas y figuras mencionados reportaron que los tratamientos 2 y 3 obtuvieron valores similares de aluminio (siendo los más bajos 0), lo cual se puede interpretar como que son experimentos iguales; a diferencia del tratamiento 1 que obtuvo valores que oscilaron entre 0,01 y 0,03 para el arsénico. Los valores de las medias se pueden visualizar en la figura 16.

**Figura 16**

Valores de medias del arsénico en los tres tratamientos al 95 % del nivel de confianza.



#### 4.3.9. Aluminio

La semejanza de medias para Aluminio entre los tres tratamientos, nos señaló que la razón-F, es igual a 639 y el valor-P de la prueba-F ( $< 0,001$ ) es menor que 0,05, decretando que existe una diferencia estadísticamente significativa a nivel de confianza de 95 %.

**Tabla 22**

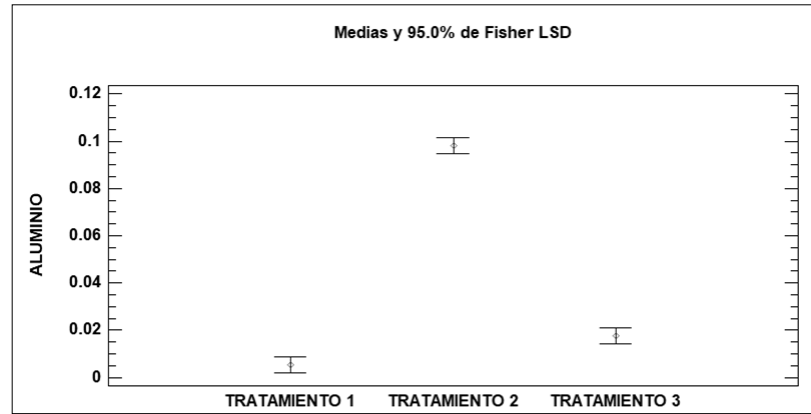
Tabla ANOVA para el parámetro de aluminio

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón - F	Valor - P
Entre grupos	0,02	2	0,008	639	$< 0,001$
Intra grupos	$< 0,001$	6	$< 0,001$		
Total (corr.)	0,02	8			

La prueba de medias fue significativamente diferente de otras, el cual reportó que, el tratamiento 1 y 3 obtuvieron valores similares de aluminio (siendo los más bajos), lo cual se puede interpretar como que son experimentos iguales; a diferencia del tratamiento 2 que obtuvo los valores más altos de aluminio. Los valores de medias se pueden visualizar en la figura 17.

**Figura 17**

Valores de medias del aluminio en los tres tratamientos al 95 % del nivel de confianza.



## CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

De los resultados obtenidos el sistema de tratamiento N° 1 fue el más efectivo de los tres tratamientos, al determinar la eficiencia con reducción significativa en el parámetro DBO<sub>5</sub> en 89,8 %, DQO en 90,3 %, turbidez en 97,9 %, sólidos sedimentables en 100 %, nitratos en 69 % y nitritos en 81 %.

Los resultados en DBO<sub>5</sub> y DQO difieren con lo obtenido por Hernández (2010) en su tesis “Alternativas para el tratamiento de las aguas grises de origen doméstico” que utiliza como medio filtrante piedra pómez y grava, cuyo máximo porcentaje de remoción fue del 39,8% y 47,4 % respectivamente, siendo valores inferiores a los obtenidos con el tratamiento 1.

Los valores obtenidos en turbidez con una eficiencia del 97,9 %, son similares a los obtenidos por Palmer y Corpus (2018) en su artículo “Diseño e implementación de un filtro para tratamiento de aguas grises en la aplicación de un sistema de riego para una huerta casera en San Andrés Islas, Colombia” con un diseño de filtro en base a arena y grava, cuyo porcentaje de turbidez equivale al 98 % de la turbiedad inicial.

Los sólidos sedimentables obtienen una remoción del 100 %, resultados comparables con los obtenidos por James et al (2016) en su artículo “Grey water reclamation for urban non-potable reuse -Challenges and solutions: a review”, con un porcentaje de 94,2 % utilizando un sistema que implica tratamiento preliminar, primario, secundario y terciario, utilizando métodos de filtración.

La alcalinidad es un parámetro no considerado tanto para VMA y el ECA-Agua para categoría 3, pero según los resultados hay un porcentaje de remoción del 21 %, respecto a los valores iniciales sin tratamiento.

Los valores de nitratos y nitritos obtuvieron una remoción del 69 % y 81 % respectivamente, datos que difieren con lo obtenido por Hernández (2010) en su tesis “Alternativas para el tratamiento de las aguas grises de origen doméstico” que utiliza como medio filtrante piedra pómez y grava, en cuyo caso ninguno de los filtros propuestos remueve o mejora adecuadamente los parámetros mencionados, no recomendando el tratamiento propuesto para el mejoramiento de dichas características.

De acuerdo a los datos obtenidos para el tratamiento 1, 2 y 3, se observa una disminución en las unidades de pH de 12,4 %, 37,3 % y 19 % respectivamente, ubicando los resultados con valores cercanos a la neutralidad. Estos valores son inferiores a los obtenidos por Palmer y Corpus (2018) en su artículo "Diseño e implementación de un filtro para tratamiento de aguas grises en la aplicación de un sistema de riego para una huerta casera en San Andrés Islas, Colombia" con un diseño de filtro en base a arena y grava, cuyas unidades de pH tuvieron una disminución de hasta 46 % del valor inicial.

Los resultados preliminares de la conductividad indican un incremento de dicho parámetro en los tratamientos 1, 2 y 3, de - 22,5 %, - 19,9 % y - 19,6 % respectivamente, valores que difieren con los resultados obtenidos por Palmer y Corpus (2002), cuyos valores obtenidos mostraron disminuciones de hasta el 94 %. Los valores obtenidos de conductividad, puede deberse al material filtrante utilizado, debido a que aportan y liberan en una primera etapa partículas retenidas en dicho material.

Respecto a la evaluación de arsénico, en las muestras de los ingresos para los tres tratamientos no se registró la presencia de dicho metal, más si se detectó su presencia con el tratamiento 1, pero este valor cumple con los Valores Máximos Admisibles y ECA Categoría 3. Con aluminio se obtuvieron valores que cumplen con el VMA, los estándares de calidad para agua categoría 3, pero que incrementaron en los tratamientos 1, 2 y 3, posiblemente debido al material filtrante utilizado, que aportarían metales retenidos en dicho material.



## CONCLUSIONES

Se logró mejorar la calidad de aguas grises provenientes de lavado de ropa con detergentes aplicando tres sistemas de tratamiento: Sistema de tratamiento 1, mediante multicámara horizontal sin inyección de oxígeno con materiales filtrantes del más grueso al más fino (grava, arena de playa, cuarcita y carbón activado); sistema de tratamiento 2, mediante multicámara horizontal con inyección de oxígeno mediante panel fotovoltaico con materiales filtrantes del más grueso al más fino (grava, arena de playa, cuarcita y carbón activado) y sistema de tratamiento 3, mediante filtración por capas con flujo hidráulico tipo vertical sin inyección de oxígeno con material filtrante grueso al más fino (grava, arena de playa, cuarcita, carbón activado).

Se logró remover los contaminantes empleando la técnica multicámara horizontal con cuatro materiales filtrantes y uso de energía fotovoltaica, con porcentajes de remoción de los parámetros fisicoquímicos: Turbidez (97,9 %), de sólidos sedimentables (100 %), Alcalinidad (21 %), Nitratos (69 %), Nitritos (81,1 %); Conductividad eléctrica (- 22,5 %), DBO (89,8 %) y DQO (90,3 %). Los parámetros arsénico y aluminio se incrementaron en relación al ingreso (0), por lo cual no se pudo calcular porcentaje de remoción para la inyección de oxígeno en el tratamiento de aguas de lavado de ropa con detergentes en el distrito de Pocollay.

Se mejoró la calidad fisicoquímica de los parámetros Temperatura, pH, Conductividad Eléctrica, Turbidez, Arsénico, Sólidos Sedimentables, Aluminio, Alcalinidad, Nitratos, Nitritos, DBO<sub>5</sub> y DQO para los tratamientos 1, 2 y 3, de los cuales el más efectivo fue el tratamiento 1, debido a la reducción significativa en el parámetro DBO<sub>5</sub> con 89,8 %, DQO (90,3 %), Turbidez, 97.9 %, sólidos sedimentables en 100 %, alcalinidad 21 %, nitratos en 69 %, nitritos en 81 %, comparada con los Valores Máximos Admisibles (VMA) exigidos en D.S N°010-2019-VIVIENDA.

## RECOMENDACIONES

Realizar un estudio previo de las características del material filtrante a utilizar, y poder realizar un pretratamiento adecuado. Dar un lavado previo a cada uno de los materiales filtrantes para evitar que aporten partículas o metales presentes en dicho material.

Hacer estudios complementarios para evaluar el tiempo de funcionamiento del filtro. Analizar las muestras de manera inmediata para mayor precisión. Complementar los análisis con Nematodos intestinales y Coliformes fecales que no pudieron realizarse en el presente estudio, debido a que la única directriz sobre la calidad de aguas residuales para ser empleados en agricultura es de la Organización Mundial de la Salud, Ginebra 1989 (OMS), según su Cuadro 3 (Ver en Anexo 4).

Recomendar dar este tipo de tratamientos en los hogares antes de echarlos al alcantarillado, por medio de capacitaciones de tema ambiental promovida por las Municipalidades Distritales. Reutilizar las aguas grises tratadas según la normativa ambiental vigente del Ministerio del Ambiente.

Aplicar como prueba para mejora: El esquema del Sistema de Tratamiento N°1 del Anexo 5, con una captación de aguas grises, pre-sedimentación con el Sulfato de Aluminio, Tratamiento Primario con dosificación de Peróxido de Hidrógeno, tratamiento secundario con el sistema de tratamiento 1 y recolectar finalmente el agua tratada en una cisterna, para posterior uso de riego de suelos inertes o lavado de carros, con pruebas de laboratorio preliminares.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alianza por el Agua. (2008). Manual de depuración de aguas residuales urbanas. España: ARPIrelieve.
- Ardila, M. (2013). Viabilidad Técnica y económica del aprovechamiento de aguas grises domésticas. [Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia]
- Asenjo, C. (2018). Tratamiento de aguas grises. <https://www.iagua.es/blogs/cristina-asenjo-lopez/tratamiento-aguas-grises>
- Autoridad Nacional del agua (ANA). 2016. Manual de buenas prácticas para el uso seguro y productivo de las aguas residuales domésticas. Lima, Perú: Creacolor S.A.C.
- Barba, L. (2002). Conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición. Universidad del Valle, Santiago de Cali.
- Barrenechea, A. (s.f.). Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua. <http://www.ingenieroambiental.com/4014/uno.pdf>
- Casero, D. (2008). Potabilización del Agua. Abastecimientos y Saneamientos Urbanos. Escuela de negocios.
- Collazos, J. (2005). Manual de evaluación ambiental de proyectos. Lima, Perú: Editorial San Marcos.
- Crites, R. y Tchobanoglous, G. (2000). Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. Santa Fe de Bogotá, Colombia: Mc Graw Hill Interamericana S.A.
- Díaz, J., y Ramírez, L. (2016). Diseño de un sistema de Tratamiento y reutilización del agua de la lavadora aplicado a los hogares de Bogotá D.C. [Tesis de grado. Universidad Distrital Francisco José de Caldas]
- Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M., y Ledin, A. (2002). Características de aguas grises. Urban Water, 85-104.
- Franco, M. (2007). Tratamiento y reutilización de aguas grises con aplicación acaso en Chile. [Tesis de Pregrado. Universidad de Chile]
- Hernández, J. (2010). Alternativas para el tratamiento de las aguas grises de origen doméstico. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

- Huertas, R., Marcos, C., Iburguren, N. y Ordás, S. (2013). Guía práctica para la depuración de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Valladolid, España: Gráficas CELARAYN S.A.
- Induanálisis (2019). DBO y DQO. [https://www.induanalisis.com/publicacion/detalle/dbo\\_y\\_dqo\\_31](https://www.induanalisis.com/publicacion/detalle/dbo_y_dqo_31)
- James, D., Surendran, S., Ifelebuegu, A., Ganjian, E., y Kinuthia, J. (2016). Recuperación de aguas grises para la reutilización urbana no potable: retos y soluciones: una revisión. 7ma Conferencia Internacional sobre el Medio Ambiente Construido Sostenible.
- Jarrín, F., Ramos, P., y Matamoros, D. (2009). Proyecto Semilla: "Evaluación de Sistemas de Filtración Agua de Bajo de Costo para Consumo Humano"
- Jiménez, M. (2016). Evaluación de un filtro artesanal del efluente de lavadora de autos a base de bagazo de caña de maíz, aserrín, ceniza de carbón vegetal y grava. [Tesis de pregrado. Universidad Técnica de Ambato]
- Loza, P. (2017). Diseño de un sistema de reciclado de aguas grises y su aprovechamiento para un desarrollo sostenible en una vivienda multifamiliar de doce pisos en la ciudad de Tacna, 2017. [Tesis de grado. Universidad Privada de Tacna]
- Madueño, L., Meza, M., y Rashta, C. (2017). Tratamiento y reúso de aguas grises mediante un filtro lento de arena. *Revista Técnica*, 81-85.
- Malo, C. (2011). Diseño y planificación de un conjunto de cabañas ecológicas y sostenibles en Madagascar.
- Matos, C., Sampaio, A. y Bentes, I. (2012). Aguas grises usadas en irrigación: Características, ventajas e inquietudes. University of Trás-os-Montes e Alto Douro.
- Meléndez, J., Lima, M., Domínguez, I., y Oviedo E. (2019). Reutilización de aguas grises domésticas para el uso eficiente del recurso hídrico: aceptación social y análisis financiero. Un caso en Portugal. *Revista UIS Ingenierías*, 223-236.
- Ministerio del Ambiente. (2014, 10 de noviembre). Montañas, glaciares y agua. MINAM. [https://issuu.com/minam\\_peru/](https://issuu.com/minam_peru/)
- Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento-Grupo Banco Mundial (2017) Conferencia: Tratamiento y reúso de las aguas residuales. Perú, ¿un reflejo

de la región? <https://www.bancomundial.org/es/events/2017/05/03/vision-tratamiento-reuso-aguas-residuales-peru>

Ministerio de Vivienda, C. y. (11 de Marzo de 2019). Plataforma digital única del Estado Peruano. <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/272120-010-2019-vivienda>.

Okun, D. (1997, 01 de noviembre). Distribuir agua recuperada a través de sistemas duales. Asociación Estadounidense de Obras Hidráulicas.

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2014). Fiscalización ambiental en aguas residuales. Lima, Perú: Gráfica Yovera S.A.C.

Palma, I. (2009). Reutilización de aguas grises en la edificación. <https://www.yumpu.com/es/document/read/18529245/reutilizacion-de-aguas-grises-en-la-edificacion-ive>.

Palmer, S., y Corpus, W. (2018). Diseño e implementación de un filtro para tratamiento de aguas grises en la aplicación de un sistema de riego para una huerta casera en San Andrés Islas, Colombia. Revista Loginn: Investigación Científica Y Tecnológica, 2(1).

Punguil, K. (2017). Análisis de grava como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la curtiembre Quisapincha de la provincia de Tungurahua Cantón Ambato. [Tesis de grado. Universidad Técnica de Ambato]

Rojas, K. (2017). 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. [Tesis de grado. Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto]

Romero, J. (2002). Calidad del agua. Bogotá. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

Sánchez, S. (2016). Investigación experimental, "Utilización de la liparita o vulcanita para la reducción de parámetros o indicadores físicos, químicos de aguas residuales domésticas". [Tesis de Maestría]. Universidad de Guayaquil]

Silva, J., Torres, P. y Madera, C. (2008). Reúso de aguas residuales domésticas en agricultura. Una revisión. Agronomía colombiana, 347-359.

- Suárez, L. (2010). Tratamiento de aguas grises mediante un sistema híbrido con membranas. [Tesis de Maestría. Instituto tecnológico y de estudios superiores de Monterrey]
- Torres, C., y Villanueva, S. (2014). El filtro de arena lento: Manual para el armado, instalación y monitoreo. <https://www.unipiloto.edu.co/wp-content/uploads/2013/11/El-filtro-de-arena-Lento-a-color-para-la-web.pdf>
- United States Environmental Agency (EPA). 2012. Directrices para la reutilización del agua. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2019-08/documents/2012-guidelines-water-reuse.pdf>
- WHO Scientific Group on Health Aspects of Use of Treated Wastewater for Agriculture and Aquaculture & World Health Organization. (1989). Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura: informe de un Grupo Científico de la OMS [se reunió en Ginebra del 18 al 23 de noviembre de 1987]. Organización Mundial de la Salud.

**ANEXOS**

## Anexo 1

### Matriz de consistencia.

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Método
Formulación general:	Objetivo general	Hipótesis general	Variable independiente		
¿Cuál será el porcentaje de remoción de contaminantes en aguas grises provenientes de lavado de ropa con detergentes aplicando materiales filtrantes con y sin energía fotovoltaica en el distrito de Pocollay (Fundo Sobraya)?	Mejorar la calidad de aguas grises provenientes de lavado de ropa con detergentes, aplicando materiales filtrantes con y sin energía fotovoltaica en el distrito de Pocollay (Fundo Sobraya)	El tratamiento con la técnica multicámara horizontal con cuatro materiales filtrantes y uso de energía fotovoltaica para inyección de oxígeno mejora la calidad fisicoquímica de las aguas grises provenientes de lavado de ropa con detergentes en el distrito de Pocollay	Tratamiento N° 1 Tratamiento N° 2 Tratamiento N° 3		
Formulaciones específicas	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Variable dependiente		
<p>¿Cuál será el porcentaje de remoción de contaminantes empleando la técnica mediante multicámara horizontal con cuatro materiales filtrantes y uso de energía fotovoltaica para la inyección de oxígeno en el tratamiento de aguas de lavado de ropa con detergentes en el distrito de Pocollay?</p> <p>¿Será posible mejorar las condiciones fisicoquímicas: (temperatura, pH, conductividad eléctrica, turbidez, arsénico, sólidos sedimentables, olor y DBO) mediante la evaluación de tres tratamientos para reducir la carga contaminante presente en las aguas grises domésticas de lavado de ropa con detergentes?</p>	<p>Remover los contaminantes empleando la técnica multicámara horizontal con cuatro materiales filtrantes y uso de energía fotovoltaica para la inyección de oxígeno en el tratamiento de aguas de lavado de ropa con detergentes en el distrito de Pocollay.</p> <p>Mejorar la calidad fisicoquímica: temperatura, pH, conductividad eléctrica, turbidez, arsénico, sólidos sedimentables, olor y DBO, mediante la aplicación de tratamientos para reducir la carga contaminante presente en las aguas grises domésticas de lavado de ropa con detergentes.</p>	<p>La técnica multicámara horizontal con cuatro materiales filtrantes y uso de energía fotovoltaica para inyección de oxígeno remueve en mayor porcentaje los contaminantes respecto al tratamiento sin aplicación de oxígeno en las aguas de lavado de ropa con detergentes en el distrito de Pocollay.</p> <p>Los resultados de la calidad fisicoquímica: temperatura, pH, conductividad eléctrica, turbidez, arsénico, sólidos sedimentables, olor y DBO, mediante la aplicación de la técnica multicámara horizontal con cuatro materiales filtrantes y uso de energía fotovoltaica para la inyección de oxígeno cumplen con los Valores Máximos Admisibles del D.S. N° 010 – 2019 - VIVIENDA</p>	<p>Rango de pH Nivel de temperatura Nivel de conductividad eléctrica Porcentaje de remoción turbidez Porcentaje de remoción arsénico Nivel de percepción de olor Porcentaje de remoción sólidos sedimentables Porcentaje de remoción DBO Porcentaje de remoción DQO Porcentaje de remoción alcalinidad Porcentaje de remoción nitratos Porcentaje de remoción nitritos Porcentaje de remoción aluminio</p>	<p>Temperatura (°C) pH C.E. (µ/cm) Turbidez (NTU) Arsénico (mg/L) SS (mL/L) DBO<sub>5</sub> (mg/L) DQO (mg/L) Alcalinidad (mg/L) Nitratos (mg/L) Nitritos (mg/L) Aluminio (mg/L)</p>	<p>Métodos estándares para determinación de aguas residuales</p>



## Anexo 2

### Informe de Ensayo N° 000041603

#### Anexo 2 a: Informe de Ensayo N° 000041603 – página 1

CLIENTE:	ENT.PREST.SERVICIOS DE SANEAMIENTO TACNA S.A
DOMICILIO LELGAL:	AV. 2 de mayo Nro. 372 Cercado Tacna – Tacna – Tacna
REFERENCIA CLIENTE:	AR – 45 -19
CÓDIGO TYPASA:	000040475
MATRIZ:	Agua residual
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA:	Cotización N°0002003720 Muestreo realizado por TYPASA Aproximadamente 6.10L de muestra (Agua Residual)
DESCRIPCIÓN PROCEDIMIENTO TOMA DE MUESTRA:	PNTE – LTMO – 03. Rev. 02 Aguas residuales
CONDICIONES AMBIENTALES EN LA TOMA DE MUESTRAS:	Despejado
DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO:	N: 8009627 / E: 0372597 SOBROYA (Pago Sobroya Lote 7 S/N)
FECHA DE TOMA:	21/09/2019 07:30:00 a.m.
FECHA DE RECEPCIÓN:	22/09/2019
FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS:	21/09/2019 – 01/10/2019

Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Técnica empleada	L.D.
Resultados Analíticos In Situ					
pH "in situ"	Ud. pH	9,55	SMEWWW-APHA-AWWWA-WEF Part 4500-H+B, 23rs Ed.2017	pH Value. Electrometric Method	
Temperatura del agua "in situ"	°C	19,4	SMEWWW-APHA-AWWWA-WEF Part 2550 B, 23rs Ed.2017	Temperature Laboratory and Field Methods	
Resultados Analíticos Físico-Químicos Generales					
Aceites y grasas (AyG)	mg Aceite y grasa/L	31,3	SMEWWW-APHA-AWWWA-WEF Part 5520 B, 23rs Ed.2017	Oil and Grease. Liquid –Liquid, Partition-Gravimetric Method.	0,5
Cromo exavalente	mg Cr (VI)/L	<0,001	SMEWWW-APHA-AWWWA-WEF Part 3500 – Cr B, 23rs Ed.2017	Chromium. Colorimetric Method	0,001
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg O <sub>2</sub> /L	343	SMEWWW-APHA-AWWWA-WEF Part 5210 B, 23rs Ed.2017	Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5 – Day BOD Test	0,6
Demanda Química de Oxígeno	mg O <sub>2</sub> /L	835	SMEWWW-APHA-AWWWA-WEF Part 5220 D, 23rs Ed.2017	Chemical Oxygen Demand (COD), Closed Reflux, Colorimetric Method	2,2
Nitrógeno amoniacal	mg NH <sub>3</sub> - N/L	1,02	SMEWWW-APHA-AWWWA-WEF Part 4500-NH3 D, 23rs Ed.2017	Nitrogen (Ammonia). Ammonia – Selective Electrode Method	0,02
Sólidos Sedimentables (SS)	mL SS/L	7	SMEWWW-APHA-AWWWA-WEF Part 2540 F, 23rs Ed.2017	Solids. Seltleable Solids	0,5
Sólidos Totales en Suspensión (TSS)	mL TSS/L	336	SMEWWW-APHA-AWWWA-WEF Part 42540 D, 23rs Ed.2017	Solid. Total Suspended Solids Dried at 103 – 105°C	2,5
Sulfato	mg SO <sub>4</sub> /L	705	SMEWWW-APHA-AWWWA-WEF Part 4110 B, 23rs Ed.2017	Ion Chromatography Method	0,4
Resultados Analíticos Metales Pesados					
Aluminio total	mg/L	1,76	SMEWWW-APHA-AWWWA-WEF Part 3030 K, 3125 B, 23rs Ed.2017	Preliminary Treatment of Samples. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) Method	0,003
Antimonio total	mg/L	0,002	SMEWWW-APHA-AWWWA-WEF Part 3030 K, 3125 B, 23rs Ed.2017	Preliminary Treatment of Samples. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) Method	<0,001
Arsenic total	mg/L	0,03	SMEWWW-APHA-AWWWA-WEF Part 3030 K, 3125 B, 23rs Ed.2017	Preliminary Treatment of Samples. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) Method	<0,001

L.C. Límite de cuantificación/D. Límite de dirección (\*) Los métodos indicados no han sido acreditado por el INACAL – DA

**Anexo 2 b: Informe de Ensayo N° 000041603 – página 2**

CLIENTE: ENT.PREST.SERVICIOS DE SANEAMIENTO  
 TACNA S.A  
 DOMICILIO LELGAL: AV. 2 de mayo Nro. 372 Cercado Tacna – Tacna  
 – Tacna  
 REFERENCIA CLIENTE: AR – 45 -19  
 CÓDIGO TYPESA: 000040475  
 MATRIZ: Agua residual  
 DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA: Cotización N°0002003720  
 Muestreo realizado por TYPESA  
 Aproximadamente 6.10L de muestra (Agua Residual)  
 DESCRIPCIÓN PROCEDIMIENTO TOMA DE MUESTRA: PNTE – LTMO – 03. Rev. 02 Aguas residuales  
 CONDICIONES AMBIENTALES EN LA TOMA DE MUESTRAS: Despejado  
 DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO: N: 8009627 / E: 0372597 SOBRAYA (Pago Sobraya Lote 7 S/N)  
 FECHA DE TOMA: 21/09/2019 07:30:00 a.m.  
 FECHA DE RECEPCIÓN: 22/09/2019  
 FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS: 21/09/2019 – 01/10/2019

Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Técnica Empleada	L.D
Bario total	mg/L	0,04	SMEWWW-APHA-AWWWA-WEF Part 43030 K, 3125 B, Ed.2017		< 0,001
Berilio total	mg/L	< 0,001	SMEWWW-APHA-AWWWA-WEF Part 43030 K, 3125 B, Ed.2017		< 0,001
Boro total	mg/L	0,4	SMEWWW-APHA-AWWWA-WEF Part 43030 K, 3125 B, Ed.2017		< 0,001
Cadmio total	mg/L	< 0,001	SMEWWW-APHA-AWWWA-WEF Part 43030 K, 3125 B, Ed.2017		< 0,001
Calcio total	mg/L	42,6	SMEWWW-APHA-AWWWA-WEF Part 43030 K, 3125 B, Ed.2017		0,008
Cobalto total	mg/L	< 0,001	SMEWWW-APHA-AWWWA-WEF Part 43030 K, 3125 B, Ed.2017	Preliminary	< 0,001
Cobre total	mg/L	0,07	SMEWWW-APHA-AWWWA-WEF Part 43030 K, 3125 B, Ed.2017	Treatment of Samples,	< 0,001
Cromo total	mg/L	0,005	SMEWWW-APHA-AWWWA-WEF Part 43030 K, 3125 B, Ed.2017	Inductively	< 0,001
Estaño total	mg/L	0,002	SMEWWW-APHA-AWWWA-WEF Part 43030 K, 3125 B, Ed.2017	Couples Plasma – Mass	< 0,001
Estroncio total	mg/L	0,31	SMEWWW-APHA-AWWWA-WEF Part 43030 K, 3125 B, Ed.2017	Spectrometry (ICP – MS) Method	< 0,001
Hierro total	mg/L	198	SMEWWW-APHA-AWWWA-WEF Part 43030 K, 3125 B, Ed.2017		0,003
Litio total	mg/L	0,03	SMEWWW-APHA-AWWWA-WEF Part 43030 K, 3125 B, Ed.2017		< 0,001
Magnesio total	mg/L	13,9	SMEWWW-APHA-AWWWA-WEF Part 43030 K, 3125 B, Ed.2017		0,001
Manganeso total	mg/L	0,05	SMEWWW-APHA-AWWWA-WEF Part 43030 K, 3125 B, Ed.2017		< 0,001
Mercurio total	mg/L	< 0,001	SMEWWW-APHA-AWWWA-WEF Part 43030 K, 3125 B, Ed.2017		< 0,001
Molibdeno total	mg/L	0,002	SMEWWW-APHA-AWWWA-WEF Part 43030 K, 3125 B, Ed.2017		< 0,001

L.C. Límite de cuantificación/D. Límite de detección

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditado por el INACAL – DA

**Anexo 2 c: Informe de Ensayo N° 000041603 – página 3**

CLIENTE: ENT.PREST.SERVICIOS DE SANEAMIENTO  
 TACNA S.A  
 DOMICILIO LELGAL: AV. 2 de mayo Nro. 372 Cercado Tacna – Tacna  
 – Tacna  
 REFERENCIA CLIENTE: AR – 45 -19  
 CÓDIGO TYPASA: 000040475  
 MATRIZ: Agua residual  
 DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA: Cotización N°0002003720  
 Muestreo realizado por TYPASA  
 Aproximadamente 6.10L de muestra (Agua Residual)  
 DESCRIPCIÓN PROCEDIMIENTO TOMA DE MUESTRA: PNTE – LTMO – 03. Rev. 02 Aguas residuales  
 CONDICIONES AMBIENTALES EN LA TOMA DE MUESTRAS: Despejado  
 DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO: N: 8009627 / E: 0372597 SOBROYA (Pago Sobraya Lote 7 S/N)  
 FECHA DE TOMA: 21/09/2019 07:30:00 a.m.  
 FECHA DE RECEPCIÓN: 22/09/2019  
 FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS: 21/09/2019 – 01/10/2019

Resultados Analíticos Metales Pesados					
Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Técnica Empleada	L.D
Niquel total	mg/L	0,006	SMEWWW-APHA-AWWWA-WEF Part 43030 K, 3125 B, Ed.2017		< 0,001
Plata total	mg/L	0,0002	SMEWWW-APHA-AWWWA-WEF Part 43030 K, 3125 B, Ed.2017		< 0,001
Plomo total	mg/L	0,006	SMEWWW-APHA-AWWWA-WEF Part 43030 K, 3125 B, Ed.2017		< 0,001
Potasio total	mg/L	13,2	SMEWWW-APHA-AWWWA-WEF Part 43030 K, 3125 B, Ed.2017	Preliminary	0,003
Selenio total	mg/L	0,006	SMEWWW-APHA-AWWWA-WEF Part 43030 K, 3125 B, Ed.2017	Treatment of Samples,	0,002
Silicio total	mg/L	55,2	SMEWWW-APHA-AWWWA-WEF Part 43030 K, 3125 B, Ed.2017	Inductively	0,0004
Sodio total	mg/L	311	SMEWWW-APHA-AWWWA-WEF Part 43030 K, 3125 B, Ed.2017	Couples Plasma – Mass	0,006
Talio total	mg/L	< 0,001	SMEWWW-APHA-AWWWA-WEF Part 43030 K, 3125 B, Ed.2017	Spectrometry (ICP – MS) Method	< 0,001
Titanio total	mg/L	0,05	SMEWWW-APHA-AWWWA-WEF Part 43030 K, 3125 B, Ed.2017		< 0,001
Vanadio total	mg/L	0,009	SMEWWW-APHA-AWWWA-WEF Part 43030 K, 3125 B, Ed.2017		< 0,001
Zinc total	mg/L	0,20	SMEWWW-APHA-AWWWA-WEF Part 43030 K, 3125 B, Ed.2017		0,002

L.C. Límite de cuantificación/D. Límite de detección

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditado por el INACAL – DA

**Anexo 3**

*D.S N°010-2019-Vivienda. Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) Para las Descargas de Aguas Residuales no Domésticas en el Sistema de Alcantarillado Sanitario.*

Parámetro	Unidad	<b>Anexo 1</b>	
		Simbología	VMA para descargas al sistema de alcantarillado
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	DBO <sub>5</sub>	500
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	DQO	1 000
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	SST	500
Aceites y Grasas	mg/l	A y G	100

Parámetro	Unidad	<b>Anexo 2</b>	
		Simbología	Vma para descargas al sistema de alcantarillado
Aluminio	mg/L	Al	10
Arsénico	mg/L	As	0,5
Boro	mg/L	B	4
Cadmio	mg/L	Cd	0,2
Cianuro	mg/L	CN <sup>-</sup>	1
Cobre	mg/L	Cu	3
Cromo hexavalente	mg/L	Cr <sup>+6</sup>	0,5
Cromo total	mg/L	Cr	10
Manganeso	mg/L	Mn	4
Mercurio	mg/L	Hg	0,02
Níquel	mg/L	Ni	4
Plomo	mg/L	Pb	0,5
Sulfatos	mg/L	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	1 000
Sulfuros	mg/L	S-2	5
Zinc	mg/L	Zn	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	NH <sup>+4</sup>	80
Potencial Hidrógeno	unidad	pH	6 - 9
Sólidos Sedimentables	mL/L/h	SS	8,5
Temperatura	°C	T	< 35

Nota:

(1) La aplicación de estos parámetros a cada actividad económica por procesos productivos, es la precisada en el presente Reglamento tomando como referencia el código CIU. Aquellas actividades que no estén incluidas en este código, deben cumplir con los parámetros indicados en el presente Anexo. Los parámetros establecidos en los Anexos 1 y 2 del presente Reglamento, son determinados a partir del análisis de muestras puntuales.

(2) Las concentraciones de los parámetros establecidos en los Anexos 1 y 2 deben ser determinadas a partir del análisis de muestras puntuales.

**Anexo 4***Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua- Categoría 3***Anexo 4 a: ECA categoría 3 – página 1****Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales**

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales	D2: Bebida de animales
Fisicoquímicos			
Aceites y Grasas	mg/L	5	10
Bicarbonatos	mg/L	518	**
Cianuro Wad	mg/L	0,1	0,1
Cloruros	mg/L	500	**
Color (b)	Color verdadero	100 (a)	100 (a)
	Escala Pt/Co		
Conductividad	( $\mu$ S/cm)	2 500	5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	15	15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40	40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2	0,5
Fenoles	mg/L	0,002	0,01
Fluoruros	mg/L	1	**
Nitratos (NO <sub>3</sub> --N) + Nitritos (NO <sub>2</sub> --N)	mg/L	100	100
Nitritos (NO <sub>2</sub> --N)	mg/L	10	10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4	≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de Ph	6,5 – 8,5	6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000	1 000
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3
Inorgánicos			
Aluminio	mg/L	5	5
Arsénico	mg/L	0,1	0,2
Bario	mg/L	0,7	**
Berilio	mg/L	0,1	0,1
Boro	mg/L	1	5
Cadmio	mg/L	0,01	0,05
Cobre	mg/L	0,2	0,5
Cobalto	mg/L	0,05	1
Cromo total	mg/L	0,1	1
Hierro	mg/L	5	**
Litio	mg/L	2,5	2,5
Magnesio	mg/L	**	250
Manganeso	mg/L	0,2	0,2
Mercurio	mg/L	0,001	0,01
Níquel	mg/L	0,2	1
Plomo	mg/L	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,02	0,05
Zinc	mg/L	2	24

## Anexo 4 b: ECA categoría 3 – página 2

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales	D2: Bebida de animales	
Orgánico				
<b><u>Bifenilos Policlorados</u></b>				
Bifenilos Policlorados (PCB)	µg/L	0,04	0,045	
Plaguicidas				
Paratión	µg/L	35	35	
<b><u>Organoclorados</u></b>				
Aldrín	µg/L	0,004	0,7	
Clordano	µg/L	0,006	7	
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	µg/L	0,001	30	
Dieldrín	µg/L	0,5	0,5	
Endosulfán	µg/L	0,01	0,01	
Endrin	µg/L	0,004	0,2	
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	µg/L	0,01	0,03	
Lindano	µg/L	4	4	
<b><u>Carbamato</u></b>				
Aldicarb	µg/L	1	11	
Microbiológicos y parasitológico				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	1 000	2 000	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL	1 000	**	**
Huevos de Helmintos	Huevo/L	1	1	**

Nota:

(a): Para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b): Después de filtración simple.

(c): Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

- El símbolo \*\* dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

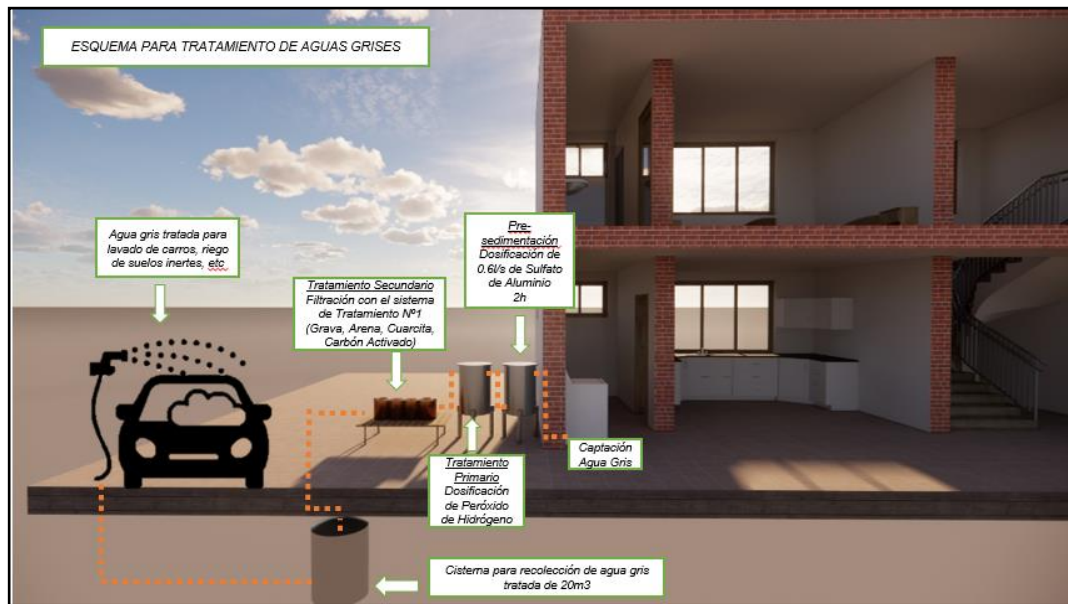
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

## Anexo 5

### Esquema de tratamiento de aguas grises

**Figura 18**

### Esquema del sistema de tratamiento de aguas grises



*Nota.* Según el artículo de Aguas residuales de lavandería y su tratamiento por Oxidación fotocatalítica con dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) y luz ultra violeta (UV) en Instituto Nacional de Salud del Niño, San Borja- 2017. La dosificación de Peróxido de Hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) tiene que ser de 1g/l para reforzar el tratamiento y poder bajar el DBO y DQO