

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES DE DUCHAS  
Y LAVABOS PARA SU REUTILIZACIÓN EN INODOROS.**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA  
AMBIENTAL**

**INÉS GABRIELA MEJÍA ESTÉVEZ**  
**ines.mejia@epn.edu.ec**

**CYNTHIA YANINA URCUANGO CONUMBA**  
**cynthia.urcuango@epn.edu.ec**

**DIRECTOR: Ing. Isaías Marcelo Muñoz Rodríguez**  
**marcelo.muñoz@epn.edu.ec**

**CODIRECTOR: M.Sc. Ing. María Belén Aldás Sandoval**  
**maria.aldas@epn.edu.ec**

**Quito, diciembre 2018**

## DECLARACIÓN

Nosotras Mejía Estévez Inés Gabriela y Urcuango Conumba Cynthia Yanina declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

MEJÍA ESTÉVEZ INÉS

GABRIELA

---

URCUANGO CONUMBA

CYNTHIA YANINA

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Inés Gabriela Mejía Estévez y Cynthia Yanina Urcuango Conumba, bajo nuestra supervisión.

---

Ing. Isaías Marcelo Muñoz Rodríguez  
DIRECTOR DE PROYECTO

---

MSc. Ing. María Belén Aldás Sandoval  
CODIRECTORA DE PROYECTO

## AGRADECIMIENTOS

*Dios y my familia han sido el pilar fundamental para lograr esta meta.*  
Primero quiero expresar mi gratitud a Dios, por hacer posible y permitirme vivir este momento tan importante de mi formación profesional junto a los seres que amo.

A mis padres Hilda y Segundo por ser los principales promotores de este sueño, a quienes no me alcanzaría las palabras para expresar mi agradecimiento por cada uno de los sacrificios y luchas constantes que juntos han sabido sobrellevar.

A mí hermana Adriana gracias por haberme regalado la oportunidad de ser una profesional al igual que ella. Agradezco el apoyo que siempre me ha brindado en todos los aspectos, pues ha sido una de las fuerzas que me han impulsado a terminar esta etapa de mi vida.

A mi hermano Fernando gracias por su apoyo incondicional, por siempre estar pendiente de mi, por la ayuda y confianza que me brinda día a día, por la fuerza que me transmite para no decaer en los momentos difíciles.

A mi hermano Vinicio, agradezco la confianza y el apoyo que siempre encuentro en él, también por soportar mi mal genio y por ser mi salvador en la universidad en varias ocasiones. Gracias por existir y alegrar mis días con sus malos chistes.

A mi mejor amigo Mario, gracias por todos esos momentos únicos y especiales que juntos compartimos en la universidad.

A mi amiga y compañera de tesis Gaby, por haber hecho que esta etapa final de nuestra vida universitaria sea más llevadera al estar juntas.

A mis amig@s: Isi, Sil, Marjo, Andre, Gaby T, Diana, Darwin y Pablo por todos esos momentos de risas, por los buenos y malos momentos que juntos compartimos en la EPN.

Al Ing. Marcelo Muñoz y a la Ing. María Belén Aldás por la paciencia, ayuda y guía que supieron brindarnos a lo largo de la ejecución de este proyecto. Al CICAM y LIDIA por abrirnos las puertas de sus instalaciones para ejecutar la parte experimental del mismo.

A la Escuela Politécnica Nacional por haber sido mí segundo hogar en toda mi carrera estudiantil. Un sueño hecho realidad, culminar mis estudios universitarios en tan prestigiosa institución.

Cynthia Yanina

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, por derramar siempre bendiciones sobre mí, por la fortaleza y sabiduría para seguir adelante en cada paso dado para así poder cumplir con mis anhelos y aspiraciones.

A mi mami Ximena especialmente, por confiar siempre en mí, ser el pilar fundamental en mi vida, por apoyarme incondicionalmente siempre en cada paso que doy, por su amor y paciencia a cada momento y por darme una segunda oportunidad para poder culminar con mis estudios, ya que gracias a usted soy quien soy hoy en día ya que sin usted esto no hubiera sido posible.

A mi papi Hugo por darme su apoyo, por sus horas de trabajo duro para poder culminar mi carrera universitaria, su cariño y sus consejos siempre en el momento oportuno para poder seguir adelante y no rendirme ante ninguna adversidad.

A mis hermanos Frank y Miguel por ser unos grandes hermanos, un ejemplo a seguir de lucha y perseverancia, por apoyarme siempre en las buenas y malas y por estar ahí para escucharme y darme consejos para seguir adelante y no rendirme. A mí cuñada Jenny y mi sobrino Frank Alejandro por estar conmigo en todo momento.

A mi compañera de tesis Cynthia, por permitirme realizar el proyecto de titulación juntas, por estar ahí apoyándonos siempre en las buenas pero principalmente en las malas durante todo éste largo proceso y poder así sacar adelante y culminar la tesis.

A mis amig@s Andre, Dianita, Lulú, Sil, Isa, Marchu, Pablo y Darwin por haberme permitido compartir con ustedes muchos alegres momentos y locuras a lo largo de

toda la carrera, por estar ahí siempre dispuestos a ayudar en todo lo que sea posible y por hacer de la vida universitaria una de las mejores etapas de mi vida.

Al Centro de Investigación y Control Ambiental (CICAM) especialmente a Paty y Jairo por ser un gran apoyo no solo como analistas sino como amigos siempre brindando un consejo o una palabra de apoyo durante el desarrollo del proyecto de titulación.

Al Ing. Marcelo Muñoz y a la Ing. María Belén Aldás por el apoyo, tiempo y paciencia brindados durante el proceso de elaboración de éste proyecto y por todos los conocimientos impartidos a lo largo de la carrera.

Gaby Mejía

## **DEDICATORIA**

A Dios a mis padres Hilda y Segundo, a mi hermana Adriana  
y a mis dos hermanos Fernando y Vinicio  
Por ser el motor de mi vida.

A mi, por el esfuerzo, dedicación y por culminar esta meta de la forma que la  
plantee al inicio de esta etapa.

Cynthia Yanina



## DEDICATORIA

A mis papis por todo el esfuerzo y el apoyo brindado no solo a lo largo de mi carrera, sino de la vida ya que sin ustedes este logro no hubiera sido posible. Este triunfo es para ustedes.

A mis hermanos por ser una guía y un apoyo, ya que a través de sus logros y sueños cumplidos son un gran ejemplo a seguir y los admiro mucho y admiraré por siempre.

A mi tía Fabi que aunque no pudo verme convertida en una profesional, está siempre desde el cielo como un angelito cuidándome.

Gaby Mejía

## CONTENIDO

DECLARACIÓN .....	II
CERTIFICACIÓN .....	III
AGRADECIMIENTOS .....	IV
AGRADECIMIENTOS .....	VI
DEDICATORIA.....	VIII
DEDICATORIA.....	IX
CONTENIDO.....	X
LISTA DE TABLAS.....	XIV
LISTA DE GRÁFICAS .....	XVI
LISTA DE FIGURAS .....	XVII
ANEXOS .....	XVIII
SIMBOLOGÍA Y SIGLAS.....	XIX
RESUMEN .....	XXI
ABSTRACT .....	XXIII
PRESENTACIÓN .....	XXIV
CAPÍTULO 1 .....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 ANTECEDENTES .....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
OBJETIVO GENERAL .....	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
1.3 ALCANCE.....	3
1.4 JUSTIFICACIÓN .....	3
CAPÍTULO 2 .....	6
MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 AGUAS GRISES.....	6
2.1.1 DEFINICIÓN DE AGUAS GRISES .....	6
2.1.2 COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS GRISES.....	7
2.1.2.1. Composición según la fuente de generación de agua gris .....	7

2.1.2.2 Composición en términos de calidad de agua gris .....	8
2.1.3 TIPOS DE REÚSOS PARA AGUAS GRISES.....	10
2.1.3.1 Uso Agrícola .....	10
2.1.3.2 Uso Urbano.....	10
2.1.3.3 Uso Industrial y Recreacional .....	10
2.1.4 RIESGOS, SALUD Y AMBIENTE .....	11
2.1.4.1 Efectos en plantas y suelo, salud humana y ambiente. ....	11
Plantas y suelo.....	11
Salud humana .....	12
Ambiente.....	14
2.1.4.2 Medidas de precaución para el reúso seguro de aguas grises .....	15
2.1.5 PARÁMETROS DE CALIDAD.....	16
2.1.5.1 Parámetros Físico – Químicos.....	16
Turbiedad.....	16
Potencial Hidrógeno.....	16
Demanda Química de Oxígeno (DQO) .....	17
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ).....	17
Fósforo Total.....	17
Nitrógeno Kjeldahl.....	17
Cloro Residual .....	18
2.1.5.2 Parámetros Biológicos.....	18
Coliformes Totales .....	18
Coliformes Fecales .....	18
2.1.5.3 Límites Máximos Permisibles para aguas grises tratadas .....	19
2.2 TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES .....	20
2.2.1 TIPOS DE TRATAMIENTOS .....	21
2.2.1.1 Tratamiento Biológico .....	21
Lodos Activados.....	22
2.2.1.2 Tratamientos físicos.....	22
Filtros de Arena.....	22
Filtración de membrana .....	23
2.2.1.3 Tratamientos químicos .....	24
Radiación ultravioleta (UV) .....	24
Ozonificación .....	25
2.2.1.4 Oxidación y oxidantes existentes en el mercado .....	25
2.2.2.1 Cloro .....	25
2.2.2.2 Peróxido de hidrógeno .....	32
CAPÍTULO 3 .....	34
METODOLOGÍA.....	34
3.1 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE AGUA GRIS A SER TRATADA .....	34

3.2 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE AGUA GRIS GENERADA EN UNA VIVIENDA. ....	36
3.3 RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA COMPUESTA DE AGUA GRIS .....	37
3.4 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA GRIS OBTENIDA.....	38
3.3 TRATAMIENTO POR OXIDACIÓN QUÍMICA.....	42
3.3.1 DETERMINACIÓN DE LA DOSIS Y TIEMPO DE CONTACTO ENTRE HIPOCLORITO DE CALCIO Y LAS AGUAS GRISES.....	42
3.3.1.1 Consideraciones generales .....	42
3.3.1.2 Tiempo de contacto entre el hipoclorito de calcio y el agua gris.....	43
3.3.1.3 Dosis óptima de hipoclorito de calcio al 70 %.....	44
3.3.2 DETERMINACIÓN DE LA DOSIS Y TIEMPO DE CONTACTO ENTRE EL PERÓXIDO DE HIDRÓGENO Y LAS AGUAS GRISES.....	45
3.3.2.1 Consideraciones generales .....	45
3.3.2.2 Tiempo de contacto entre el peróxido de hidrógeno y el agua gris .....	46
3.3.2.3 Dosis óptima de peróxido de hidrógeno .....	47
3.4 DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA GRIS Y EFICIENCIA DE LOS OXIDANTES POSTERIOR AL TRATAMIENTO.....	48
3.4.1 EFICIENCIA DE REMOCIÓN PARA LOS PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS.....	48
3.5 APLICACIÓN EN UN EDIFICIO. ....	49
3.5.1 DATOS GENERALES.....	49
3.5.1.1 Caudal de agua gris tratada ( $Q_{AGT}$ ) .....	49
3.5.1.2 Producción de agua gris ( $P_{AG}$ ).....	50
3.5.1.3 Caudal de agua gris que será desechada a la alcantarilla ( $Q_{AGD}$ ).....	50
3.5.2 SISTEMA DE TRATAMIENTO.....	50
3.5.2.1 Tanque de contacto.....	51
Dimensiones del tanque de contacto .....	52
Material de elaboración.....	54
3.5.3 OPERACIONES UNITARIAS.....	55
3.5.4 ANÁLISIS DE COSTOS.....	56
CAPÍTULO 4 .....	58
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	58
4.1 CAUDAL DE AGUA NECESARIA PARA INODOROS .....	58

4.2 CAUDAL DE AGUA GRIS GENERADO EN UNA VIVIENDA.....	58
4.3 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA GRIS SIN TRATAMIENTO .....	59
4.4 ENSAYOS CON HIPOCLORITO DE CALCIO.....	60
4.4.1 CARACTERIZACIÓN DE AGUA GRIS TRATADA A DIFERENTES DOSIS .....	60
4.4.2 DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE HIPOCLORITO DE CALCIO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA GRIS. ....	61
4.4.3 COMPARACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA GRIS TRATADA CON LA DOSIS ÓPTIMA DE HIPOCLORITO DE CALCIO VS. LA NORMA DE CALIDAD PARA LA RECIRCULACIÓN DE AGUAS GRISES HACIA LOS INODOROS .....	63
4.5 ENSAYOS CON PERÓXIDO DE HIDRÓGENO.....	67
4.5.1 DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA.....	67
Dosis óptima de acuerdo a la eficiencia de remoción de coliformes fecales .....	73
4.5.2 COMPARACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA GRIS TRATADA CON LA DOSIS ÓPTIMA DE H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> VS. LA NORMA DE CALIDAD PARA LA RECIRCULACIÓN DE AGUAS GRISES HACIA LOS INODOROS.....	73
4.6 COMPARACIÓN DE EFICIENCIA ENTRE OXIDANTES SEGÚN SU Dosis Óptima.....	74
4.7 APLICACIÓN A UN EDIFICIO .....	76
4.6.1 COSTOS.....	78
CAPÍTULO 5 .....	82
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	82
CONCLUSIONES .....	82
RECOMENDACIONES.....	84
BIBLIOGRAFIA .....	85
ANEXOS .....	93

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Composición del agua gris según la fuente de generación.....	8
<b>Tabla 2.</b> Caracterización física, química y microbiológica de las aguas grises según su fuente de generación.....	9
<b>Tabla 3.</b> Límites Máximos Permisibles de Aguas para aguas grises de uso urbano tratadas .....	19
<b>Tabla 4.</b> Límites Máximos Permisibles para la recirculación de aguas grises tratadas para el uso en inodoros. ....	19
<b>Tabla 5</b> Efectos en la salud causados por el cloro gaseoso a diferentes dosis.....	27
<b>Tabla 6.</b> Ventajas y desventajas del uso de cloro .....	31
<b>Tabla 7:</b> Volumen de agua necesaria según el tipo de inodoro .....	34
<b>Tabla 8</b> Parámetros y Métodos .....	39
<b>Tabla 9.</b> Dosis experimentales de Hipoclorito de Calcio al 70 % .....	44
<b>Tabla 10</b> Dosis experimentales de Peróxido de Hidrógeno .....	47
<b>Tabla 11 .</b> Tipos de filtros existentes en función al tipo de agua.....	55
<b>Tabla 12</b> Caudal de agua para inodoros.....	58
<b>Tabla 13</b> Caudal de agua gris generada en una vivienda.....	59
<b>Tabla 14</b> Caracterización del agua gris sin tratamiento .....	59
<b>Tabla 15</b> Caracterización de las dosis óptimas del agua gris tratado con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ .....	60
<b>Tabla 16</b> Consideraciones para el tratamiento de agua gris en la prueba de jarras .....	61
<b>Tabla 17</b> Eficiencia de Remoción de los parámetros analizados.....	61
<b>Tabla 18</b> Parámetros físicos, químicos y biológicos analizados con la dosis óptima. ....	63
<b>Tabla 19</b> Consideraciones para el tratamiento de agua gris en la prueba de jarras .....	67
<b>Tabla 20</b> Eficiencias de remoción de parámetros físicos, químicos y biológicos. ....	68

<b>Tabla 21</b> Eficiencia de remoción de turbidez .....	71
<b>Tabla 22</b> Parámetros físicos, químicos y biológicos analizados con la dosis óptima .....	74
<b>Tabla 23</b> Parámetros de diseño del sistema de tratamiento .....	77
<b>Tabla 24</b> Costos de implementación, personal, insumos y materiales.....	79
<b>Tabla 25</b> Ahorro mensual por familia .....	80

## LISTA DE GRÁFICAS

<b>Gráfico 1</b>	Composición porcentual de las aguas grises.....	7
<b>Gráfico 2</b>	Representación de la desviación estándar y media de DQO, de acuerdo a las dosis. ....	62
<b>Gráfico 3</b>	Eficiencia de remoción de $DBO_5$ .....	70
<b>Gráfico 4</b>	Porcentaje de eficiencia de remoción de nutrientes según la dosis....	72
<b>Gráfico 5</b>	Eficiencias de remoción utilizando las dosis óptimas de los dos oxidantes en un litro de agua gris.....	75



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Fuentes de agua gris.....	6
<b>Figura 2.</b> Etapas de un sistema general de tratamiento de aguas grises. ....	20
<b>Figura 3.</b> Sistema de filtro de arena.....	23
<b>Figura 4.</b> Procedimiento de recolección de agua gris en duchas .....	36
<b>Figura 5.</b> Procedimiento de recolección de agua gris en duchas. ....	37
<b>Figura 6.</b> Procedimiento de obtención de la muestra compuesta .....	38
<b>Figura 7.</b> Hipoclorito de calcio al 70 % .....	42
<b>Figura 8.</b> Equipo de prueba de jarras .....	44
<b>Figura 9.</b> Peróxido de hidrógeno al 50%. ....	46
<b>Figura 10.</b> Sistema de tratamiento para el caso de estudio.....	51
<b>Figura 11.</b> Potencia necesaria según el diámetro de un tanques de agitación con una pala, una hélice o una turbina. ....	54
<b>Figura 12.</b> Filtro de malla .....	78
<b>Figura 13.</b> Pesaje de dosis de hipoclorito de calcio.....	94
<b>Figura 14.</b> Medición en volumen de dosis de peróxido de hidrógeno.....	94
<b>Figura 15.</b> Tratamiento en la prueba de jarras con hipoclorito de calcio al 70 %.....	94
<b>Figura 16.</b> Tratamiento en la prueba de jarras con peróxido de hidrógeno 50 v/v.....	94
<b>Figura 17.</b> Preparación para la medición de coliformes fecales antes y después del tratamiento. ....	95
<b>Figura 18.</b> Medición de coliformes fecales antes y después del tratamiento.....	95
<b>Figura 19.</b> Digestión de muestras para medición de DQO. ....	95
<b>Figura 20.</b> Medición de DQO antes y después del tratamiento. ....	95
<b>Figura 21.</b> Determinación de cloro residual. ....	96
<b>Figura 22.</b> Determinación de fósforo total.....	96
<b>Figura 23.</b> Determinación de nitrógeno Kjendahl.....	96
<b>Figura 24.</b> Medición de pH.....	96

## ANEXOS

<b>Anexo 1</b> Registro fotográfico .....	94
<b>Anexo 2</b> Tabla del número mas probable y límite de confianza 95% entre los cuales puede variar para diversas combinaciones de resultados positivos obtenidos con tres porciones (0,1 - 1 -10 ml). .....	97
<b>Anexo 3</b> Dosis experimentales y registro de análisis de DQO del agua gris tratada con hipoclorito de calcio al 70%. .....	98
<b>Anexo 4</b> Dosis experimentales y registro de análisis de DQO del agua gris tratada con peróxido de hidrógeno al 50%. .....	99
<b>Anexo 5</b> Caracterización del agua gris tratada con hipoclorito de calcio al 70% con repeticiones. ....	100
<b>Anexo 6</b> Caracterización del agua gris tratada peróxido de hidrógeno con repeticiones. ....	101
<b>Anexo 7</b> Resultados de Nitrógeno Kjendahl del CICAM para las muestras con y sin tratamiento. ....	103
<b>Anexo 8</b> Cálculos.....	107

## SIMBOLOGÍA Y SIGLAS

**ADN:** Ácido desóxirribonucleico

**ARN:** Ácido ribonucleico

**Ca(ClO)<sub>2</sub>:** Hipoclorito de calcio

**Ca<sup>++</sup>:** Calcio

**CF:** Coliformes Fecales

**CH<sub>4</sub>:** Metano

**CHBr<sub>2</sub>Cl:** Clorodibromometano

**CHBr<sub>3</sub>:** Tribromometano

**CHBrCl<sub>2</sub>:** Bromodichlorometano

**CHCl<sub>3</sub>:** Cloroformo

**CICAM:** Centro de Investigación y Control Ambiental

**Cl<sub>2</sub>:** Cloro gas

**ClO<sup>·</sup>:** Radical Hipoclorito

**ClO<sub>2</sub>:** Dióxido de Cloro

**Cl<sub>r</sub>:** Cloro residual

**d:** Diámetro del tanque

**DBO<sub>5</sub>:** Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días

**DCA:** Ácido dicloroacético

**DQO:** Demanda Química de Oxígeno

**H<sup>+</sup>:** Ion Hidrógeno

**H<sub>2</sub>O:** Agua

**H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:** Ácido sulfúrico

**HCl:** Ácido clorhídrico

**HCIO:** Ácido hipocloroso

**kWh:** Kilovatios hora

**LDIA:** Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental

**LMP:** Límites máximos permisibles

**Na<sup>+</sup>:** Sodio

**NaClO:** Hipoclorito de sodio

**NaClO<sub>2</sub>:** Clorito de sodio

**N<sub>H</sub>:** Número de habitantes

**NH<sub>3</sub>:** Amoniac

**N<sub>K</sub>:** Nitrógeno Kjeldahl

**OH<sup>-</sup>:** Ion hidroxilo

**P<sub>AG</sub>:** Producción de agua gris

**pH:** Potencial hidrógeno

**P<sub>T</sub>:** Fósforo total

**Q<sub>AG</sub>:** Caudal de aguas de grises

**Q<sub>AGD</sub>:** Caudal de agua gris desechada a la alcantarilla

**Q<sub>AGprom</sub>:** Caudal promedio de agua gris

**Q<sub>AGT</sub>:** Caudal de agua gris tratada

**Q<sub>prom</sub>:** Caudal total promedio

**r:** Radio del tanque

**rpm:** Revoluciones por minuto

**TCA:** Ácido tricloroacético

**TFA:** Ácido trifluoracético

**THM<sub>S</sub>:** Trihalometanos

**t<sub>r1</sub>:** Tiempo de contacto

**t<sub>r2</sub>:** tiempo de almacenamiento

**UV:** Ultravioleta

**V<sub>almacenamiento</sub>:** Volumen de almacenamiento

**V<sub>tanque de almacenamiento</sub>:** Volumen del tanque de almacenamiento

**V<sub>tanque de contacto</sub>:** Volumen del tanque de contacto

**V<sub>tratamiento</sub>:** Volumen de tratamiento

## RESUMEN

En este proyecto técnico experimental se presenta una propuesta de tratamiento de aguas grises generadas en duchas y lavamanos mediante un proceso de oxidación con peróxido de hidrógeno e hipoclorito de calcio para su recirculación hacia los inodoros, aplicado a edificio 10 pisos, 2 depto por piso y 4 hab. por depto.

Se inició con una campaña de muestreo para la determinación del caudal de agua gris generada en duchas y lavamanos de 55,8 l/hab.día, durante 5 días. Se tomó una cantidad representativa de agua gris con la finalidad de caracterizar las mismas, obteniendo valores promedio de DQO y DBO<sub>5</sub> de 645,75 mg/l y 193 mg/l respectivamente, indicando que la concentración de contaminantes en este tipo de agua gris es media.

Posteriormente se determinó el caudal promedio necesario de agua gris a tratar de 27,73 l/hab.día, mediante un análisis del consumo de agua de inodoros más comunes utilizados en las viviendas.

A continuación, se dio tratamiento al agua gris con dos tipos de oxidantes (peróxido de hidrógeno e hipoclorito de calcio) mediante el equipo de prueba de jarras. Se experimentó con diferentes dosis hasta encontrar las óptimas de 0,5ml/l y 3,5 g/l respectivamente, a las cuales las condiciones finales de los parámetros físicos (pH, Turbidez), químicos (DQO, DBO<sub>5</sub>, Fósforo Total, Nitrógeno Kjeldahl, Cloro residual) y biológicos (coliformes fecales) cumplieron con los LMP establecidos en las normativas para el reciclaje de aguas grises. De esta caracterización se determinó que el tratamiento con hipoclorito de calcio presenta una mayor eficiencia de remoción de nutrientes, materia orgánica y patógenos con respecto al peróxido de hidrógeno, el cuál evidenció una alta eficiencia de remoción solo en patógenos.

De acuerdo al análisis de costos aplicado al caso de estudio se identificó que la implementación del sistema de tratamiento de oxidación con hipoclorito de calcio

fue de \$ 10621,35 y con peróxido de hidrógeno \$ 9369,31, indicando con esto que el costo de implementación entre uno y otro no varía significativamente.

## ABSTRACT

In this experimental technical project, a proposal for the treatment of gray water generated in showers and sinks is presented through a process of oxidation with hydrogen peroxide and calcium hypochlorite for its recirculation to toilets, applied to a case study.

It began with a sampling campaign to determine the flow of gray water generated in showers and basins of 55,8 l/day, for 5 days. A representative amount of gray water was taken in order to characterize them, obtaining average values of COD and BOD<sub>5</sub> of 645.75 mg/l and 193 mg/l respectively, indicating that the concentration of pollutants in this type of gray water is medium .

Subsequently the average flow rate of gray water to be treated was determined to be 27.73 l/hab.day, through an analysis of the water consumption of the most common toilets that are used in homes.

Next, the gray water was treated with two types of oxidants (hydrogen peroxide and calcium hypochlorite) using the jar pruning equipment. We experimented with different doses until we found the optimum of 0,5 ml/l and 3,5ml/l respectively, to which the final conditions of the physical parameters (pH, Turbidity), chemicals (COD, BOD<sub>5</sub>, Total Phosphorus, Nitrogen Kjeldahl, residual Chlorine) and biological (fecal coliforms) comply with the LMP established in the regulations for the recycling of greywater. From this characterization it was determined that the treatment with calcium hypochlorite presents a greater efficiency of removal of nutrients, organic matter and pathogens with respect to hydrogen peroxide, which showed a high removal efficiency only in pathogens.

According to the cost analysis applied to the case study, it was identified that the implementation of the oxidation treatment system with calcium hypochlorite was \$ 10621.35 and with hydrogen peroxide \$ 9369.31, indicating with this that the implementation cost between one and the other does not vary significantly.

## PRESENTACIÓN

El presente trabajo muestra una propuesta de tratamiento de aguas grises de duchas y lavabos para su reutilización en inodoros la cual se encuentra organizada de la siguiente manera:

El capítulo 1, corresponde a la Introducción, descripción de antecedentes, objetivo general y objetivos específicos, alcance y justificación establecidos para el desarrollo de ésta investigación.

El capítulo 2, comprende el marco teórico en el cual se desarrollan varios fundamentos teóricos sobre aguas grises, tales como: definición, composición de acuerdo a sus fuentes de generación, tipos de reúsos, posibles riesgos a la salud y ambiente, principales indicadores de la calidad del agua gris, finalmente se detallan los tipos de tratamientos más comunes para las mismas.

En el capítulo 3, se detalla minuciosamente la metodología utilizada para el desarrollo del presente proyecto empezando por la campaña de muestreo para determinar los caudales de agua gris de duchas y lavamanos, caudal de agua gris para inodoros, caracterización de la muestra en el laboratorio antes del tratamiento, determinación de la dosis óptima y tiempo de retención del hipoclorito de calcio y peróxido de hidrógeno, caracterización del agua gris tratada, finalmente la utilización de todo lo antes determinado para ser aplicado a un caso de estudio.

En el capítulo 4, se analiza y discute los resultados obtenidos en la parte experimental mediante los caudales de agua gris: generado, tratado y desechado a la alcantarilla. Seguido por un análisis de todas las dosis estudiadas para determinar la óptima de los dos oxidantes, caracterización del agua gris tratada para su comparación con la normas establecidas, comparación de eficiencia entre dosis óptimas y análisis de costos de la aplicación del sistema de tratamiento al caso de estudio.



En el capítulo 5, se presentan las conclusiones y recomendaciones tomando en cuenta los objetivos planteados y los resultados obtenidos en este proyecto.

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 ANTECEDENTES

Según Espinal, Ocampo & Rojas (2014), el agua potable es un bien cada vez más escaso que se debe proteger. Por esta razón se ha empezado a promover la reutilización de aguas grises en muchas partes del mundo, tanto en los países desarrollados, así como en los que se encuentran en vías de desarrollo (Ardila, 2013). El reciclaje de las aguas grises es un componente importante de las prácticas sustentables del uso de agua ya que provee beneficios como: disminución del consumo de agua potable, reducción del monto en las facturas de agua, entre otros (Allen, 2015).

Las aguas grises son aguas residuales domésticas que tuvieron un uso ligero y pueden contener jabón, cabello, suciedad o bacterias (Allen, 2015). Una subdivisión usual es separar las aguas grises en: claras y oscuras, siendo las primeras correspondientes a lavamanos duchas y tinas, y las segundas a lavadoras y lavaplatos. Si bien las aguas grises son mucho menos contaminadas que las aguas negras, éstas también contienen excretas humanas provenientes de baños, ducha o tina. Personas que gozan de buena salud pueden también excretar patógenos, los cuales son parte de la flora intestinal (Franco, 2007).

La problemática se presenta en el reciclaje de aguas grises, ya que al ser almacenadas por 48 horas sin un tratamiento previo se generará un ambiente anaeróbico; como consecuencia de esto se produce mal olor; es por esto que se debe realizar un tratamiento a las aguas grises y posterior reutilización antes de que alcancen el estado anaeróbico (Homsí, 2010). Además, al recircular aguas grises a inodoros sin un previo tratamiento puede causar obstrucciones por

acumulación de grasas en las tuberías y formación de biopelículas (Kestler, 2004).

En base a esta problemática, este estudio pretende dar una propuesta de tratamiento eficaz de aguas grises de duchas y lavabos para ser reutilizadas en inodoros, de tal manera que se eviten efectos nocivos a la salud, el mal olor que se genera en el almacenamiento y reducción de la presión del uso de agua potable para descarga de inodoros (Ardila, 2013). Esto se realizará mediante la recolección de muestras compuestas in situ, para posteriormente ser tratadas en laboratorio mediante ensayos de prueba de jarras empleando como oxidantes al peróxido de hidrógeno o hipoclorito de calcio, de tal forma que esto permita determinar cuál es el oxidante más eficiente comparando respecto a: tiempo de contacto, materia orgánica biodegradable, nutrientes, microorganismos y patógenos removidos. Para determinar la viabilidad económica de este estudio se realizará un análisis de costos aplicado a un edificio habitacional.

## **1.2 OBJETIVOS**

### ***OBJETIVO GENERAL***

Elaborar una propuesta de reutilización de aguas grises de duchas y lavabos mediante tratamiento básico con peróxido de hidrógeno o cloro para su reutilización en inodoros.

### ***OBJETIVOS ESPECÍFICOS***

- Determinar los caudales de agua utilizada en duchas y lavamanos mediante una campaña de muestreo in situ en una vivienda para determinar la cantidad disponible de agua que deberá ser tratada para recircular a los inodoros.
- Determinar la calidad del agua gris proveniente de duchas y lavabos de una vivienda, mediante análisis físico-químicos para determinar parámetros de tratamiento requeridos para su reúso.

- Determinar la dosis efectiva y el tiempo de contacto: entre el peróxido de hidrógeno o cloro y las aguas grises mediante pruebas de jarras para comparar la eficiencia de los oxidantes.
- Caracterizar las aguas grises posterior al tratamiento de oxidación mediante las siguientes pruebas: DBO<sub>5</sub> , DQO, N, P, pH, turbidez y CF para identificar al mejor oxidante y determinar si se encuentran dentro de los LMP para el uso de aguas grises en inodoros.
- Presentar un análisis comparativo de costos a partir de un caso de estudio de un edificio de 10 pisos, 2 apartamentos por piso y 4 personas por apartamento para determinar cuál es el tratamiento que representa mayor beneficio en cuanto a eficiencia y rentabilidad

### **1.3 ALCANCE**

El presente proyecto pretende encontrar una propuesta de tratamiento que cumpla con la normativa vigente para el reúso de aguas grises en edificios. Esto se realizará mediante la oxidación química con hipoclorito de calcio o peróxido de hidrógeno, de las aguas provenientes de duchas y lavamanos, para que pueda ser recirculada hacia los inodoros.

### **1.4 JUSTIFICACIÓN**

Hace décadas se ha venido evidenciando la escasez de agua potable, siendo esto una amenaza para el hombre, razón por la cual se ha empezado a promover el reciclaje de aguas grises para riego y llenado de cisternas, ya que éstas tienen un menor grado de contaminación y son de fácil tratamiento en comparación con las aguas negras.

La problemática se presenta en la recirculación de aguas grises sin tratamiento previo, ya que pueden causar obstrucciones por acumulación de grasas en las tuberías y formación de biopelículas, además de que pueden causar un riesgo a la salud debido a la proliferación de microorganismos patógenos (Kestler, 2004).

Por lo antes mencionado se presenta una propuesta de tratamiento de aguas grises para ser recirculadas hacia los inodoros, para lo cual se utilizará la metodología clásica de las pruebas de jarras ya que actúa como simulador en los procesos de oxidación química, para determinar a escala de laboratorio la dosis óptima de oxidantes que se deberá aplicar en las aguas. Esta metodología es ampliamente utilizada y efectiva para el diseño de sistemas de tratamiento y es económicamente accesible (Quijandrí, 2013).

Se utilizará peróxido de hidrógeno o peróxido de hidrógeno como oxidantes para el tratamiento de aguas grises ya que su costo no es elevado y son de fácil acceso (Hybrid, 2016). Carranza & Zambrano (2014), recomiendan la utilización de estos dos oxidantes debido a que éstos poseen gran capacidad de depuración en el tratamiento de aguas grises.

Una vez finalizados los ensayos con pruebas de jarras se utilizará el Método Estándar para el Examen del Agua y Aguas Residuales (APHA), debido a que son técnicas estandarizadas y adecuadas para el examen de muchos tipos de muestras encontradas en la evaluación y control de calidad del agua y del agua contaminada, se han probado varias veces y arrojan resultados confiables (Wilhelm, 2013).

Finalmente mediante un análisis de costo se establecerá si es factible la implementación de un sistema de recirculación de aguas grises tratadas en un edificio habitacional. Según Lamberto (2015), este análisis es importante ya que permite determinar la viabilidad de un proyecto y es utilizado para la toma de decisiones en proyectos ejecutados por empresas o instituciones.

Este trabajo técnico experimental permitirá generar datos de interés como el caudal de agua gris proveniente de duchas y lavamanos que se genera en una vivienda, caudal de agua gris que deberá ser tratada para posteriormente ser recirculada a los inodoros dependiendo de su modelo, caudal de agua que será desechada, la caracterización del agua gris previo y posterior al tratamiento.

Además se establecerá si el tratamiento previsto cumple con las normas básicas para su reuso.

## CAPÍTULO 2

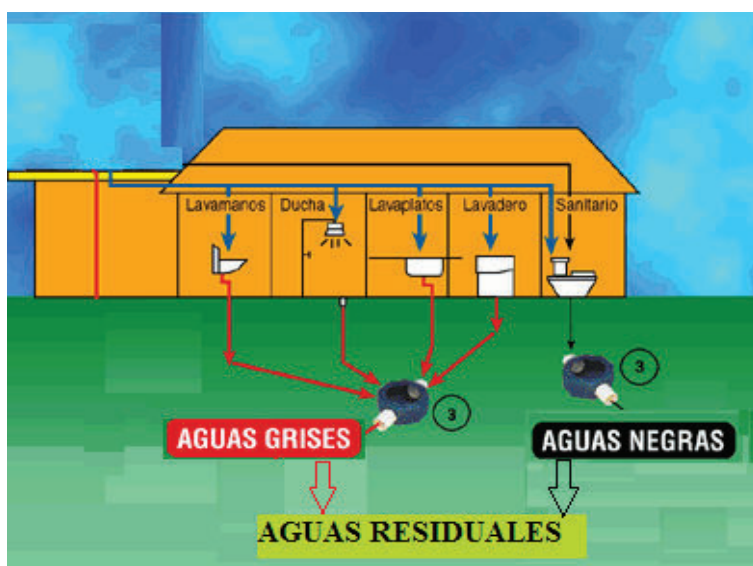
### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 AGUAS GRISES

##### 2.1.1 DEFINICIÓN DE AGUAS GRISES

El agua gris es una fracción de las aguas residuales que tiene un menor grado de contaminación, dentro de las mismas se presentan aquellas que se generan en lavavajillas, duchas, lavamanos, lavadora y excluye las aguas residuales del inodoro, ( Figura 1) (Huhn, 2015).

**Figura 1.** Fuentes de agua gris



**ELABORACIÓN:** Mejía – Urcuango

Según Suárez & Jácome (2012), la contaminación presente en las aguas grises se determina de acuerdo a su origen y su clasificación es la siguiente:

- Tipo 1 o aguas de baja carga: ducha, bañera y lavamanos.
- Tipo 2 o aguas de media carga: ducha, bañera, lavamanos, más las procedentes de la lavadora.

- Tipo 3 o aguas de alta carga: ducha, bañera, lavamanos, lavadora, más las procedentes del lavavajillas.

Debido a que las aguas grises presentan materia orgánica y nutrientes en su composición, deben tener un tratamiento previo a su utilización ya que en caso de no tener un manejo adecuado de las mismas, podrían ocasionar problemas a la salud y malos olores (Nagua, 2016).

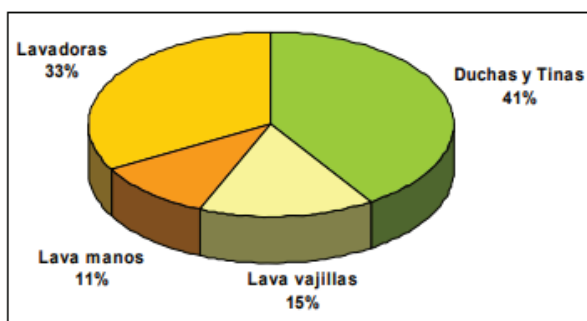
### **2.1.2 COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS GRISES**

#### **2.1.2.1. Composición según la fuente de generación de agua gris**

Según Harju (2010), las aguas residuales domésticas están compuestas por aguas negras y aguas grises, las últimas cubren alrededor del 50 – 80 % del total de aguas residuales generadas en el hogar. La composición de las aguas grises varía considerablemente de acuerdo al estilo de vida de las personas y los químicos que se utilice en el aseo personal, lavandería, entre otros (Nigatan, 2015).

La mayor parte de agua gris está compuesta por aquella que es generada en duchas, tinas y lavadoras, en un menor porcentaje también la componen las que se generan en el lavamanos y lavavajillas, como se presenta en el Gráfico 1, de acuerdo a la fuente de generación (Harju, 2010).

**Gráfico 1:** Composición porcentual de las aguas grises



**Fuente:** (Franco, 2007)



En términos de volumen las fuentes de mayor generación son la ducha y tinas representando un 41 % de la producción de agua gris, su baja carga de materia orgánica hace que sea de fácil tratamiento y depuración de tal forma que pueda ser reusada en actividades como: irrigación y recirculación hacia los inodoros (Alkhatib, 2008).

### **2.1.2.2 Composición en términos de calidad de agua gris**

Según Harju (2010), la composición en términos de calidad va a depender de la fuente de generación como se mencionó anteriormente, éstas son: duchas, lavamanos, lavadoras y lavavajillas. Cada una de estas fuentes produce agua gris con una composición ligeramente diferente entre sí, como se describe en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Composición del agua gris según la fuente de generación.

Lavavajillas	Este tipo de agua gris contiene residuos de comida, altas cantidades de aceites y grasas, incluyendo detergentes para platos. Presenta un alto contenido de nutrientes, sólidos suspendidos y sales, además, puede ser muy alcalina.
Ducha y lavamanos	Ésta es considerada como la menos contaminada de las fuentes de agua gris. Contiene jabón, shampoo, pasta de dientes, residuos de crema de afeitarse, piel, cabello, grasas corporales, rastros de orina y heces.
Lavadora	Presenta altas concentraciones de productos químicos como: sodio, fósforos, surfactantes y nitrógeno, además de blanqueadores y fibras no biodegradables provenientes de la ropa. El agua gris de la lavandería contiene una gran cantidad de patógenos cuando se lavan pañales de bebés.

**Fuente:** (Morel & Diener, 2006)

**ELABORACIÓN:** Mejía – Urcuango

### Características químicas, físicas y microbiológicas de las aguas grises según la fuente de generación

Las características físicas, químicas y biológicas del agua gris varían significativamente de acuerdo a las fuentes de generación (lavavajilla, duchas, lavamanos y lavadora). De acuerdo a varios estudios efectuados en algunos países se ha logrado establecer la composición estándar de las aguas grises (Niño & Martínez, 2013).

Las aguas grises en comparación con las aguas negras poseen un menor contenido de nutrientes debido a la exclusión de desechos (orina y heces). Sin embargo, estudios han demostrado que las aguas grises sin tratar benefician al crecimiento de las plantas (Suárez & Jácome, 2012).

En la Tabla 2, se representa la caracterización de las aguas grises según su fuente de generación, en la cual se puede observar que en términos de contaminación, aquellas que provienen de las duchas y lavamanos son menos contaminadas en comparación con las de la lavadora y lavavajillas.

**Tabla 2.** Caracterización física, química y microbiológica de las aguas grises según su fuente de generación.

Parámetro	Duchas y lavamanos	Lavadora	Lavavajillas
pH	6,4 - 8,1	7,1 - 10	5,9 - 7,4
Turbidez (NTU)	44 – 375	50 - 444	298
DQO (mg/l)	100 – 633	231 - 2.950	26 - 2.050
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	50 – 300	48 - 472	536 - 1.460
N <sub>k</sub> (mg/l)	3,6 - 19,4	1,1 - 40,3	11,4 - 74
P <sub>T</sub> ( mg/l)	0,11 - 48,8	>171	2,9 - 7,4
Coliformes Totales (UFC/100 ml)	10 - 2,4 X10 <sup>7</sup>	200 - 7X10 <sup>5</sup>	2,4 X10 <sup>8</sup>
Coliformes fecales (UFC/ 100 ml)	0 - 3,4 X10 <sup>5</sup>	50 - 1,4X10 <sup>3</sup>	-

Fuente: Suárez J., & Jácome. A., (2012).

### **2.1.3 TIPOS DE REÚSOS PARA AGUAS GRISES**

Las aguas grises luego de un tratamiento previo pueden ser reutilizadas en varias actividades que no necesiten agua potable, sin causar ningún riesgo a la salud, tales como: agrícola, urbano, industrial y recreacional (Bejarano, 2015).

#### **2.1.3.1 Uso Agrícola**

Las aguas grises tratadas suelen ser utilizadas principalmente en actividades de riego, ya que debido a la cantidad de fósforo y nitrógeno que poseen, son un aporte de nutrientes necesarios en la producción de hortalizas, riego de árboles frutales, también son utilizadas para diluir fertilizantes (Franco, 2007).

#### **2.1.3.2 Uso Urbano**

Los usos que se le da a este tipo de aguas en el ámbito urbano son de tipo no potable. Los usos urbanos más importantes que se le da al agua tratada según Fernández (2006), son en riego y la reutilización en los inodoros; ya que el reúso, en el mismo permitiría un ahorro aproximado del 35% de la cantidad del agua consumida en un domicilio.

Se utilizan para regar áreas verdes como parques, campos de golf, campos de atletismo, áreas residenciales, canchas entre otros. Además, este tipo de aguas se utilizan para limpiar calles, vehículos, apagar incendios, paisajismo en uso de fuentes y caídas de agua (Silva, Torres & Madera, 2008).

#### **2.1.3.3 Uso Industrial y Recreacional**

Las industrias son una de las principales consumidoras de grandes cantidades de agua, mismas que reutilizan su propia agua residual tratada generada en sus procesos de producción, además es poco común, pero se utiliza las aguas grises tratadas en diferentes usos por ejemplo: agua de lavado y agua de refrigeración (Bejarano, 2015).

Las industrias que mayor demanda de agua tiene son la textil, papelera y química. Las aguas grises tratadas también pueden ser usadas con fines recreacionales

como por ejemplo utilizarlas para llenar lagunas artificiales destinadas para paseos en bote (Franco, 2007).

#### **2.1.4 RIESGOS, SALUD Y AMBIENTE**

Dueñas & Donado (2015), afirman que la contaminación ambiental es una preocupación a nivel mundial debido a los efectos nocivos que puede causar a la salud humana, al suelo, a los cuerpos de agua superficial y subterránea.

La eliminación irresponsable de las aguas grises y negras sin un previo tratamiento, da como resultado la contaminación de los recursos hídricos (Hunh, 2015).

Las aguas grises tienen menor concentración de contaminantes en comparación con las aguas negras, en estas aguas también se puede encontrar parásitos, bacterias y virus; que provienen del agua generada en la ducha, lavadoras y lavavajillas (Franco, 2007).

A pesar que el agua gris contiene menor material fecal en comparación con las aguas negras, este tipo de agua representa un peligro para la salud humana debido a los compuestos químicos y microorganismos patógenos contenidos en la misma (Lucke, 2003).

No existe evidencia de severos riesgos en la salud del hombre en el reúso de aguas grises, por lo tanto la transmisión de enfermedades a las personas mediante el uso de aguas grises en terrenos, jardines e inodoros es bajo. La población con mayor susceptibilidad a riesgos son: niños, ancianos y personas con compromisos inmunológicos (McIlwaine, 2003).

##### **2.1.4.1 Efectos en plantas y suelo, salud humana y ambiente.**

#### **Plantas y suelo**

Los productos utilizados en las fuentes de generación de aguas grises (ducha, lavadora y lavavajillas) tienen una variedad de químicos, en especial altas

concentraciones de sodio que pueden ser dañinos para las plantas si el agua gris es reutilizada en la agricultura y riego (Garrison, 2002).

Los principales efectos de las altas concentraciones de sodio en el suelo y plantas son:

- Niveles altos de sodio pueden decolorar y quemar las hojas, además contribuir a una condición de suelo alcalino.
- Concentraciones mayores a 69 mg/l de sodio en el suelo puede llegar a evitar que el calcio llegue a las plantas y ser tóxico para las mismas (Bennett, 2002).
- El alto contenido de sodio ( $\text{Na}^+$ ) dentro de las aguas grises propicia la dispersión de coloides y arcillas, esto dificulta la conducción de agua y oxígeno dentro del horizonte del suelo, provocando la disminución de la fertilidad, permeabilidad y aireación del suelo (Musa & Al-Asad, 2002).
- Tiende a elevar la alcalinidad y salinidad del suelo. Aumentos en la alcalinidad surgirán debido a la presencia de sales de sodio, potasio y calcio en las aguas grises, particularmente de los detergentes de lavandería.

Para poder disminuir las concentraciones de sodio presentes en el agua gris es necesario la reducción del uso de detergentes y jabones con alto contenido en sodio, de esta forma se evitará el riesgo para la salud del suelo y en consecuencia de las plantas. Es importante regar el suelo de vez en cuando con agua dulce o de la lluvia, esto atenúa la acumulación de sodio en el terreno (Ilemobade & Olanrewaju, 2012).

### **Salud humana**

El reúso de aguas residuales para fines residenciales, ornamentales y de riego, pueden traer efectos negativos a la salud humana. Las actividades de reúso permiten el contacto directo, inhalación o ingestión de las aguas residuales, mediante estas vías pueden adquirirse patógenos y químicos que ponen en peligro a la salud humana. Sin embargo, la magnitud del riesgo varía de acuerdo

a la naturaleza de las aguas residuales; ya que las aguas negras presentan un mayor riesgo por la presencia de microorganismos y materia orgánica, en comparación con las aguas grises (Huhn, 2015).

Contrario a lo que la población cree, las aguas grises tratadas y desinfectadas no son un peligro para el hombre. El riesgo se puede presentar cuando las personas han tenido un contacto físico directo con las aguas grises sin tratamiento, también por la ingesta de frutas y verduras que han sido regadas con este tipo de agua (Musa & Al-Asad, 2002).

La contaminación por material fecal que las aguas grises presentan es el principal riesgo para la salud humana, a pesar de que dicha contaminación es mínima en comparación con la de las aguas negras, existe, y es producida comúnmente en el aseo personal y el lavado de ropa contaminada, éstos contienen patógenos y bacterias oportunistas como *pseudomonas spp*, *mycobacterias* o *legionella spp* que pueden causar enfermedades (Franco, 2007).

Por lo antes mencionado en países donde se impulsa el reciclaje de aguas grises para su posterior uso en diversas actividades, enfatiza que se evite la introducción de patógenos en el agua gris, evitando el lavado de pañales, ropa con sangre o vómito; y que cuando haya una enfermedad particularmente infecciosa en el hogar (por ejemplo, diarrea, hepatitis, sarampión o parásitos intestinales), las aguas grises deben eliminarse a través del sistema de alcantarillado de aguas negras y no reutilizarse (McIlwaine, 2018)

Es importante que en las políticas gubernamentales emergentes y en las pautas regulatorias se incluya la reutilización de aguas grises como parte de una estrategia general sostenible para el agua, en las cuales conste que el tratamiento adecuado, la operación y mantenimiento de sistemas de reciclaje para aguas grises sea indispensable antes de su reutilización, de esta forma evitar los riesgos a la salud (Lucke, 2003).

## **Ambiente**

Según Musa & Al-Asad (2002), el principal riesgo ambiental de la reutilización de aguas grises es la contaminación de las aguas subterráneas.

Dependiendo de la geología de la zona en cuestión, es posible que algunas de las sustancias encontradas en las aguas grises puedan llegar a las reservas de agua subterránea subyacentes al área en la que se las reutilice. Sin embargo, dos factores reducen la importancia de esto, primero a nivel global la generación de este tipo de agua es muy pequeña, por lo tanto la cantidad de agua gris que llegue a los acuíferos subterráneos es mínima. Segundo, la mayor parte del agua gris y los nutrientes que ésta posee serán absorbidos por las plantas (Little, 2001).

Sin embargo, se espera que para el reúso de aguas grises se tome conciencia de lo que se utiliza en los hogares, ya que si se depositan grandes dosis de químicos en las aguas grises; no solo las aguas subterráneas podrían estar en riesgo, sino también las plantas. Por ejemplo, en Arizona, las aguas grises solo se pueden usar en lugares donde el agua subterránea está a más de 1,5 m por debajo de la superficie del suelo (Ardila, 2013).

La determinación de otro tipo de riesgo al ambiente por la reutilización de las aguas grises sin tratar es complicada, ya que no existen estudios que sustenten su grado de peligrosidad tanto para el ambiente como para la salud humana. Es por esto que sus aspectos positivos son más relevantes que los negativos. Según Niño & Martínez (2013), el principal beneficio al reutilizar aguas grises se observa en la disminución de la demanda de agua potable en actividades como tirar la cadena del inodoro, limpieza de patios y lavado de vehículos; las cuales si bien deben cumplir cierto grado de calidad, no es necesario que tengan la misma calidad que aquella que se utiliza para el consumo humano.

#### **2.1.4.2 Medidas de precaución para el reúso seguro de aguas grises**

Las aguas grises que han sido regeneradas para su posterior recirculación tienen que cumplir con cuatro criterios básicos: seguridad sanitaria, estética, tolerancia ambiental y viabilidad económica (Nolde, 1999).

Con el objetivo de garantizar la salud pública y el ambiente se presentan ciertas medidas de control, para disminuir el riesgo asociado a su reutilización (FAO, 2017).

- Evitar el contacto directo con aguas grises que no han tenido tratamiento y minimizarlos con las tratadas, para disminuir este riesgo de contacto se debería colocar carteles que adviertan la peligrosidad de las mismas.
- No regar con aguas grises sin haber sido sometidas a un tratamiento adecuado de regeneración, a excepción de aquellas plantas que tienen el fruto a cierta altura sobre el nivel del suelo.
- Normar y reglamentar los estándares de calidad para disponer y reutilizar el agua gris en diversas actividades; tales como tratamiento de desinfección obligatoria para recirculación hacia inodoros y urinarios.
- En caso de implementar un sistema de recirculación de aguas grises en residencias, se debe prevenir el cruce de tuberías de aguas grises y agua potable, ya que esto puede presentarse cuando dichas aguas son recirculadas hacia los estanques de inodoro.
- Usar aguas grises para lavar los vehículos con discreción ya que el agua muy jabonosa puede dejar un residuo.
- Deben usarse detergentes, jabones y champús ecológicos en la lavadora si se va a reutilizar el agua. Esto evita que productos químicos dañinos ingresen a las aguas pluviales o sistemas de aguas superficiales que podrían contaminarlos.
- Para evitar el contacto directo con plantas comestibles, use riego por goteo de esta forma el contacto entre el fruto y las aguas grises es casi nulo. Evitar el uso de aguas grises para regar vegetales como: espinaca, zanahorias entre otras plantas con el fruto en la raíz.



- Evitar el uso de aguas grises provenientes del lavado de pañales, de domicilios donde vive un enfermo con diarrea, aguas grises generadas del lavado de tintes de cabello u otros productos químicos (Kestler, 2004).

La utilización de aguas grises se maneja como una alternativa para la gestión integral del uso de agua; ya que es una medida para el ahorro del agua potable y el control de la contaminación, es necesario controlar los usos para los que se destina su reciclaje debido al riesgo de afectación al ambiente y salud del ser humano. Es necesario determinar su naturaleza física, química y microbiológica, antes de ser recirculadas.

## **2.1.5 PARÁMETROS DE CALIDAD**

### **2.1.5.1 Parámetros Físico – Químicos**

#### **Turbiedad**

La turbidez es una propiedad óptica, que refleja el nivel de transparencia del agua, debido al contenido de coloides que hace que la luz en lugar de transmitirse en una línea recta se disperse y se absorba. Valores altos de turbidez pueden interferir en los procesos de desinfección, crecimiento bacteriano y aumento en la demanda de cloro (Marcó, *et al.*, 2004).

La turbiedad es medida con un turbidímetro o un nefelómetro expresado en unidades nefelométricas de turbiedad (NTU) y su fundamento es la comparación de la cantidad de luz que pasa a través de una solución patrón y la muestra de agua a ser analizada (Giraldo, 1995).

#### **Potencial Hidrógeno**

El pH es considerado como un indicador de acidez o alcalinidad de una sustancia, su escala varía entre 0 y 14 por lo que si el valor es más próximo a cero la solución es considerada ácida y mientras más se acerca a 14 es básica, es considerado neutro a un valor de 7 a 25°C (Boyd, 2000).

Este parámetro es uno de los más importantes dentro de los procesos de oxidación debido a que está directamente relacionado con los efectos corrosivos que se generan en las redes de circulación. El rango de pH para aguas crudas y tratadas varía de 5,0 a 9,0; ya que de esta manera se puede evidenciar el comportamiento de otros elementos presentes en el agua (Barrenechea, 2004).

### **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

La DQO representa la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la fracción orgánica e inorgánica presente en medio ácido con catalizadores a una temperatura y tiempo de reacción determinados (Muñoz & Aldás, 2017). El tiempo necesario para su determinación es relativamente corto (2 horas).

### **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

La DBO<sub>5</sub> está definida como la cantidad de oxígeno necesario para descomponer la materia orgánica a través de procesos biológicos aerobios en aguas municipales, industriales y aguas residuales en general (Muñoz & Aldás, 2017).

Experimentalmente se ha comprobado que la DBO toma valores muy significativos, entre el 70 - 80% de la misma a partir de los 5 días, es por esto que se ha aceptado el tiempo análisis en 5 días como patrón; pero el porcentaje exacto depende de la naturaleza de la materia orgánica y del carácter del inóculo (APHA, AWWA, APLF, 1992).

### **Fósforo Total**

El fósforo se encuentra tanto en aguas naturales como residuales solo como fosfato, es un elemento importante en el crecimiento de muchos organismos y puede ser un limitante en la productividad primaria de un cuerpo en el agua. (Creus, *et al.*, 2011). Los detergentes son el principal aporte de fósforo en aguas grises (Marcó, *et al.*, 2004).

### **Nitrógeno Kjeldahl**

El nitrógeno Kjeldahl está definido como la concentración de nitrógeno orgánico y amoniacal de una muestra, determinado después de su mineralización bajo condiciones específicas (Rojas, 2002)

Las interferencias del método Kjeldahl son: los nitratos, ya que una gran cantidad de éstos puede oxidar parte del amoníaco liberado para producir óxido de nitrógeno y causar una interferencia negativa; sólidos y sales orgánicas que al encontrarse en grandes cantidades en la muestra ocasionan un aumento en la temperatura de digestión a 400°C generando una pérdida pirólica de nitrógeno; materia orgánica excesiva ocasiona el consumo de grandes cantidades de ácido, lo que provoca el aumento en la relación sal - ácido ocasionando aumento en la temperatura de digestión (Rodríguez, 2007). En aguas grises puede aproximarse al nitrógeno total debido a la baja existencia de nitritos y nitratos.

### **Cloro Residual**

La cloración se utiliza para inhibir el crecimiento bacteriano. Al reaccionar el cloro con agua forma ácido clorhídrico e hipocloroso. “El cloro libre reacciona rápidamente con el amoníaco en efluentes no nitrificados para formar compuestos combinados de cloro, principalmente monocloramina” (EPA, 1999).

### ***2.1.5.2 Parámetros Biológicos***

#### **Coliformes totales**

Los coliformes totales son indicadores que se utilizan para determinar el grado de contaminación del agua (Rodríguez, Vidal, Vilardey & Saavedra, 2008). Las bacterias pertenecientes al grupo de los coliformes (excepto *E.coli*) están presentes tanto en aguas residuales como naturales (Ríos, Agudelo & Gutiérrez, 2017). Algunas de estas bacterias se excretan en las heces de personas y animales.

#### **Coliformes fecales**

Los coliformes fecales son parte de los coliformes totales y se caracterizan por soportar altas temperaturas de hasta 45°C, por lo que se denomina como

bacterias termotolerantes. Se desarrollan y habitan en el intestino de animales de sangre caliente, mamíferos especialmente, razón por la cual representan un indicativo de contaminación de origen animal y humano. La capacidad de reproducción de los coliformes fecales fuera del intestino de los animales homeotérmicos es favorecida por la existencia de condiciones adecuadas de materia orgánica, pH y humedad (Roldán y Ramírez, 2008).

El miembro más representativo es la *Escherichia coli*, forma parte de las enterobacterias, procariota sin núcleo definido y de origen intestinal, se excreta mediante heces fecales y por sus características constituye uno de los indicadores de contaminación fecal más utilizados (Larrea et al., 2013).

### **2.1.5.3 Límites Máximos Permisibles para aguas grises tratadas**

Según el Artículo N° 35 del Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises del Departamento de Salud Ambiental de Chile (2017), se presenta en la Tabla 3 los Límites Máximos Permisibles para aguas grises de uso urbano tratadas.

**Tabla 3.** Límites máximos permisibles para aguas grises de uso urbano tratadas

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límites máximos permisibles</b>
<b>Turbiedad</b>	NTU	5
<b>DBO5</b>	mg/l	10
<b>Cloro Residual</b>	mg/l	0.5 - 2
<b>Coliformes Fecales</b>	UFC/100ml	10
<b>DQO</b>	mg/l	30

**FUENTE:** Departamento de Salud Ambiental de Chile (2017).

De acuerdo con la Guía Técnica Española de recomendaciones para el reciclaje de aguas grises en edificios emitida por AQUA ESPAÑA (2011), se presenta en la Tabla 4 los Límites Máximos Permisibles para la recirculación de aguas grises tratadas para el uso en inodoros.

**Tabla 4.** Límites máximos permisibles para la recirculación de aguas grises tratadas para el uso en inodoros.

Parámetro	Unidad	Límites máximos permisibles
pH	-	7- 8
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/l	< 10
Fósforo Total	mg/l	< 10

FUENTE: (AQUA ESPAÑA, 2011)

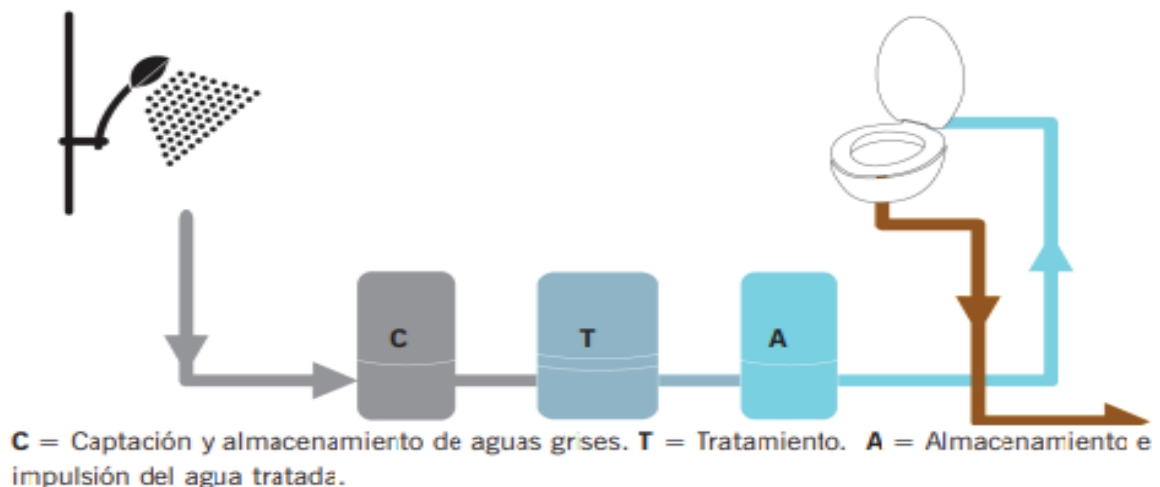
## 2.2 TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES

El Centro de Estudios para la Construcción Ambiental [CSBE], (2013), menciona cuatro razones importantes por las cuales el agua gris requiere tratamiento

- Para eliminar sustancias que pueden ser dañinas para las plantas.
- Para eliminar sustancias dañinas para la salud.
- Para eliminar sustancias perjudiciales para el ambiente en general.
- Para eliminar sustancias que pueden obstruir el sistema de aguas grises.

Suárez & Jácome (2012), en su proyecto titulado "El reciclaje de aguas grises como complemento a las estrategias de gestión sostenible del agua en el medio rural", presentan un sistema de tratamiento de aguas grises (Figura 3), el cual implica tres etapas importantes: captación, tratamiento y almacenamiento para finalmente ser recirculada.

**Figura 2.** Etapas de un sistema general de tratamiento de aguas grises.



FUENTE: Comisión sectorial de aguas grises (CSAG), (2011).

Según la Association for Rainwater Harvesting and Water Utilisation (2012), la estrategia de gestión sostenible del agua debe tener un enfoque en el sistema de tratamiento, el cual será implementado de acuerdo al espacio disponible, la necesidad de los usuarios, costos de inversión y mantenimiento. Dentro del sistema de tratamiento se pueden implementar dispositivos simples y de bajo costo que dirigen las aguas directamente a aplicaciones como el lavado de inodoros y riego de jardines, hasta procesos de tratamientos físicos, químicos, biológicos y de desinfección avanzada, altamente complejos y costosos que incorporan tanques de sedimentación, biorreactores, filtros, bombas y unidades de desinfección (CSBE, 2013).

### **2.2.1 TIPOS DE TRATAMIENTOS**

El tipo y nivel de tratamiento es determinado por la composición de las aguas grises. Según Franco (2007), "Los tratamientos pueden ser de tipo químico, físico, biológicos y de desinfección", entre los principales están: coagulación, floculación, filtración, decantación, lodos activados, cloración, ozonificación y radiación UV.

En este tipo de tecnologías es importante que anteceda un paso que separe la parte sólida de la líquida. Para evitar la obstrucción del tratamiento posterior, se aplican los tratamientos previos como las bolsas de filtro y mallas, para reducir la cantidad de partículas, aceites y grasas ( Li, Wichmann, & Otterpohl,2009).

A continuación, se describen los tratamientos biológicos, físicos y químicos comúnmente utilizados para el tratamiento de aguas grises.

#### **2.2.1.1 Tratamiento Biológico**

Los tratamientos biológicos son conocidos por sus procesos para descomponer y disminuir la carga orgánica y el alto contenido de nutrientes presentes en las aguas residuales. El tratamiento biológico solo no suele ser suficiente para producir un efluente adecuado para su reutilización, por lo que es recomendable que la reacción biológica vaya acompañada de un proceso físico para retener la biomasa activa y evitar el paso de sólidos al efluente (Jefferson et al., 2001).

La mayoría de procesos biológicos aerobios son muy eficientes, ya que logran una excelente remoción de sustancias orgánicas biodegradables ayudando a minimizar el crecimiento de microorganismos y eliminan los malos olores, esto favorece a que las aguas tratadas puedan ser almacenadas por largos periodos. El tratamiento biológicos comúnmente empleado en las aguas grises son los lodos activados (Suárez & Jácome, 2012).

### **Lodos Activados**

Este proceso biológico aeróbico es muy empleado debido a su eficiencia de remoción, su base fundamental son los microorganismos que se encuentran a una concentración determinada, mezclándose con la materia orgánica presente en el agua a ser tratada, mediante aireación estos microorganismos flocculan para formar los lodos activados (Franco, 2007).

Los elementos suspendidos y coloides se eliminan mediante la adsorción y aglomeración de flóculos microbianos. Los nutrientes y el material suspendido son descompuestos por los microorganismos presentes, este proceso se conoce como estabilización (Arcos & Fernández, 1993).

Finalmente la masa microbiana existente más conocida como lodos, se separa del agua tratada por gravedad en un sedimentador. Esta última etapa es comúnmente conocida como clarificación, como resultado el agua tratada debe estar libre de lodos (Suárez & Jácome, 2012).

#### ***2.2.1.2 Tratamientos físicos***

Tienen como finalidad la separación de partículas sólidas en suspensión del efluente; esto se puede realizar mediante procesos de filtración, sedimentación y flotación. Estas tecnologías pueden lograr una disminución razonable en la carga de contaminantes orgánicos y turbidez en las aguas grises (CSAG, 2011).

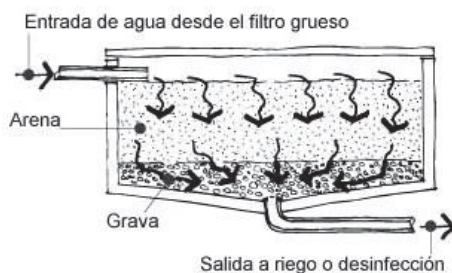
Las tecnologías más usadas en tratamientos de aguas grises son las siguientes:

### **Filtros de Arena**

El proceso de filtración ha sido uno de los más utilizados en el tratamiento de agua potable y residual. La filtración es un tratamiento físico empleado normalmente antes y después de los procesos biológicos y químicos, ya que son muy eficientes en la eliminación de material suspendido residual y materia orgánica antes su desinfección (Suárez & Jácome, 2012).

En la Figura 3 se observa un sistema de filtro de arena rápido, en ésta se puede apreciar que está compuesto por dos tipos de capas una fina y otra más gruesa dentro de un contenedor. El agua gris pasa por el primer filtro que está conformado por una capa gruesa de arena (a mayor profundidad de la capa de arena, la eficiencia de filtrado es mayor), posteriormente emerge por la parte inferior, pasando por el segundo filtro que está formado por una capa fina de grava (Li, Wichmann, & Otterpohl, 2009).

**Figura 3.** Sistema de filtro de arena



**FUENTE:** Filtros de arena para aguas grises, (2012).

Para un control microbiano efectivo, se desea un flujo bajo a través del filtro de arena. Es recomendable que existan cuatro capas de medios filtrantes, en donde el tamaño de partícula disminuya a través de las capas del filtro. La capa superior más gruesa elimina partículas más grandes y el material más fino se elimina hacia las capas inferiores, lo que aumenta la eficacia del filtro en comparación con los filtros de arena convencionales (Ilemobade & Olanrewaju, 2012).

### **Filtración de membrana**

La filtración de membrana, es un proceso de separación física para filtrar los contaminantes (partículas, bacterias, otros microorganismos, materia orgánica



natural y sal) utilizando membranas semipermeable por medio de las cuales el agua circula por diferencia de presión (Ilemobade & Olanrewaju, 2012). Según Dueñas & Donado (2015), existen 4 clases amplias de filtración de membrana microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y ósmosis inversa, cada una de ellas se caracteriza por la retención de diferentes diámetros de partículas, la ósmosis inversa es más eficiente, ya que elimina todos los sólidos disueltos presentes en el agua (Franco, 2007). Una gran desventaja es el alto costo de las membranas.

### **2.2.1.3 Tratamientos químicos**

El tratamiento químico está asociado a la utilización de productos químicos, tales como coagulantes y oxidantes, éstos son muy eficientes para la eliminación de contaminantes y patógenos, pero su desventaja es que no eliminan sólidos en su totalidad. La erradicación de patógenos transmitidos por el agua es la mayor preocupación de salud pública, motivo por el cual los procesos de oxidación y desinfección son los más aplicados para tratar las aguas grises. Entre los procesos más comunes están: radiación ultravioleta, ozonización y oxidación (Li, Wichmann, & Otterpohl, 2009).

#### **Radiación ultravioleta (UV)**

Según la EPA (1999), es un mecanismo de oxidación y desinfección. Utiliza la luz UV para destruir los patógenos presentes en el agua a tratar y así disminuir la transmisión de enfermedades. Cuando la radiación UV penetra la célula de un organismo, destruye el material genético y la capacidad de reproducción del mismo.

La tecnología de tratamiento mediante radiación UV tiene un costo de operación asequible, es fácil de instalar y operar, y es adecuada para procesos de tratamiento de agua a pequeña escala, elimina malos olores y sabores, además no genera problemas con posibles sobredosis. Sin embargo esta tecnología es ineficiente cuando se aplica en aguas turbias o lechosas ya que los microorganismos se esconden detrás de partículas suspendidas para evadir la irradiación (Ilemobade & Olanrewaju, 2012).

## **Ozonificación**

Según la EPA (1999), se define como una importante actividad de desinfección mediante un proceso de oxidación avanzada con ozono ( $O_3$ ), su función es desactivar los organismos patógenos presentes en las aguas grises. Su objetivo principal es evitar la transmisión de enfermedades por el consumo de agua.

Se utiliza al ozono para actividades de oxidación y desinfección ya que es un oxidante muy efectivo por su alta capacidad bactericida y fungicida, actúa ante los microorganismos destruyendo su capa lipídica mediante oxidación, causando daño al ADN y ARN, esto hace que los microorganismos no sean capaces de desarrollar inmunidad al ozono, como lo hacen ante otros compuestos (Pérez, 2018).

### ***2.2.1.4 Oxidación y oxidantes existentes en el mercado***

La oxidación es un proceso en el que participan siempre dos tipos de sustancias: la sustancia a oxidar y el oxidante, se basa en la transferencia de electrones, dando como productos finales dióxido de carbono, agua y en algunos casos sales (Tejero, Suárez & Jácome, 2017).

La acción biocida de los oxidantes ( $Cl_2$ ,  $Br_2$ , I,  $CO_2$ ,  $O_3$ ,  $H_2O_2$ ) interfiere en la síntesis de proteínas de las células, provocando la muerte de microorganismos. Al mezclar los oxidantes con los tensoactivos aumentan su efectividad un costo relativamente bajo (Castro, 2004).

La acción de un oxidante sobre los distintos compuestos químicos depende de muchos factores: naturaleza de la sustancia oxidada, temperatura, catalizadores, concentración de reactivos y concentración de hidrogeniones presentes (Freire, 2012).

### **2.2.2.1 Cloro**

Agente químico que actúa por oxidación convirtiendo las moléculas orgánicas complejas en compuestos simples inofensivos, el proceso de oxidación que

realiza el cloro en el agua consigue que los elementos orgánicos, algas y suciedad orgánica variada, se descompongan (Astudillo & Jurado, 2007).

Según la EPA (1999), el cloro y sus derivados son los oxidantes y desinfectantes más comunes en el proceso para tratar las aguas residuales generadas en los domicilios, debido a su alto poder oxidante destruye las células de los organismos. El cloro se puede encontrar comúnmente en dos presentaciones comerciales, en estado sólido (hipoclorito de sodio e hipoclorito de calcio) y en gas comprimido.

### **Compuestos derivados del cloro**

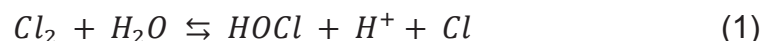
- Cloro gas ( $Cl_2$ )

El cloro es un gas inflamable no explosivo, presenta un olor característico. Es muy utilizado en tratamientos de potabilización y oxidación de medianos y grandes núcleos, el tratamiento se realiza mediante el bombeo de gas cloro en el agua provocando una reacción entre éstos, en esta reacción se generarán el ion hipoclorito y el ácido hipocloroso, los cuales son capaces de oxidar la materia orgánica y los microorganismos, mejorando la calidad del agua tratada (Astudillo & Jurado, 2007).

El cloro gas ( $Cl_2$ ) reacciona con el agua, produciendo ácido hipocloroso e ion hipoclorito como se indica en la Ecuación 1 y 2:

#### **Ecuación 1:** Reacción de cloro gas + agua

- El cloro gas se hidroliza rápidamente en agua para formar ácido hipocloroso (HOCl).



#### **Ecuación 2:** Disociación de ácido hipocloroso

- El ácido hipocloroso es un ácido débil, lo que significa que se disocia moderadamente pero en cantidad suficiente para disminuir el pH del agua debido a la producción del ion hidronio.



Sin embargo a pesar de ser un buen oxidante de materia orgánica en las aguas, puede causar varios efectos en la salud como: irritaciones al sistema respiratorio y a los ojos incluso a bajas concentraciones, ya que en contacto con la humedad forma ácido clorhídrico y éste es muy corrosivo. En la Tabla 5 se presentan síntomas y efectos causados por el cloro (Montes, Rodríguez & Barbarín, 2002).

**Tabla 5** Efectos en la salud causados por el cloro gaseoso a diferentes dosis.

Concentración de cloro (ppm)	Efectos en la salud
0.09	Irritación de ojos
3.0	Se detecta por el olfato humano
15.0	Irritación inmediata de garganta.
50.0	Náuseas, vómito y dificultad para respirar.
100	Aumenta la dificultad para respirar hasta la sofocación y muerte.

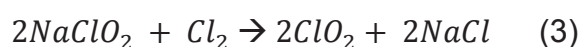
**FUENTE:** Montes, Rodríguez & Barbarín, 2002.

- Dióxido de cloro ( $ClO_2$ )

El dióxido de cloro es un gas estable y muy soluble en agua y su aplicación debe ser directamente al agua a oxidar. Tiene un gran poder oxidante, lo cual ayuda a mejorar la calidad del agua y no produce olores ni subproductos, sino que los neutraliza (Tejero, Suárez & Jácome, 2017).

Comúnmente se genera mediante dos mecanismos, como se indica en las ecuaciones 3 y 4.

**Ecuación 3:** Reacción de clorito de sodio + cloro gaseoso



**Ecuación 4:** Reacción de clorito de sodio + hipoclorito de sodio + ácido sulfúrico



- Hipoclorito de calcio  $\text{Ca}(\text{OCl})_2$

El hipoclorito de calcio es un compuesto químico de color beige claro y de apariencia granular, conocido también como "cal clorada". Es muy utilizado para tratar aguas ya que posee una alta eficiencia de remoción o eliminación de microorganismos peligrosos para la salud humana como bacterias, hongos, etc. Además de poseer una alta eficiencia de desinfección en aguas de alcantarilla y afluentes, ayuda a reducir la demanda bioquímica de oxígeno y controlar olores indeseables en las mismas (Tejero, Suárez & Jácome, 2017).

**Ecuación 5:** Reacción de hipoclorito cálcico + agua



Como se observa, el hipoclorito de calcio genera ácido hipocloroso, el cual oxida la materia orgánica. Existe un incremento de pH en el agua tratada debido a la generación de iones hidroxilo como se observa la reacción.

El hipoclorito de calcio se fabrica a partir de una cal hidratada especial, éste proceso tiene como etapa principal la reacción química del cloro gas con la cal, lo que da como resultado un sólido de concentración variable entre el 20 y 70% de contenido disponible de cloro, éste es envasado bajo criterios de hermeticidad y seguridad (Astudillo & Jurado, 2007)

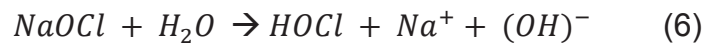
- Hipoclorito de sodio ( $\text{NaOCl}$ )

El hipoclorito de sodio es conocido por su alto poder de desinfección y oxidación en aguas de piscinas; este compuesto es letal para varios microorganismos, virus y bacterias vegetativas, el carácter residual que posee favorece su poder desinfectante. Cuando el hipoclorito de sodio se añade al agua incrementa el valor del pH, por lo que es recomendable utilizarlo como desinfectante y oxidante

a pH 6.5. Normalmente, se añade un ácido para disminuir al valor del pH (Quintero, 2016).

Es un líquido que se produce al disolver cloro gaseoso en hidróxido de sodio, es comúnmente suministrado en envases plásticos de 20 y 50 litros. El contenido de cloro activo varía entre el 3 y 10% de concentración, es importante tener en cuenta que el hipoclorito de sodio comercial puede contener algunas sustancias tóxicas, por tal motivo no deberá emplearse para la desinfectar y oxidar de agua para consumo humano (Comisión Nacional del Agua, 2007).

**Ecuación 6:** Reacción de hipoclorito de sodio en agua



La reacción que se produce es muy similar a la del hipoclorito de calcio. Sin embargo, en ésta se produce un ion hidroxilo menos en comparación con el hipoclorito de calcio, no obstante también incrementa el pH del agua (Castro, 2004).

#### ***Formación de sub-productos por el uso del cloro***

El tratamiento de aguas con cloro ha producido riesgos no deseados debido a los subproductos generados al actuar y reaccionar con determinadas sustancias presentes en el agua sometida a tratamiento. Estos subproductos aparecen comúnmente cuando el cloro reacciona con precursores orgánicos, compuestos húmicos y fúlvicos, procedentes de la degradación microbiana, entre otros (Olmedo, 2008).

Los subproductos de la cloración que tienen comprobada su capacidad tóxica y mutagénica para el hombre son los siguientes:

- Trihalometanos (THMs)

Los trihalometanos también conocidos como organoclorados son derivados del metano (CH<sub>4</sub>), en cuya molécula se sustituyen hidrógenos por halógenos (cloro,

flúor, bromo o yodo). Los THMs más conocidos por sus efectos toxicológicos y por ser muy volátiles, son: el cloroformo ( $\text{CHCl}_3$ ), el bromodichlorometano ( $\text{CHBrCl}_2$ ), el clorodibromometano ( $\text{CHBr}_2\text{Cl}$ ) y el tribromometano ( $\text{CHBr}_3$ ) (Reyes, 2016).

Estos compuesto tóxicos afectan las funciones del hígado y riñones en el ser humano, el LMP en agua potable es de 100  $\mu\text{g/L}$  y para protección a la vida acuática de 300  $\mu\text{g/L}$  (CNA, 2007).

Cáceres (1990), propone cuatro aspectos que controlan la formación de los THMs:

- Cantidad de cloro: Existe una alta posibilidad de la formación de THMs, cuando la cantidad de cloro residual es alta.
  - Temperatura: Altos valores de temperatura aumentan la probabilidad de formación de THMs.
  - La formación de THMs es mayor conforme aumenta el pH del agua.
  - Sólidos suspendidos: reducen tanto la velocidad de producción como la cantidad de THMs formados.
- Ácidos acéticos halogenados

Los ácidos acéticos halogenados son los segundos subproductos más abundantes después de los THMs (Quintero, 2016). Se forman cuando el cloro reacciona con la materia orgánica natural y/o con iones de bromo presentes en el agua antes de la depuración, entre los más conocidos están: el ácido cloroacético, el ácido dicloroacético (DCA), el ácido tricloroacético (TCA), el ácido bromoacético, el ácido yodoacético, el ácido fluoroacético y el ácido trifluoroacético (TFA). Para la formación de este tipo de compuestos el pH es un factor determinante (Reyes, 2016).

Después de varios experimentos de laboratorio se comprobó que los ácidos dicloroacético, tricloroacético, pueden causar tumores en roedores. También se ha observado actividad espermatotóxica en los ácidos dicloroacético, y

dibromoacético. El ácido tricloroacético ha demostrado ser teratógeno en experimentos con animales (Olmedo, 2008).

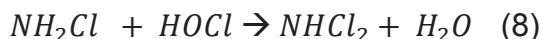
- Cloraminas

Según Reyes (2016), estos compuestos son derivados del amoníaco y sustituyen átomos de hidrógeno por átomos de cloro y pueden ser mono, di y tricloraminas como se presenta en las Ecuaciones 7, 8 y 9:

**Ecuación 7:** Monocloraminas



**Ecuación 8:** Dicloroaminas



**Ecuación 9:** Tricloroaminas



Las cloraminas dependen de pH, temperatura, demanda del cloro y del tiempo de reacción (Quintero, 2016).

***Ventajas y desventajas del cloro***

El cloro se utiliza de forma generalizada como agente oxidante del agua. Algunas de las ventajas y desventajas que el cloro ofrece en sus diferentes presentaciones se encuentran en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Ventajas y desventajas del uso de cloro

<b>Cloro</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Cloro gaseoso</b>	-Fácil acceso, en casi todos los países se produce cloro gas. -Es económico. -Hay residual en el agua tratada y es fácilmente medible. -Costo de operación y	-En comunidades alejadas se debe asegurar la provisión del gas. -Requiere personal con cierto grado de capacitación. -Puede producir cambios



	mantenimiento muy bajo.	en gusto y sabor.
<b>Hipoclorito de calcio</b>	-Fácil acceso. -Hay residual en el agua tratada y es fácilmente medible. -Costo de operación y mantenimiento moderado.	-Puede producir cambios en gusto y sabor. -Más estable que el hipoclorito de sodio.
<b>Hipoclorito de sodio</b>	-Fácil acceso. -Hay residual en el agua tratada y es fácilmente medible. -Costo de operación y mantenimiento moderado.	-Pérdida de sus propiedades con el tiempo. -Puede producir cambios en gusto y sabor. - Corrosivo.

**Fuente:** (Gonzales, 2007)

**ELABORACIÓN:** Mejía – Urcuango

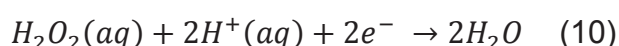
### 2.2.2.2 Peróxido de hidrógeno

El peróxido de hidrógeno es un líquido de sabor amargo e incoloro, muy polar e inestable, se descompone rápidamente en una reacción que libera agua y oxígeno, además de calor, es altamente oxidante y ocurre una reacción de combustión al contacto con materia orgánica (Alfonso y Ordóñez, 2014).

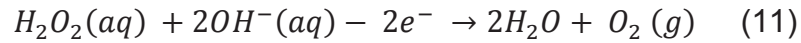
Es un ácido débil, con propiedades oxidantes. Su mecanismo de acción se debe a la efervescencia que produce, ya que la liberación de oxígeno destruye los microorganismos anaerobios estrictos (SUN S.A., 2017). Su acción oxidante es el mayor efecto antibacterial ya que los radicales hidroxilos que producen atacan a la membrana lipídica, ADN entre otros componentes celulares (Freire, 2012).

Se considera un producto químico limpio, ya que no deja elementos ni residuos persistentes en el ambiente luego de ser usado, característica que se deriva de estar continuamente sometido a una reacción espontánea de auto descomposición como se indica en la Ecuación 10 y 11 (Vargas, 2008).

**Ecuación 10:** Reacción de peróxido de hidrógeno en agua.



**Ecuación 11:** Reacción de peróxido de hidrógeno en agua.



La descomposición del peróxido de hidrógeno hace que sea utilizado como desinfectante, pues el oxígeno formado es el que oxida y mata a los microorganismos (Aguilar y Durán, 2011)

### ***Mecanismo de acción***

Oxidan las enzimas que contienen las bacterias, provocando que las proteínas que conforman dichas enzimas se modifiquen haciendo que pierdan su función, y por lo tanto, la muerte celular. Por lo tanto, la acción desinfectante del peróxido de hidrógeno se basa en hacer vulnerables las estructuras de protección de estas formas microscópicas, alterando la conformación de las paredes celulares o de las cápsidas provocando la muerte de las bacterias (Vilamajó, 2007).

Las aplicaciones de este oxidante en el tratamiento de aguas residuales son variadas y han probado ser económicamente viables. Una de las más importantes es la oxidación de efluentes para reducir la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), parámetro que en muchos casos no es fácil de controlar durante el proceso de tratamiento, por lo que un exceso de oxígeno disuelto es usado por las bacterias aeróbicas para descomponer la materia orgánica presente, dejando sin suficiente oxígeno a otros organismos. Si éstos mueren, la DBO aumenta y el problema se agrava a tal punto que las bacterias aeróbicas no pueden sobrevivir y las anaeróbicas lo que hacen es descomponer la materia orgánica por reducción, generando mal olor (SUN S.A, 2017).

## CAPÍTULO 3

### METODOLOGÍA

Este proyecto técnico experimental fue realizado en dos etapas; la primera etapa consiste en el muestreo in situ para la determinación del caudal de agua gris generado por una persona, la segunda etapa consiste en el tratamiento del agua gris con peróxido de hidrógeno e hipoclorito de calcio, hasta mejorar la calidad del agua gris de tal forma que ésta pueda ser recirculada hacia los inodoros.


Finalmente se aplicará los resultados obtenidos a un caso de estudio con las siguientes consideraciones: un edificio de 10 pisos de dos apartamentos por piso y 4 personas por apartamento.

#### 3.1 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE AGUA GRIS A SER TRATADA

Se determinó el caudal de agua gris necesario a ser tratado mediante revisión bibliográfica, estableciendo los tipos de inodoros más frecuentes en los hogares, procediendo a estimar el caudal de agua gris necesaria para recircular a los inodoros.

En la Tabla 7 se presenta los diferentes tipos de inodoros y el volumen de agua que se requiere para su buen funcionamiento:

**Tabla 7:** Volumen de agua necesaria según el tipo de inodoro

Nombre	Imagen	Característica	Volumen (l)
L'Expression		-Bajo consumo de agua con un excelente desempeño). -Poder alto de descarga. -Inodoro ecológico	4,8 l

<b>Petit Garzón 3</b>		-Bajo consumo de agua, tiene doble descarga para líquidos y sólidos. -Poder medio de descarga. -Inodoro Ecológico	Sólidos 6 l  Líquidos 4 l
<b>Ischia Antivandálico</b>		-Bajo consumo de agua. -Simple descarga	6 l

**Fuente:** American Stanford – Catálogo de productos loza sanitaria y grifería, 2015

**ELABORACIÓN:** Mejía – Urcuango

La Tabla 7 presenta la variación del volumen de agua necesaria de acuerdo al tipo de inodoro que se utilice.

Villa (2015), establece que una persona va al baño 4 veces al día en promedio, 3 veces para desechar líquidos y una para sólidos. Se tomó esta información para el cálculo del caudal necesario de agua gris a ser tratada y posterior recirculación dependiendo del tipo de inodoro.

Se determinó el caudal de agua utilizado en los inodoros en un día mediante la Ecuación 12 (Franco, 2007).

**Ecuación 12:** Caudal total de inodoros ( $Q$ )

$$Q = \frac{N \cdot V}{t} \quad (12)$$

Donde:

$Q$  = caudal total de inodoros ( l/día)

$V$  = Volumen de agua que requiere cada inodoro para su funcionamiento (l).

$t$  = tiempo (día)

N = número de veces que una persona utiliza el inodoro en 1 día (veces/habitante)  
(4 veces)

### 3.2 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE AGUA GRIS GENERADA EN UNA VIVIENDA.

Como se estableció en el alcance de este estudio, solo se tomó en cuenta el agua gris que se genera en la ducha y lavamanos.

Para determinar el volumen de agua gris proveniente de la ducha se realizó un muestreo in situ diario por un período de 12 horas durante 5 días. Primero se colocó una tina dentro de la ducha para facilitar la recolección de la muestra, a continuación, el tesista procedió a tomar una ducha para recolectar el agua. Una vez tomada la muestra se colocó el agua obtenida en un recipiente aforado a 20 l para medir la cantidad de agua gris generada mediante el método del aforo volumétrico que es utilizado en tuberías o caídas de agua donde se pueda colocar un recipiente de acuerdo a la Figura 4. Este método permite medir caudales pequeños, midiendo la cantidad de agua que se genera en un tiempo conocido (Niño & Martínez, 2013).

**Figura 4:** Procedimiento de recolección de agua gris en duchas



**ELABORACIÓN:** Mejía – Urcuango

A continuación, se recolectó el agua que proviene del lavamanos mediante un muestreo in situ diario por un período de 12 horas durante 5 días. Primero se colocó un recipiente dentro del lavamanos para almacenar el agua gris que se generó, luego se midió el volumen obtenido de agua durante dicho período, tal como se observa en la Figura 5.

**Figura 5** Procedimiento de recolección de agua gris en lavamanos.



ELABORACIÓN: Mejía – Urcuango

### 3.3 RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA COMPUESTA DE AGUA GRIS

Se procedió a mezclar el agua obtenida tanto en la ducha como en el lavamanos en un recipiente aforado de 20 litros con la finalidad de homogeneizar la muestra, para así obtener la muestra compuesta de agua gris tal como se indica en la Figura 6.

**Figura 6** Procedimiento de obtención de la muestra compuesta



**ELABORACIÓN:** Mejía – Urcuango

Para determinar el caudal de agua gris generado en 12 horas se utilizó la ecuación 13

**Ecuación 13:** Caudal de agua gris ( $Q_{AG}$ )

$$Q_{AG} = \frac{V}{t} \quad (13)$$

Donde:

$Q_{AG}$  = caudal de agua gris generada en una vivienda (l /hora)

$V$  = volumen de agua gris generado (ducha + lavamanos) (l).



$t$  = tiempo (horas)

### 3.4 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA GRIS OBTENIDA




Una vez que se recolectó la muestra compuesta fue trasladada al laboratorio para ser caracterizada antes y después de aplicar el tratamiento por oxidación química con peróxido de hidrógeno y cloro (agua gris preservada a 4°C).




La caracterización del agua gris mediante parámetros físicos, químicos y biológicos se realizó en el Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental (LDIA) y en el Centro de Investigación y Control Ambiental (CICAM), según metodología establecida en el “Standar Methods” of American Water Works Association (2012)

**Tabla 8** Métodos y equipos para determinar los parámetros físicos, químicos y biológicos.

PARÁMETRO	MÉTODO	EQUIPO
pH	APHA 4500-H	pH-metro, marca Hanna 
Turbidez	APHA 2130 B	Turbidímetro portátil, 2100p, marca HACH 
Fósforo Total	HACH 8190	Espectrofotómetro DR 2700, marca HACH.



			
<b>Nitrógeno Kjeldahl (N<sub>K</sub>)</b>	APHA 4500 – N B	Espectrofotómetro DR 2700, marca HACH	DR
			
<b>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</b>	APHA 5220 D	Espectrofotómetro DR 2700, marca HACH	DR
			
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (BDO<sub>5</sub>)</b>	APHA 5210 B	Incubadora	

		
<b>Cloro residual (Cl<sub>r</sub>)</b>	HACH 8021	Espectrofotómetro DR 2700, marca HACH 
<b>Coliformes fecales (CF)</b>	APHA 9222 C Mediante el Anexo 2	Incubadora, balanza analítica, autoclave 

**ELABORACIÓN:** Mejía - Urcuango

### 3.3 TRATAMIENTO POR OXIDACIÓN QUÍMICA

#### 3.3.1 DETERMINACIÓN DE LA DOSIS Y TIEMPO DE CONTACTO ENTRE HIPOCLORITO DE CALCIO Y LAS AGUAS GRISES.

##### 3.3.1.1 Consideraciones generales

La dosis óptima se determinó mediante ensayos de pruebas de jarras, adicionando el oxidante, en este caso hipoclorito de calcio, a una concentración del 70 % (Figura 7) en las aguas grises que se recolectaron mediante una campaña de muestreo.

Se empezó por altas dosis (15,5 g/l), se fue disminuyendo progresivamente hasta encontrar la óptima, dosis a la cual la calidad del agua gris tratada cumplía con las normas establecidas en el plan de trabajo (Chamorro & Sánchez, 2003). Para esta determinación se midió parámetros físicos, químicos y microbiológicos, los cuales son factores determinantes al momento de establecer la eficiencia de dicho oxidante.

**Figura 7** Hipoclorito de Calcio al 70 %



**ELABORACION:** Mejía – Urcuango

Para obtener la dosis óptima, cada ensayo se analizó la DQO en cada una de las jarras, parámetro que ayudó a determinar si la calidad del agua gris recolectada había mejorado con respecto a sus condiciones iniciales.

Es importante señalar que únicamente se tomó en cuenta este parámetro para determinar la dosis óptima por ensayo, debido a las condiciones de logística

existentes en el Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Escuela Politécnica Nacional.

Por último se caracterizó el agua gris tratada con las dosis óptimas escogidas, mediante la determinación de parámetros físicos, químicos y biológicos tal como se estableció en el plan de trabajo.

### ***3.3.1.2 Tiempo de contacto entre el hipoclorito de calcio y el agua gris***

Reyes (2016) establece que para tratamientos de aguas residuales domésticas por oxidación con hipoclorito de calcio granular es recomendable que los tiempos de contacto varíen entre 30 y 120 minutos de acuerdo a lo siguiente:

#### **MEZCLA RÁPIDA:**

Se agregó el oxidante a diferentes dosis en cada jarra con una velocidad de mezcla de 100 rpm por 10 minutos.

#### **MEZCLA LENTA**

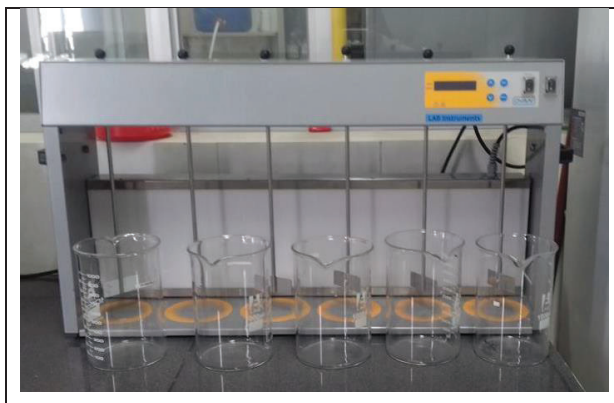
Una vez terminado el tiempo de mezcla rápida se disminuyó la velocidad para dar lugar a la mezcla lenta con una velocidad de 40 rpm por 30 minutos.

#### **SEDIMENTACIÓN:**

Al finalizar el periodo de mezcla lenta establecido se apagó el equipo de prueba de jarras y se dejó por 1 hora y 30 minutos para la sedimentación.

Se empleó un equipo de prueba jarras marca OVAN, modelo JT60E provisto de paletas agitadoras y vasos de precipitación con capacidad de 1 litro como se muestra en la Figura 8.

**Figura 8.** Equipo de prueba de jarras



**ELABORACION:** Mejía – Urcuango

### **3.3.1.3 Dosis óptima de hipoclorito de calcio al 70 %**

Para la determinación de la dosis óptima del oxidante se dio tratamiento al agua gris con 6 diferentes proporciones de hipoclorito de calcio por cada ensayo, fueron 5 ensayos los que se realizaron en diferentes fechas cada uno como se observa en la Tabla 9.

**Tabla 9.** Dosis experimentales de hipoclorito de calcio al 70 %

<b>Fecha</b>	<b>Dosis Ca(ClO)<sub>2</sub> (g/l)</b>
25/06/2018	5,5
	7,5
	9,5
	11,5
	13,5
	15,5
02/07/2018	0,3
	0,5
	0,7
	0,9
	1,1
	1,3
09/07/2018	1,5
	2
	2,5
	3
	3,5
	4

11/07/2018	3,5
	4
	4,5
	5
	5,5
	6
16/07/2018	3
	3,2
	3,4
	3,6
	3,8
	4

**ELABORACIÓN :** Mejía – Urcuango

Se determinó la DQO de cada una de las pruebas de tratamiento a las que fue sometida el agua gris. Finalmente se escogió una o dos dosis óptimas por ensayo, basadas en el valor de la DQO más baja mostrada en el Anexo 1.

Una vez determinadas las dosis óptimas por ensayo se procedió a caracterizar el agua gris tratada de acuerdo a los siguientes parámetros: pH, turbidez, Fósforo total ( $P_T$ ), Nitrógeno Kjeldahl ( $N_K$ ), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días ( $BDO_5$ ), Cloro residual ( $Cl_r$ ) y Coliformes fecales (CF).

La metodología y equipos necesarios para caracterizar el agua gris de acuerdo a los parámetros antes mencionados se presenta en la Tabla 8.

**3.3.2 DETERMINACIÓN DE LA DOSIS Y TIEMPO DE CONTACTO ENTRE EL PERÓXIDO DE HIDRÓGENO Y LAS AGUAS GRISES.**

**3.3.2.1 Consideraciones generales**

Se aplicó la misma metodología utilizada para la determinación de la dosis óptima de hipoclorito de calcio.

Se tomaron dosis bajas de peróxido de hidrógeno al 50% de concentración (Figura 9), se fue aumentando progresivamente hasta encontrar la dosis óptima. Con este oxidante solo se realizaron 3 ensayos en diferentes fechas. Para obtener la dosis óptima de cada ensayo se analizó la DQO en cada una de las

jarras, parámetro que ayudó a determinar si la calidad del agua gris recolectada había mejorado con respecto a sus condiciones iniciales.

**Figura 9.** Peróxido de hidrógeno al 50%.



#### **ELABORACIÓN:** Mejía – Urcuango

A pesar que no se registró ninguna dosis óptima que mejore las características del agua gris tratada, se escogió una o dos jarras con diferente dosis en cada ensayo para proceder a realizar los análisis de parámetros físicos, químicos y biológicos que fueron establecidos en el plan de trabajo.

#### **3.3.2.2 Tiempo de contacto entre el peróxido de hidrógeno y el agua gris**

Se tomó las mismas consideraciones que se aplicaron para el tratamiento de aguas gris con hipoclorito de calcio, ya que también es un oxidante.

#### **MEZCLA RÁPIDA:**

Se agregó el oxidante a diferentes dosis en cada jarra con una velocidad de mezcla de 100 rpm por 10 minutos.

#### **MEZCLA LENTA**

Una vez terminado el tiempo de mezcla rápida se disminuyó la velocidad para dar lugar a la mezcla lenta con una velocidad de 40 rpm por 30 minutos.

### SEDIMENTACIÓN:

Al finalizar el periodo de mezcla lenta establecido se apagó el equipo de prueba de jarras y se dejó por 1 hora y 30 minutos para que sedimente.

Se empleó un equipo de prueba jarras marca OVAN JT60E, provisto de paletas agitadoras y vasos de precipitación con capacidad de 1 litro como se muestra en la Figura 8.

#### **3.3.2.3 Dosis óptima de peróxido de hidrógeno**

Para la determinación de la dosis óptima del oxidante se dio tratamiento al agua gris con 6 diferentes proporciones en volumen de peróxido de hidrógeno por ensayo, fueron 3 ensayos los que se realizaron en diferentes fechas cada uno como se observa en la Tabla 10.

**Tabla 10** Dosis experimentales de peróxido de hidrógeno

Fecha y número de ensayo	Dosis experimentales de Peróxido de Hidrógeno (ml/l)
25/06/2018 Ensayo N° 1	0,5
	1
	1,5
	2
	2,5
	3
02/07/2018 Ensayo N° 2	4
	6
	8
	10
	11
	12
09/07/2018	13
	14
	15



Ensayo N° 3	17
	19
	21

**ELABORACIÓN:** Mejía - Urcuango

Solo se realizaron 3 ensayos de los cuales se determinó la DQO de todas las dosis experimentadas en el agua gris como se muestra en el Anexo 4, debido a que no se obtuvieron resultados satisfactorios del tratamiento con este oxidante se escogieron aleatoriamente dos dosis para caracterizar el aguas gris tratada, de acuerdo a los siguientes parámetros: pH, turbidez, fosforo total ( $P_T$ ), Nitrógeno Kjeldahl ( $N_K$ ), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días ( $BDO_5$ ), Cloro residual ( $Cl_r$ ) y Coliformes fecales (CF).

La metodología y equipos necesarios para caracterizar el agua gris de acuerdo a los parámetros antes mencionados se presenta en la Tabla 8.

La caracterización del agua gris tratada a diferentes dosis mediante el proceso de oxidación con peróxido de hidrógeno al 50% se presenta en el Anexo 6.

### **3.4 DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA GRIS Y EFICIENCIA DE LOS OXIDANTES POSTERIOR AL TRATAMIENTO.**

Para poder determinar la calidad del agua gris, se midieron en laboratorio parámetros físicos, químicos y biológicos como: pH, turbidez, fosforo total ( $P_T$ ), Nitrógeno Kjeldahl ( $N_K$ ), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días ( $BDO_5$ ), Cloro residual ( $Cl_r$ ) y Coliformes fecales (CF).

#### ***3.4.1 EFICIENCIA DE REMOCIÓN PARA LOS PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS.***

Para determinar la eficiencia de remoción de materia orgánica, nutrientes y coliformes fecales en el agua gris luego de haber sido sometida a tratamiento con

Hipoclorito de calcio y peróxido de hidrógeno a diferentes dosis, se aplicó la Ecuación 14.

**Ecuación 14:** Porcentaje de eficiencia de remoción

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = \frac{[\text{Valor Inicial}] - [\text{Valor Final}]}{[\text{Valor Inicial}]} \times 100 \quad (14)$$

Esta metodología se utilizó para la determinación de eficiencia de remoción de todos los parámetros establecidos.

### 3.5 APLICACIÓN EN UN EDIFICIO

Se aplicó los dos tratamientos para el agua gris a un caso de estudio, para esto se tomó en cuenta las siguientes consideraciones: un edificio de 10 pisos de 2 apartamentos por piso y 4 personas por apartamento.

Según AQUA ESPAÑA (2011), en la Guía Técnica de recomendaciones para el reciclaje de aguas grises en edificios establece que para el diseño de una instalación para la recuperación de aguas grises se deben determinar lo siguiente:

#### 3.5.1 DATOS GENERALES

##### 3.5.1.1 Caudal de agua gris tratada ( $Q_{AGT}$ )

Para determinar la demanda de agua gris en el caso de estudio, se utilizará el caudal promedio ( $Q_{prom}$ ) que se encuentra en la Tabla 12.

Una vez obtenido el caudal de agua gris necesario a ser tratado se aplicó la Ecuación 15, para la determinación de la demanda de agua tratada para el caso de estudio.

**Ecuación 15:** Caudal de agua gris tratada

$$Q_{AGT} = Q_{prom} * \text{Habitante} \quad (15)$$

Donde:

$Q_{AGT}$  = Caudal de agua gris tratada (l/día)

$Q_{prom}$  = Caudal total promedio (l/hab\*día)

Esto es necesario para el dimensionamiento de los equipos que se implementarán en el sistema de tratamiento.

### **3.5.1.2 Producción de agua gris ( $P_{AG}$ )**

Para determinar la producción de agua gris en el caso de estudio, se utilizó el caudal promedio de agua gris ( $Q_{AGprom}$ ) determinado en la Tabla 13. Posteriormente se aplicó la siguiente fórmula:

$$P_{AG} = Q_{AGprom} * N_H$$

Donde:

$P_{AG}$  = Producción de agua gris (l/hab\*día)

$Q_{AGprom}$  = caudal total promedio de agua gris (l/día)

$N_H$  = número de habitantes

Es importante para determinar la cantidad de agua gris que es desechada a la alcantarilla.

### **3.5.1.3 Caudal de agua gris que será desechada a la alcantarilla ( $Q_{AGD}$ )**

Se determinó mediante la siguiente formula:

$$Q_{AGD} = P_{AG} - Q_{AGT}$$

$Q_{AGD}$  = Caudal de agua gris que será desechada a la alcantarilla (l/hab\*día)

$P_{AG}$  = Producción de agua gris (l/hab\*día)

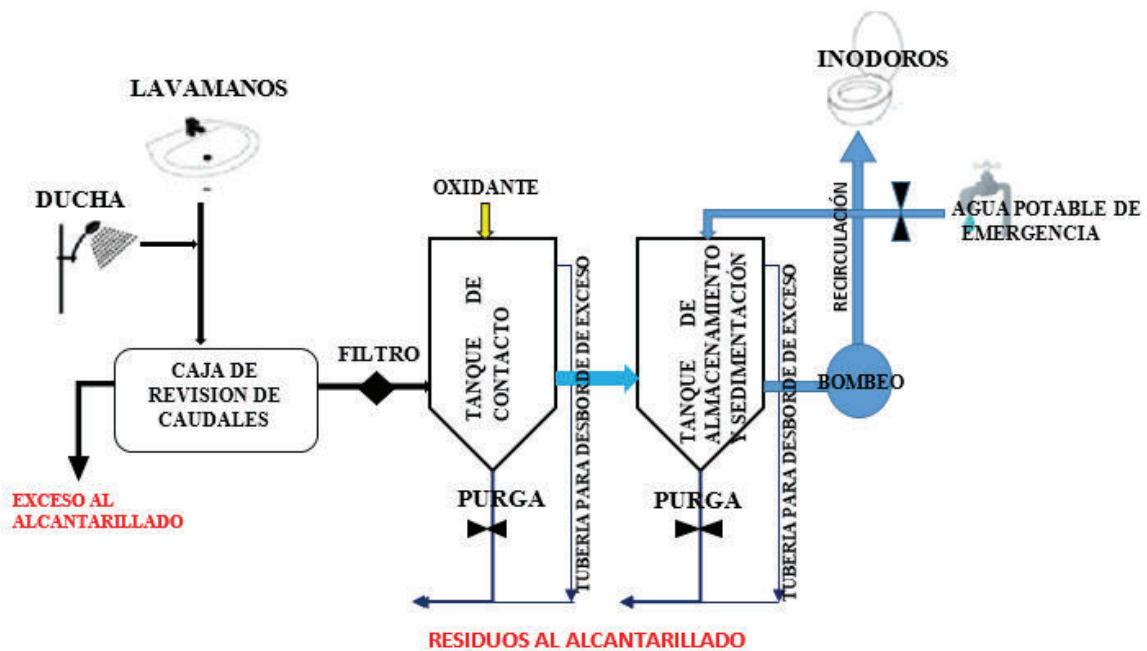
$Q_{AGT}$  = Demanda de agua gris tratada (l/hab\*día)

## **3.5.2 SISTEMA DE TRATAMIENTO**

El agua gris debe pasar por un sistema de tratamiento físico-químico antes de ser recirculada hacia los inodoros. A continuación, se presenta un esquema del

sistema de tratamiento que será implementado en el caso de estudio como se muestra en la Figura 10.

**Figura 10:** Sistema de tratamiento para el caso de estudio



### ELABORACIÓN: Mejía – Urcuango

Como se observa en la figura el sistema propuesto consta de varias etapas, la primera es la recolección del agua gris de duchas y lavamanos, ésta pasa por la caja divisora de caudales con la finalidad de dividir los mismos. El agua que se utilice en el tratamiento atravesará un filtro para eliminar residuos, posteriormente pasará al tanque de contacto en el cual se inyectará el oxidante y se dará tratamiento al agua gris. Por último ingresará al tanque de almacenamiento para ser recirculada por bombeo hacia los inodoros.

#### 3.5.2.1 Tanque de contacto

Se determinará las características (dimensiones, material de elaboración), para el tanque de contacto que se implementará en el sistema de reciclaje de aguas grises en un edificio de acuerdo al tipo de tratamiento.

Una vez que el agua gris pasa por el primer filtro ingresa al tanque de contacto en el cual se dosificará ya sea con hipoclorito de calcio o con peróxido de hidrógeno.

Urrusuno (2017), señala que como parámetro básico de diseño para calcular el volumen del tanque de contacto, es importante determinar el volumen de tratamiento de agua gris necesario ( $V_{\text{tratamiento}}$ ), para la recirculación en el edificio.

Para determinar el volumen de tratamiento se utilizó el tiempo de retención ( $t_r$ ) establecido mediante los ensayos realizados en la etapa experimental para la determinación de dosis óptima de los oxidantes (2 horas).

El volumen de tratamiento de agua gris necesario ( $V_{\text{tratamiento}}$ ), se calculó mediante la Ecuación 16.

**Ecuación 16:** Volumen de tratamiento (l)

$$V_{\text{Tratamiento}} = t_{r1} * Q_{AGT}$$

Donde:

$t_{r1}$  = tiempo de retención (2 horas = 0,083 días)

$Q_{AGT}$  = caudal de agua gris tratada (l/día)

Para determinar el volumen del tanque de contacto, se partió de la estimación de volumen de tratamiento necesario de agua gris que se obtuvo empleando la Ecuación 16. Es importante considerar un porcentaje de amortiguamiento para cualquier carga pico, el porcentaje más utilizado es del 20% y será calculado mediante la Ecuación 17 (McCabe, 1991).

**Ecuación 17:** Volumen del tanque de tratamiento

$$V_{\text{tanque contacto}} = \% \text{ amortiguación} * V_{\text{Tratamiento}}$$

### **Dimensiones del tanque de contacto**

Por simplicidad, el tanque de contacto será cilíndrico con el fin de eliminar los rincones escarpados o regiones en las que no penetrarían las corrientes de fluido

(McCabe, 1991). Para un manejo fácil de los parámetros de diseño del tanque se consideró que el diámetro ( $d$ ) es igual su altura ( $h$ ) (Urrusuno, 2017). Las dimensiones se determinó mediante la Ecuación 18.

**Ecuación 18:** Dimensionamiento del tanque de contacto

$$V_{\text{tanque de contacto}} = \pi r^2 h$$

Donde:

$V_{\text{tanque de contacto}}$  = Volumen del tanque de contacto

$r$  =radio del tanque

$h$ : altura del tanque

Consideraciones

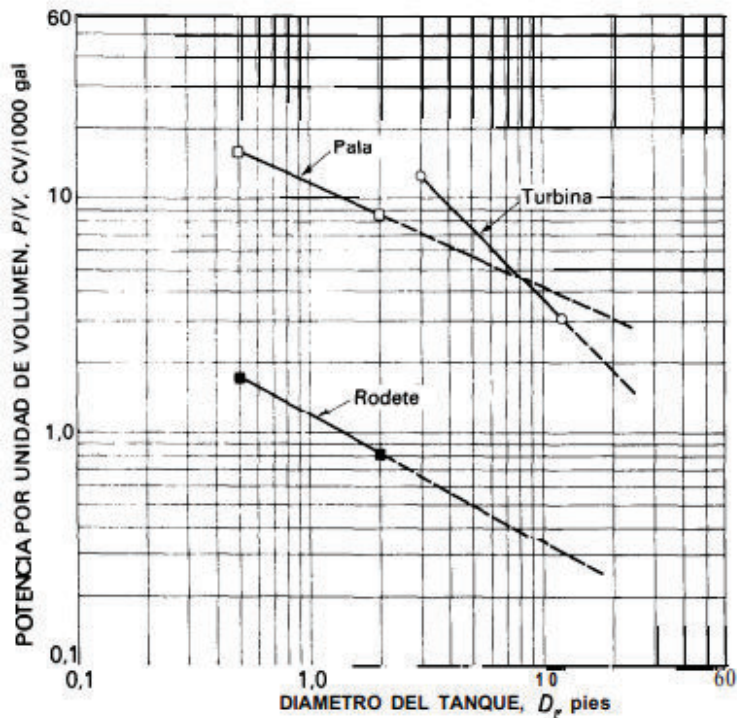
$$d = 2r$$

$$h = d$$

Mccabe (1991), recomienda en su libro titulado “Operaciones Unitarias en Ingeniería Química”, el uso de tres dispositivos (rodetes, palas, turbinas) comúnmente utilizados como un sistema de agitación en el tratamiento de aguas residuales, debido a la eficiencia que presentan en un amplio intervalo de viscosidades.

Se determinó el tipo de dispositivo de mezcla adecuado para la implementación en el sistema de tratamiento propuesto, según McCabe (1991), utilizando la figura 11. En la cual correlaciona el diámetro del tanque con la potencia requerida según el tipo de dispositivos por unidad de volumen del tanque de contacto.

**Figura 11:** Potencia necesaria según el diámetro de un tanques de agitación con una pala, una hélice o una turbina.



**Fuente:** (McCabe, 1991)

La velocidad de agitación y tiempo de contacto que ayudarán a una mezcla óptima de los oxidantes y el agua gris, son las condiciones que fueron establecidas en los ensayos de laboratorio dependiendo del oxidante que se utilice (hipoclorito de calcio o peróxido de hidrógeno).

### **Material de elaboración**

Se utilizará tanques que sean elaborados de fibra de vidrio ya que éstos no son susceptibles a oxidación, además no permite que actúen procesos corrosivos o que se desgaste con los oxidantes que se utilizará en el tratamiento de las aguas grises. Además, son económicamente viables en comparación con tanques que son hechos de otro tipo de material como: hierro, polímeros, concreto y acero inoxidable (Plaremesa, 2018).

### 3.5.3 OPERACIONES UNITARIAS

Para que el sistema de tratamiento tenga una mayor eficiencia se tomaron en cuenta las siguientes operaciones físicas unitarias:

- Caja divisora de caudales

Son comúnmente utilizadas para separar caudales con alteraciones de presión. Tiene como principal objetivo regular las velocidades de salida y entrada. Las relaciones más utilizadas para dividir el flujo son: 70/30, 60/40, 50/50 (UTECSA, 2018).

Se determinó el tipo de caja divisora de flujos de acuerdo al caudal de agua gris generado y necesario para la recirculación hacia los inodoros.

- Filtrado antes del ingreso de agua gris al tanque de tratamiento.

Es importante adicionar el proceso de filtración en el sistema de tratamiento propuesto, ya que a pesar de que el agua gris que recirculará proviene solo de las duchas y lavamanos; pueden contener residuos de cabello, uñas entre otros. Esto puede entorpecer el funcionamiento de la turbina que ayudara a tratar el agua gris con los oxidantes.

Se establecerá el tipo de filtro de acuerdo a las necesidades del sistema de tratamiento propuesto, para esto se utilizará la Tabla 11, en la que se pueden encontrar los filtros más comunes utilizados en el tratamiento de aguas residuales.

**Tabla 11 .** Tipos de filtros existentes en función al tipo de agua

	Procedencia del agua a filtrar	Especialmente indicado para retener	Situación en el cabezal	Pérdidas de carga máximas (mca)
<b>Hidroclación (H)</b>	Pozos, acuíferos...	Materia inorgánica (arenas)	H + (M o D)	3
<b>Arena (A)</b>	Balsas, canales, acequias...	Materia orgánica	A + (M o D)	
<b>Discos (D)</b>	Todas	Orgánica Inorgánica	A + D H + D	3 - 5
<b>Malla (M)</b>	Todas	Orgánica Inorgánica	A + M H + M	

**Fuente:** IAGUA, 2018. Filtración II



- **Almacenamiento del agua gris tratada**

Para el diseño del tanque de almacenamiento y sedimentación se utilizó la misma metodología que fue empleada para el tanque de contacto, se consideró el tiempo de almacenamiento de 1 día. Se excluyó la turbina, puesto que no es necesaria en este tanque, ya solo es destinado para al almacenamiento y sedimentación del agua gris una vez que salga del tanque de contacto.

Volumen de almacenamiento (L)

$$V_{Almacenamiento} = t_{r2} * Q_{AGT}$$

Donde:

$t_{r2}$  = tiempo de almacenamiento y sedimentación (1 día)

$Q_{AGT}$  = caudal de agua gris tratada (l/día)

**Volumen del tanque de almacenamiento y sedimentación (l)**

$$V_{tanque\ almacenamiento} = \% \text{ amortiguación} * V_{Almacenamiento}$$

### **3.5.4 ANÁLISIS DE COSTOS**

Es importante determinar un análisis de costos, ya que éste ayuda a identificar las herramientas, los equipos, la maquinaria, las materias primas y la infraestructura necesaria para la implantación del sistema de tratamiento en el caso de estudio, por tanto, los costos de inversión y de operación necesarios (Niño & Martínez, 2013).

Se realizó un análisis en el cual se contempló los costos de instalación del sistema de tratamiento, también los costos de los oxidantes por m<sup>3</sup> utilizados, entre otras consideraciones que se detallan a continuación:

Costos de la implementación del sistema de tratamiento

Filtro al inicio del tratamiento

- Tanque de contacto
- Turbina de mezcla
- Tanque de Almacenamiento
- ✓ Costos del oxidante por m<sup>3</sup>
  - Peróxido de Hidrógeno
  - Hipoclorito de Calcio
- ✓ Costos operacionales
  - Mantenimiento del sistema de tratamiento
  - Sueldo del Técnico a cargo de la planta de tratamiento
- ✓ Valor de agua potable por m<sup>3</sup>

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 CAUDAL DE AGUA NECESARIA PARA INODOROS

En la Tabla 12 se determina el caudal de agua utilizado según el tipo de inodoro, por una persona al día.

**Tabla 12** Caudal de agua para inodoros

Nombre	Volumen (l )	Caudal total (l/día) por persona
<b>L´Expression</b>	4,8	19,2
<b>Petit Garzón 3</b>	Sólidos 6 l Líquidos 4 l	40
<b>Ischia Antivandálico</b>	6 litros	24
	<b>Q<sub>prom</sub> (l/hab*día)</b>	<b>27,73</b>

**ELABORACIÓN:** Mejía – Urcuango

Como se observa en la Tabla 11, el caudal promedio ( $Q_{prom}$ ), necesario por persona varía de acuerdo al tipo de inodoro que se implemente en el hogar, es de 27,73 l/habitante\*día.

#### 4.2 CAUDAL DE AGUA GRIS GENERADO EN UNA VIVIENDA

En la Tabla 13 se presenta los datos obtenidos de agua gris de duchas y lavamanos durante la campaña de muestreo.

**Tabla 13** Caudal de agua gris generada en una vivienda

Día	Agua gris ducha (l)	Agua gris lavamanos (l)	Agua gris de duchas y lavamanos generada en una vivienda (l)	Caudal de agua gris generada en vivienda (l/h)	Caudal de agua gris generada en vivienda (l/día )
1	24,6	3,7	28,3	2,36	56,6
2	23,8	3,5	27,3	2,28	54,7
3	24,2	2,8	27	2,25	54,0
4	24,4	3,8	28,2	2,35	56,4
5	24,6	3,9	28,5	2,38	57,1
<b>Q<sub>AGprom</sub></b>				<b>2,32</b>	<b>55.8</b>

**ELABORACIÓN:** Mejía – Urcuango

En la Tabla 13 se presenta el volumen de agua gris de duchas y lavamanos que se generó en una vivienda por un período de 12 horas, esto sirvió para determinar el caudal promedio diario de 55,8 l/día que se produjo.

El caudal promedio diario obtenido es importante para los cálculos de dimensionamiento y costos del sistema de tratamiento a implementarse.

#### 4.3 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA GRIS SIN TRATAMIENTO

Una vez realizados los respectivos análisis para la caracterización de las aguas grises se obtuvieron los datos que se presentan en la Tabla 14.

**Tabla 14** Caracterización del agua gris sin tratamiento

N° muestra	pH	Turbidez (NTU)	Fósforo Total (mg/l)	Nitrógeno Kjeldahl (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO <sub>5</sub> (mg/l)	Coliformes fecales (NMP)
Muestra 1	7,56	376,50	0,90	7,50	664,50	203,50	4,30E+04
Muestra 2	7,35	279,50	1,00		634,50	168,50	2,00E+07
Muestra 3	7,36	271,00	0,74		696,00	198,60	4,30E+05
Muestra 4	7,72	357,50	0,54	7,00	656,50	215,32	1,10E+06
Muestra 5	7,81	274,50	0,58		618,50	202,40	1,40E+05
Muestra 6	7,60	335,00	0,86	6,80	604,50	170,30	3,90E+04
<b>Promedio</b>	<b>7,56</b>	<b>315,67</b>	<b>0,77</b>	<b>7,10</b>	<b>645,75</b>	<b>193,10</b>	<b>3,63E+06</b>

**ELABORACIÓN:** Mejía – Urcuango

Los datos obtenidos en la Tabla 14, muestran homogeneidad en cada uno de los parámetros analizados debido a que los valores se asemejan siguiendo una misma tendencia. Además se puede evidenciar que los valores obtenidos están dentro del estándar para la caracterización de aguas grises sin tratamiento según Dilip & Kunwar (2003), en el cual establece que: el valor de pH característico en este tipo de aguas está entre 7 y 7,5 obteniéndose en el análisis de la muestra inicial un valor promedio de 7,5; el valor de turbidez obtenido en el análisis es de 315,7 NTU se encuentra dentro del rango sugerido para este tipo de aguas que es de 164 - 375 NTU; el valor de fósforo total obtenido 0,77 mg/l se aleja del valor estándar para aguas grises de 1,12 mg/l, esto puede ser ocasionado debido a la cantidad de fósforo presente en los detergentes que se emplee tanto en la ducha como en el lavamanos; el valor de nitrógeno Kjeldahl 7,10 mg/l no varía significativamente con respecto a lo establecido (8,7 mg/l); la DQO y DBO<sub>5</sub> con valores de 645,8 y 193.1 mg/l respectivamente se encuentran en el rango estándar para estas aguas DQO: 77 – 645 mg/L y DBO<sub>5</sub> : 40.2 – 424 mg/l ; el número más probable de coliformes fecales es de  $3,63 \times 10^6$  y se encuentra dentro de lo establecido para la caracterización de aguas grises, que es de  $4.0 \times 10^6$  NMP (Franco, 2007).

#### 4.4 ENSAYOS CON HIPOCLORITO DE CALCIO

##### 4.4.1 CARACTERIZACIÓN DE AGUA GRIS TRATADA A DIFERENTES DOSIS

La caracterización del agua gris tratada mediante un proceso de oxidación con hipoclorito de calcio al 70% a diferentes dosis, se presenta en la Tabla 15.

**Tabla 15** Caracterización de las dosis óptimas del agua gris tratado con Ca(ClO)<sub>2</sub>

Dosis (g/l)	pH	Turbidez (NTU)	Fósforo Total (mg/l)	Nitrógeno Kjeldahl (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO <sub>5</sub> (mg/l)	Cloro Residual (mg/l)	Coliformes fecales (NMP)
1,3	8,3	367,4	0,6	-	277,0	68,8	0,0	< 3
3	9,3	136,7	0,5	3,3	172,0	63,7	0,0	< 3
3,5	9,3	119,6	0,5	1,9	132,8	65,9	0,1	< 3
4,0	9,0	112,4	0,6	-	193,7	69,8	0,8	< 3
5,5	9,4	206,4	0,5	-	398,3	81,8	1,3	< 3
9,5	9,1	180,4	0,4	-	818,8	76,7	3,1	< 3

**ELABORACION:** Mejía – Urcuango

La Tabla 15 evidencia la caracterización de las aguas grises tratadas a diferentes dosis de hipoclorito de calcio, notándose que con dosis muy bajas del mismo existe una remoción total de coliformes fecales, parámetro microbiológico determinante para conocer la proliferación de flora bacteriana que ocasiona la formación de biopelículas y por lo tanto obstrucción de las tuberías (Niño & Martínez, 2013).

#### **4.4.2 DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE HIPOCLORITO DE CALCIO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA GRIS.**

En el Anexo 3 se presenta la caracterización del agua gris tratada a diferentes dosis tomando en cuenta las consideraciones de la Tabla 16.

**Tabla 16** Consideraciones para el tratamiento de agua gris en la prueba de jarras

Tipo de mezcla	Velocidad (rpm)	Tiempo (min)
MEZCLA RAPIDA	100	10
MEZCLA LENTA	40	30
SEDIMENTACION	-	90

**ELABORACIÓN:** Mejía – Urcuango

Tomando en cuenta las condiciones iniciales y finales después del tratamiento del agua gris se determinó la eficiencia de remoción para cada uno de los parámetros de estudio presentados en la Tabla 17, con la finalidad de determinar la dosis óptima de hipoclorito de calcio.

**Tabla 17** Eficiencia de Remoción de los parámetros analizados

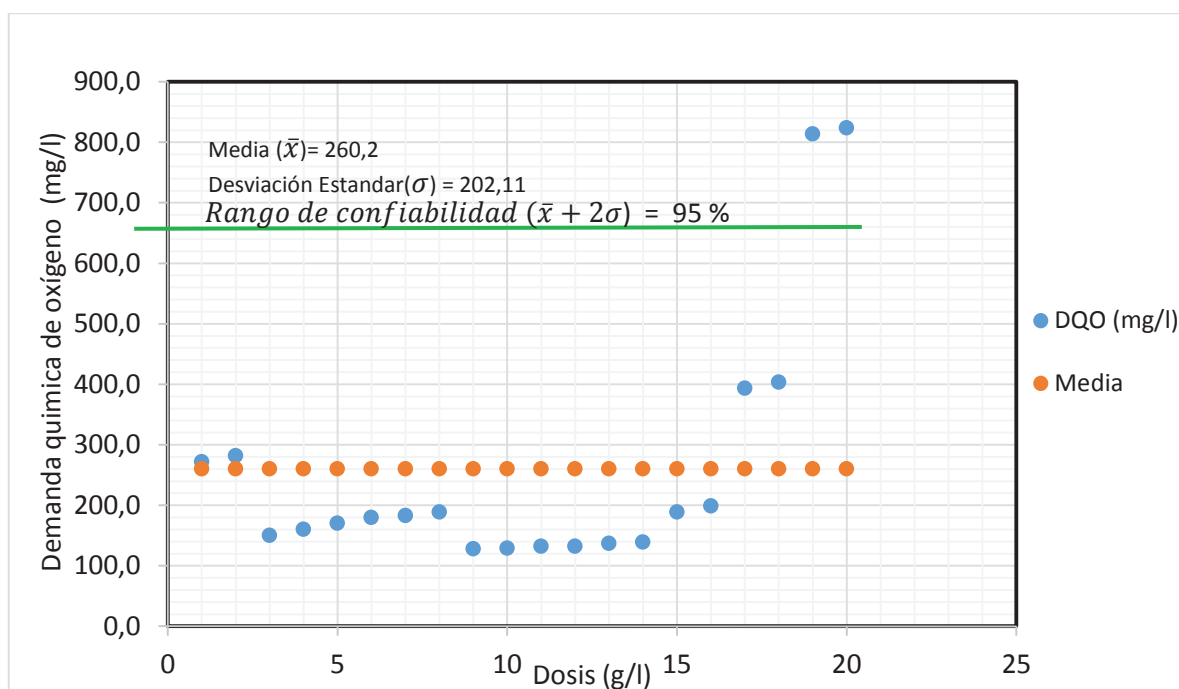
Dosis	%Eficiencia Remoción Turbidez	% Eficiencia Remoción Fósforo Total	% Eficiencia Remoción Nitrógeno Kjeldahl	% Eficiencia Remoción DQO	% Eficiencia Remoción DBO <sub>5</sub>	% Eficiencia Remoción coliformes fecales
1,3	<0	25,16		57,10	64,40	99,99
3	56,70	32,22	53,24	73,36	67,04	99,99
3,5	62,11	37,10	72,63	79,43	65,86	99,99
4,0	64,40	26,54		70,01	63,88	99,99
5,5	34,60	30,73		38,31	57,67	99,99
9,5	42,84	42,01		-26,79	60,28	99,99

**ELABORACIÓN:** Mejía - Urcuango

En base a la Tabla 17, se ha escogido como dosis óptima a 3,5 g/l de hipoclorito de calcio debido a la alta eficiencia de remoción en la DQO y coliformes fecales presentando valores de 79,43 % y 99,99% respectivamente, valores que presentan un alto porcentaje de remoción de materia orgánica y patógenos en comparación con las otras dosis estudiadas.

Para validar las dosis escogidas se analizaron datos de la desviación estándar y la media para valores de DQO, notándose que el grupo de datos se encuentran dentro de éste rango ( $\bar{x} + 2\sigma$ ;  $\bar{x} - 2\sigma$ ) concentrándose así el 95% de los datos en dicho intervalo, como se indica en el Gráfico 2, son aquellos correspondientes a la dosis de 3,5 g/l.

**Gráfico 2** Representación de la desviación estándar y media de DQO, de acuerdo a las dosis.



**ELABORACIÓN:** Mejía – Urcuango

A pesar que la dosis de 3 g/l presenta altos valores de eficiencia en algunos parámetros estudiados, la de 3,5 g/l lo hace en la mayoría de parámetros, en especial en los de DQO y coliformes fecales, mismos que son determinantes para

la elección de la dosis óptima. Por lo analizado y de acuerdo a los datos obtenidos se determinó que la dosis óptima para el tratamiento de aguas grises con hipoclorito de calcio es 3,5 g/l. Además mantiene el cloro residual de 0,1 mg/l, lo que inhibe el crecimiento bacteriano.

#### **4.4.3 COMPARACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA GRIS TRATADA CON LA DOSIS ÓPTIMA DE HIPOCLORITO DE CALCIO VS. LA NORMA DE CALIDAD PARA LA RECIRCULACIÓN DE AGUAS GRISES HACIA LOS INODOROS**

A continuación, en la Tabla 18 se presenta una comparación entre, los valores obtenidos de parámetros físicos, químicos y biológicos luego del tratamiento del agua gris con hipoclorito de calcio y los LMP establecidos en la norma para la recirculación de agua gris en edificios.

**Tabla 18** Parámetros físicos, químicos y biológicos analizados con la dosis óptima.

	Valor	% Eficiencia	Límites Máximos Permisibles (LMP)
<b>Dosis (g/l)</b>	3,5		
<b>pH</b>	9,3	N/A	6 - 9
<b>Turbidez (NTU)</b>	119,6	62,11	5
<b>Fósforo Total (mg/l)</b>	0,5	37,10	<10
<b>Nitrógeno Kjeldahl (mg/l)</b>	1,9	72,63	<10
<b>DQO (mg/l)</b>	132,8	79,43	30
<b>DBO<sub>5</sub> (mg/l)</b>	65,9	65,86	10
<b>Cloro Residual (mg/l)</b>	0,1	N/A	0,5 – 2
<b>Coliformes fecales (NMP/100 ml)</b>	< 3	99,99	10

**ELABORACIÓN:** Mejía – Urcuango

#### **Potencial Hidrógeno**

El valor de pH de las aguas grises luego del tratamiento para la dosis óptima tuvo un valor de 9,3. De acuerdo a Alvarado (2007), los valores comunes de pH en



aguas grises para ser reutilizadas en inodoros se encuentran en el rango de 6 a 9, por lo tanto, el valor obtenido con la dosis de 3,5 g/l está fuera del rango.

El pH es muy importante debido a que muchos microorganismos y bacterias dependen de éste parámetro para su crecimiento y desarrollo (Chamorro & Sanchez, 2003).

### **Turbidez**

En la Tabla 18 se muestra que la eficiencia de remoción de turbidez obtenida luego del tratamiento con hipoclorito de calcio es de 62,11%, sin embargo, el valor de turbidez luego del tratamiento 119,6 NTU no cumple con los LMP establecidos en Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises (2017) y la Guía Técnica Española de recomendaciones para el reciclaje de aguas grises en edificios emitida por AQUA ESPAÑA (2011).

Debido a la coloración que los detergentes y jabones poseen, las aguas grises de duchas y lavamanos presentan un valor de turbidez relativamente alto, generando en el agua gris un color blanco lechoso característico de éste tipo de aguas.

### **Fósforo Total**

Las concentraciones de fósforo total en las aguas grises tratadas para ser reutilizadas en inodoros deben tener un valor <10 mg/l según La Guía Técnica Española de recomendaciones para el reciclaje de aguas grises en edificios emitida por AQUA ESPAÑA (2011). El valor obtenido con hipoclorito de calcio luego del tratamiento fue de 0,5 mg/l y una eficiencia de remoción de 37,1% lo cual indica que cumple con los LMP establecidos en la norma.

Además se debe tomar en cuenta la cantidad de fósforo presente en estas aguas debido a que un exceso de nutrientes en las mismas provoca un crecimiento incontrolado de algas así como formación de biopelículas y obstrucción en las tuberías (Gea & Loza, 2012).

### **Nitrógeno Kjeldahl**

De acuerdo a la Tabla 18 la muestra de agua gris posterior al tratamiento arrojó un valor de 1,9 mg/l y la eficiencia de 72,63% el cual se encuentra dentro de los LMP, ya que según la Norma Técnica de Massachussets (2007) la cantidad de nitrógeno existente para éste tipo de aguas posterior al tratamiento es <10 mg/l.

Este resultado indica que en estas aguas grises no existe una gran cantidad de nutrientes que podrían ser consumidas por microorganismos, sin embargo, éstas aguas podrían ser utilizadas en actividades como el riego a pastizales, plantas ornamentales entre otros, debido al contenido de nutrientes que dicha agua presenta.

### **Demanda Química de Oxígeno**

Se observa en la Tabla 18 que el agua gris tratada para ser reutilizada en los inodoros supera el valor permitido para éste parámetro según lo establecido en la Norma Técnica de Masschussets (2007), debido a que el valor del mismo es de 132,8 mg/l y una eficiencia de 79,43%. Sin embargo, respecto a las condiciones iniciales que presenta el agua gris, se logró disminuir considerablemente el valor de éste parámetro, razón por la cual se obtiene una eficiencia de remoción alta.

El nivel de contaminación de las aguas grises podría calificarse como bajo, debido a que la concentración de las mismas toma un valor cercano a 100 mg/l, lo que indica que la oxidación de la materia orgánica e inorgánica en las aguas grises es lenta, por lo tanto no generará malos olores ni putrefacción del agua.

### **Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días**

El Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises (2017), exige como LMP de la DBO<sub>5</sub> en la reutilización de aguas grises hacia los inodoros una concentración de 10 mg/l; el valor de concentración del agua gris luego del tratamiento no cumple con la norma, ya que se encuentra en un valor de 65,9 mg/l y con una eficiencia de remoción de 65,8%, sin embargo,

puede ser utilizada también para riego subsuperficial de áreas recreativas, ya que el límite es de 240 mg/l.

La DBO<sub>5</sub> presente en aguas grises es un indicador de que existe materia orgánica biodegradable como sucede en las aguas residuales domésticas (Muñoz & Aldás, 2017). Es una forma de estimar la cantidad de oxígeno que se necesita para estabilizar el carbono orgánico y conocer con que rapidez éste material va a ser metabolizado por las bacterias que generalmente se encuentran presentes en las aguas grises. Por lo tanto, existe una proliferación media de microorganismos que degradan la poca materia orgánica presente en las aguas grises que provienen tanto de la ducha como del lavamanos (Gutiérrez & Valencia, 2014).

### **Cloro Residual**

Según establece el Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises (2017), la cantidad de cloro residual presente en las aguas grises tratadas está en el rango de 0,5 a 2 mg/l, por lo tanto el agua gris tratada con hipoclorito de calcio no cumple con los LMP ya que se obtuvo un valor de 0,1 mg/L. Además por la cantidad de cloro residual presente el agua gris posterior al tratamiento puede ser utilizado para el riego de plantas, jardines y riego subsuperficial.

El cloro libre residual inhibe la producción de microorganismos y mejora la acción desinfectante, debido a esto es importante que el cloro residual este dentro del rango ya que si se encuentra en un valor menor, el proceso de desinfección será poco eficiente, pero si por el contrario excede la cantidad permitida entonces formará compuestos clorados que son perjudiciales para la salud (Gonzales, 2007).

### **Coliformes Fecales**

En la Tabla 18 se puede observar que el valor de coliformes fecales obtenido luego de haber tratado el agua gris de duchas y lavamanos con hipoclorito de

calcio es < 3 mg/l y una eficiencia de 99,99% por lo tanto, se encuentra dentro de los LMP, ya que según el Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises (2017), establece que la cantidad de coliformes fecales presentes en las aguas grises tratadas para ser recirculadas en los inodoros debe tener una concentración de 10 mg/l. Además el agua gris tratada por las condiciones presentadas luego del tratamiento puede ser utilizada tanto para riego superficial como subsuperficial.

Las bacterias coliformes fecales están conformadas por bacterias aerobias como anaerobias Gram negativas, la más conocida es la *Escherichia Coli*. La presencia en aguas grises de ducha y lavamanos de coliformes fecales indica que el agua ha sido contaminada por heces fecales y su presencia podría causar enfermedades como cólera y disentería (MOPT, 2010).

#### 4.5 ENSAYOS CON PERÓXIDO DE HIDRÓGENO

##### 4.5.1 DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA

En el Anexo 6, se puede encontrar la caracterización del agua gris tratada con peróxido de hidrogeno a diferentes dosis. Esto permite determinar la dosis óptima del oxidante, dosis a la cual la calidad del agua con respecto a sus condiciones iniciales cambie notoriamente.

Para el tratamiento de agua gris con peróxido de hidrógeno se tomaron las consideraciones de mezcla que se muestran en la Tabla 19.

**Tabla 19** Consideraciones para el tratamiento de agua gris en la prueba de jarras

Tipo de mezcla	Velocidad (rpm)	Tiempo (min)
MEZCLA RÁPIDA	100	10
MEZCLA LENTA	40	30
SEDIMENTACIÓN	-	90

**ELABORACION:** Mejía – Urcuango

### Dosis óptima de acuerdo a la eficiencia de remoción de DQO

Los datos obtenidos en la caracterización inicial de las aguas grises y los datos finales de las mismas luego del tratamiento con peróxido de hidrógeno a diferentes dosis sirvió a determinar los porcentajes de eficiencia de remoción mostrados en la Tabla 20.

**Tabla 20** Eficiencias de remoción de parámetros físicos, químicos y biológicos.

Dosis (ml/l)	%Eficiencia Remoción Turbidez	%Eficiencia Remoción de Fósforo total	%Eficiencia Remoción de Nitrógeno Kjeldahl	%Eficiencia Remoción de DQO	%Eficiencia Remoción de DBO <sub>5</sub>	%Eficiencia Remoción de Coliformes Fecales
1	2,43	32,32		<0	93,43	99,99
1,5	8,92	< 0		<0		99,99
2	7,34	36,88		<0		99,99
2,5	4,49	53,15		<0		99,99
3	12,41	77,01	25,35	<0	94,15	99,99
4	30,46	76,14	<0	<0	98,95	99,99
6	34,05	82,21		<0	99,07	99,99
8	34,11	1,74		<0		99,99
10	34,58	16,70		<0	98,47	99,99
11	42,50	16,05		<0		99,99
12	34,27	48,59		<0	95,47	99,99
13	50,11	6,29		<0		99,99
14	36,06	3,69		<0	99,11	99,99
15	50,58	15,40		<0		99,99
17	49,79	78,74	<0	<0	98,80	99,99
19	49,31	79,83		<0		99,99
21	50,58	75,92		<0	99,02	99,99

**ELABORACIÓN:** Mejía – Urcuango

En la Tabla 20 se observan las eficiencias de remoción tanto de materia orgánica, nutrientes, microorganismos, entre otros. Como se puede notar en la tabla antes

mencionada se realizó una experimentación de dosis crecientes del oxidante con el fin de encontrar así la óptima.

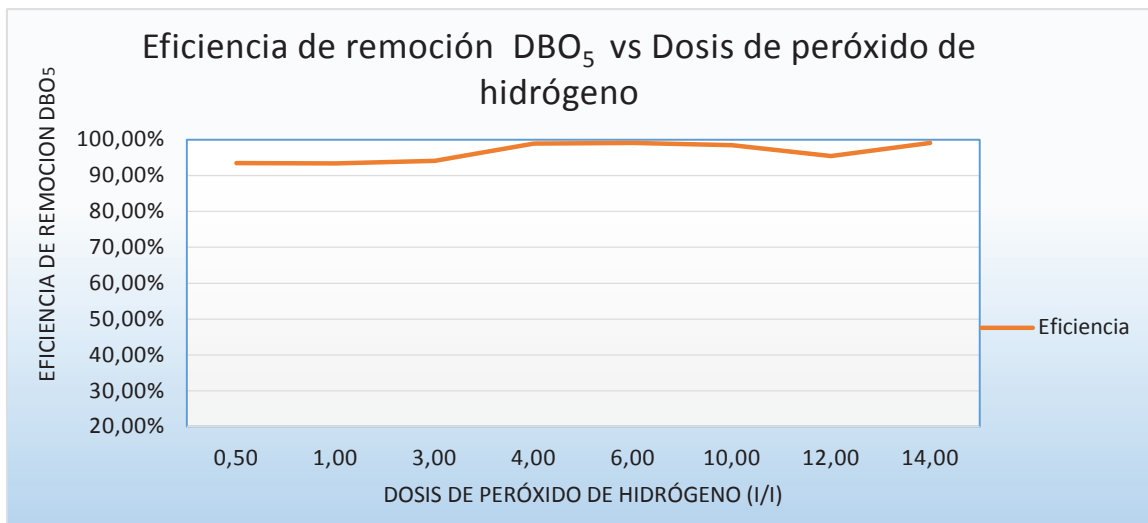
Sin embargo, los resultados no fueron satisfactorios al analizar la eficiencia de remoción del parámetro determinante para escoger la mejor dosis, es decir la demanda química de oxígeno, ya que como se puede encontrar en el Anexo 6, los valores registrados al final del tratamiento superan a los valores iniciales de DQO de la muestra de agua gris sin tratamiento. Esto se debería a alguna interferencia ocasionada por la reacción entre el peróxido de hidrógeno y los componentes presentes en los viales para la medición de la DQO (Arreghini, 2017).

Es importante resaltar que al realizar los cálculos de la eficiencia de remoción de dicho parámetro se obtuvo valores negativos, pero para facilidad de interpretación se reportó como una eficiencia menor a cero como se encuentra registrado en la Tabla 20. Esto indica que, a medida que aumenta la dosis del oxidante, la calidad del agua gris a ser tratada disminuye (Suárez & Jácome, 2012).

Por lo antes expuesto, no se puede escoger una dosis óptima en función de la eficiencia de remoción del parámetro DQO, ya que ninguna dosis presenta un valor de eficiencia favorable.

### **Dosis óptima de acuerdo a la eficiencia de remoción de DBO<sub>5</sub>**

Es importante destacar la eficiencia de remoción en otros parámetros de estudio, como la demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días (DBO<sub>5</sub>), tal como se muestra en el Gráfico 3.

**Gráfico 3** Eficiencia de remoción de  $\text{DBO}_5$ **ELABORACIÓN:** Mejía – Urcuango

En el Gráfico 3 se aprecia la tendencia de la eficiencia de remoción para la  $\text{DBO}_5$  de acuerdo a las dosis que fueron utilizadas para esta experimentación. Los valores de eficiencia a medida que se aumenta la dosis no varían, se encuentran en un rango del 90 al 100 %, sin embargo, no siguen una tendencia lineal ascendente pero se puede considerar como constante. Este rango de eficiencia es satisfactorio por lo que se asume que el oxidante utilizado es factible para el tratamiento de las aguas grises (Gutiérrez & Valencia, 2014).

De acuerdo a la  $\text{DBO}_5$ , se considera a todas las dosis estudiadas como óptimas debido a la alta eficiencia de remoción de dicho parámetro.

**Dosis óptima de acuerdo a la eficiencia de remoción de turbidez**

En la Tabla 21 se presentan los valores de eficiencia de remoción de turbidez más representativos, así como también el valor promedio de turbidez de la muestra de agua gris antes de ser sometida a tratamiento.

**Tabla 21** Eficiencia de remoción de turbidez

Valor promedio de turbidez en la muestra de agua gris sin tratamiento (mg/l)	Dosis (ml/l)	Turbidez (NTU)	Eficiencia de remoción de turbidez (%)
315,67	13	157,5	50,11
	15	156	50,58
	17	158,5	49,79
	19	160	49,31
	21	156	50,58

**ELABORACIÓN:** Mejía – Urcuango

Se han escogido cinco dosis experimentales de peróxido de hidrógeno a las cuales el valor de eficiencia de remoción de turbidez se considera alto en comparación con los de menor dosis que se encuentran registrados en la Tabla 21. El valor promedio de turbidez del agua gris sin tratamiento es de 315,67 NTU, en comparación con los valores obtenidos, se observa que el tratamiento ha removido turbidez en un 50 % de eficiencia se ha mantenido constante desde la dosis de 13 a 21 ml/l. A dosis menores el porcentaje de turbidez no fue representativo, oscilando entre 2,43 y 42.50 % de eficiencia de remoción.

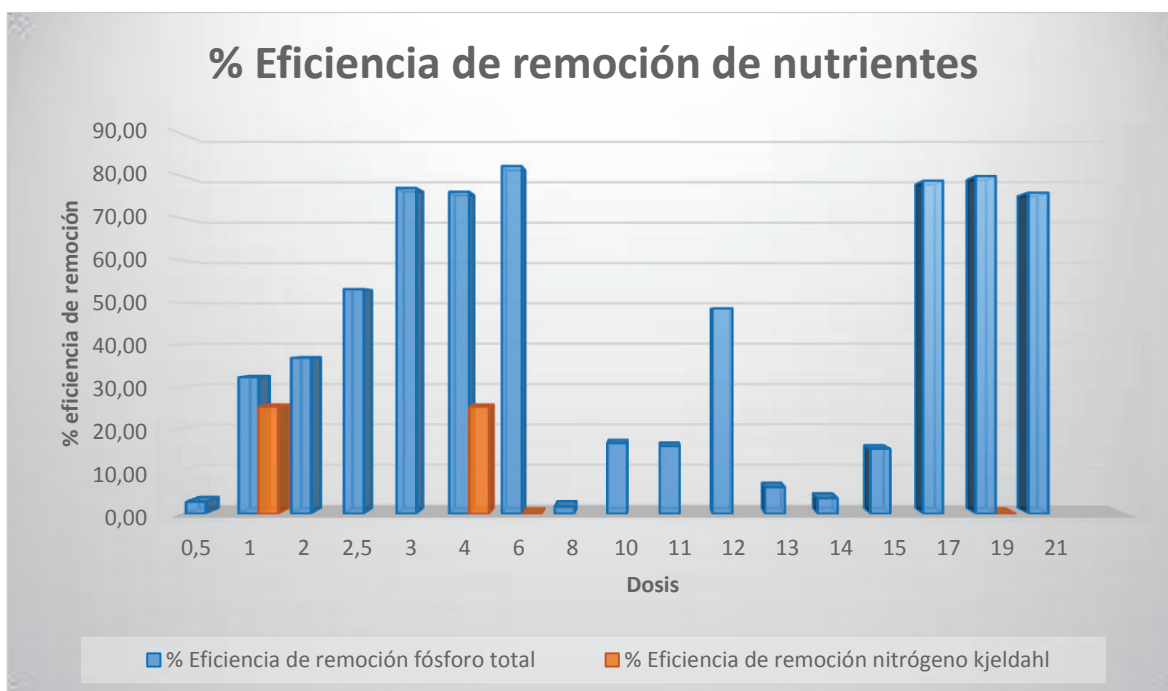
De acuerdo al parámetro de turbidez se escogería la dosis de 13 ml/l ya que se obtiene los mismo resultados que una dosis de 21 ml/l, y en términos de costos esto puede ser un factor determinante en el análisis de los mismos.

#### **Dosis óptima de acuerdo a la eficiencia de remoción de nutrientes (Nitrógeno – Fósforo)**

En el Gráfico 4 se presenta la eficiencia de remoción con respecto a nutrientes.



**Gráfico 4** Porcentaje de eficiencia de remoción de nutrientes según la dosis



#### ELABORACIÓN: Mejía – Urcuango

El Gráfico 4 evidencia que la remoción del parámetro fósforo, carece de tendencia, por tanto no se puede afirmar que la eficiencia es directamente proporcional a la cantidad de dosis utilizadas en los ensayos. La dosis que presenta un porcentaje de eficiencia de mayor remoción es 6 ml/l con un valor de 82,21%. Sin embargo, a dosis mayores a la mencionada la eficiencia de remoción decrece hasta llegar al punto más bajo de 3,69 % a una dosis de 14 ml/l, a dosis mayores a esta la eficiencia vuelve a aumentar.

Los valores de eficiencia de remoción son muy dispersos, sin embargo, se podría considerar a la dosis óptima en función de remoción de fósforo a 6 ml/l, ya que es el valor más alto que se obtuvo de acuerdo a la experimentación realizada.

Por motivos de logística, no se pudo realizar varios análisis de las muestras tratadas para el parámetro Nitrógeno kjeldahl, no obstante se determinó la eficiencia de remoción más alta a una dosis de 0,5 y 3 ml/l de peróxido de hidrógeno.

### ***Dosis óptima de acuerdo a la eficiencia de remoción de coliformes fecales***

La caracterización de las aguas grises antes y después del tratamiento ayuda a determinar la eficiencia de remoción de microorganismos utilizando diferentes dosis de peróxido de hidrógeno.

Se puede corroborar la eficiencia de remoción según el parámetro coliformes fecales en la Tabla 20, en la cual muestra el 99,99 % de remoción de microorganismos presentes en la muestra inicial de aguas grises, desde la mínima dosis que fue de 0,5 ml/l hasta la dosis experimental de mayor volumen que fue de 21 ml/l.

Según la remoción de coliformes fecales la dosis óptima es de 0,5 ml/l, tomando en cuenta los costos ya que, al aplicar una dosis de mayor volumen se obtiene los mismos resultados que con una de menor volumen del mismo oxidante.

Por todo lo antes mencionado se tomará como dosis óptima 0,5 ml/l de peróxido de hidrógeno, se enfatizará la remoción de patógenos en el agua gris, ya que pueden causar riesgo a la salud humana y obstrucciones en las tuberías por formación de biopelículas, al ser recirculada hacia los inodoros.

#### ***4.5.2 COMPARACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA GRIS TRATADA CON LA DOSIS ÓPTIMA DE H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> VS. LA NORMA DE CALIDAD PARA LA RECIRCULACIÓN DE AGUAS GRISES HACIA LOS INODOROS***

La caracterización del agua gris tratada a la dosis óptima de peróxido de hidrógeno y los límites máximos permisibles que establece la norma para la recirculación de aguas grises hacia los inodoros se encuentra en la Tabla 22.

**Tabla 22** Parámetros físicos, químicos y biológicos analizados con la dosis óptima

	Valor	% Eficiencia	Límites Máximos Permisibles (LMP)
<b>Dosis (ml/l)</b>	0,5		
<b>pH</b>	7,40	N/A	6 - 9
<b>Turbidez (NTU)</b>	294,7	6,65	5
<b>Fósforo Total (mg/l)</b>	0,77	2,82	0,69
<b>Nitrógeno Kjendahl (mg/l)</b>	5,3	25,35	<10
<b>DQO (mg/l)</b>	668,3	< 0	30
<b>DBO<sub>5</sub>(mg/l)</b>	12,54	93,51	10
<b>Coliformes fecales (NMP/100 ml)</b>	< 3	99,99	10

**ELABORACIÓN:** Mejía – Urcuango

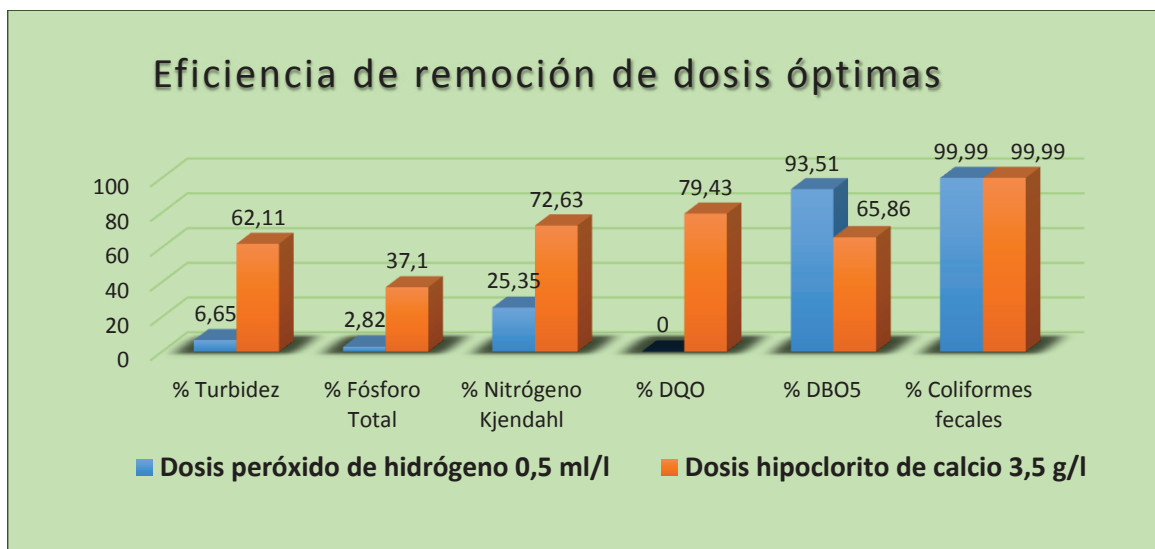
Se realizó el análisis de la dosis óptima de peróxido de hidrógeno de acuerdo a los parámetros determinados en la etapa experimental los cuales en comparación con la normativa no se encuentran dentro de los LMP.

En la Tabla 22 se evidencia la baja eficiencia de remoción de todos los parámetros descritos a la dosis escogida, exceptuando el parámetro coliformes fecales < 3 (NMP /100), el cual cumple con el límite permisible establecido en la normativa española para la recirculación de aguas grises 10 (NMP/100ml)

#### **4.6 COMPARACIÓN DE EFICIENCIA ENTRE OXIDANTES SEGÚN SU DOSIS ÓPTIMA**

En el Gráfico 5 se evidencia la eficiencia de remoción de parámetros físicos, químicos y biológicos en las aguas grises tratadas con las dosis óptimas establecidas para cada oxidante 0,5 ml/l de peróxido de hidrógeno y 3,5 g/l de hipoclorito de calcio.

**Gráfico 5** Eficiencia de remoción utilizando las dosis óptimas de los dos oxidantes en un litro de agua gris.



**ELABORACIÓN:** Mejía – Urcuango

Los tiempos de mezcla y sedimentación, así como la velocidad durante el tratamiento del agua gris fueron los mismos para los dos oxidantes. La relación de eficiencia de remoción de los parámetros físicos, químicos y biológicos de los dos oxidantes a su dosis óptima se presentan en el Gráfico 5, en éste se puede observar que la eficiencia de remoción de DQO del peróxido de hidrógeno es aparentemente nula en comparación con la de hipoclorito de calcio debido a una posible interferencia ocasionada por la reacción entre el oxidante y los componentes presentes en los viales para la determinación de DQO (Arreghini, 2017).

Sin embargo, la eficiencia de remoción de microorganismos (coliformes fecales) presentes en el agua gris es alta, ya que los dos oxidantes presentan una eliminación del 99,99 % de bacterias entre las principales *Escherichia Coli* presentes en el agua gris, cumpliendo así con las exigencias de la Guía Técnica Española de recomendaciones para el reciclaje de aguas grises en edificios emitida por AQUA ESPAÑA (2011), en la cual establece que el LMP es de 10 NPM/100 ml.

Es evidente en el Gráfico 5 que las eficiencias de remoción de parámetros tales como fósforo total y nitrógeno Kjeldahl a la dosis óptima de hipoclorito de calcio 3,5 g/l tienen una mayor remoción en comparación con la óptima de peróxido de hidrógeno (0,5 ml/l), sin embargo, es importante resaltar que las concentraciones de estos parámetros en el agua gris sin tratamiento no sobrepasan los LMP establecidos en la Guía Técnica Española de recomendaciones para el reciclaje de aguas grises en edificios emitida por AQUA ESPAÑA (2011) y en Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises del Departamento de Salud Ambiental de Chile (2017) en las cuales establecen para fósforo total <10 mg/l y Nitrógeno Kjendahl <10 mg/l . Por lo tanto, a pesar que el peróxido de hidrógeno muestra una eficiencia de remoción inferior a la de hipoclorito de calcio, se encuentra dentro de los LMP con concentraciones de fosforo total 0,77 mg/L y Nitrógeno Kjendahl 5,3 mg/L.

La eficiencia de remoción de turbidez con la dosis óptima de peróxido de hidrógeno (6,65%) es baja, en comparación con la óptima de hipoclorito de calcio con un porcentaje de remoción de 62,11 %. Sin embargo, a pesar que la dosis de hipoclorito de calcio presenta un alto porcentaje de remoción, el valor de turbidez obtenido (119,6 NTU) no cumple con el LMP establecido en la Guia Técnica Española (2011) y en el Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises del Departamento de Salud Ambiental de Chile (2017) un valor de (5 NTU).

#### **4.7 APLICACIÓN A UN EDIFICIO**

Para aplicar el tratamiento de oxidación de aguas grises en un edificio para ser recirculadas en los inodoros se tomaron en consideración los parámetros presentados en la Tabla 23 ( Ver cálculo en Anexo 8).

**Tabla 23** Parámetros de diseño del sistema de tratamiento

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>	<b>Dimensionamiento</b>
Caudal de agua gris tratada ( $Q_{AGT}$ )	2218,4	l/día	-
Producción de agua gris ( $P_{AG}$ )	4460,8	l/día	-
Caudal de agua gris desechado a la alcantarilla ( $Q_{AGD}$ )	2242,4	l/día	-
Volumen de tratamiento para 2 horas ( $V_{Tratamiento}$ )	184,13 $\approx$ 200	l	-
Volumen del tanque de tratamiento ( $V_{Tanque\ tratamiento}$ )	250	l	$r = 0,5\ m$ $d \approx 1\ m$ $h \approx 1\ m$
Volumen de almacenamiento ( $V_{Almacenamiento}$ )	2218,4	l	-
Volumen del tanque de almacenamiento ( $V_{Tanque\ Almacenamiento}$ )	2662,08 $\approx$ 3000	l	$r = 1\ m$ $d \approx 2\ m$ $h \approx 2\ m$

**ELABORACIÓN:** Mejía - Urcuango

De acuerdo a los valores presentados en la Tabla 23 se dimensionará y escogerá el tipo de material necesario para ser aplicado en el sistema de tratamiento para el caso de estudio propuesto.

Según, los datos de la Tabla 23 se determinaron las dimensiones de las siguientes operaciones unitarias.

- **Turbina**

Determinación de la potencia y tipo dispositivo.

Dimensiones

$$r = 0,5 \text{ m}$$

$$d \approx 1 \text{ m}$$

$$h \approx 1 \text{ m}$$

Es importante considerar que en la Figura 11 el diámetro está expresado en pies (1 m = 3.28 pies), por lo tanto según los parámetros de diseños anteriormente determinados el diámetro del tanque de tratamiento es de 3,28 pies.

Se tomará las turbinas como dispositivo de mezcla en el sistema de tratamiento debido a su eficiencia de mezcla en líquidos de baja y alta viscosidad. Según esta consideración en base a la Figura 11 se obtiene una potencia necesaria de 8 cv/1000 gal que es igual a 0,39 kWh  $\approx$  1 kWh

#### - Filtro

Por motivos de costos se implementará un filtro de malla (Figura 12), que presenta una eficiencia del 90% al momento de retener todo tipo de partículas tanto orgánicas como inorgánicas. Son muy utilizados en el tratamiento de aguas de cualquier tipo de procedencia (IAGUA, 2018).

**Figura 12** Filtro de malla



**Fuente:** IAGUA, 2018. Filtración II

#### **4.6.1 COSTOS**

Tomando como caso de estudio un edificio de 10 pisos, 2 familias por piso y 4 personas por familia y conforme a los datos obtenidos en la etapa experimental, tales como: generación de agua gris proveniente de duchas y lavamanos, caudal

necesario de agua gris a ser tratada para abastecer las necesidades en el edificio, dosis óptima del oxidante a la cual las características físicas, químicas y biológicas cumplen con la norma establecida para la recirculación de agua gris hacia los inodoros en edificios y finalmente con base en el diseño de la planta de tratamiento de aguas grises propuesto, se establecerán costos de operación, mantenimiento e implementación de la misma al mes.

Es importante determinar la magnitud de la inversión requerida para implementar dicho sistema, depende exclusivamente de la cantidad de personas existentes en el edificio y del tipo de sistema diseñado (Ardila, 2013).

Para el análisis de costos aplicado al caso de estudio se tomará en cuenta las consideraciones presentadas en la Tabla 24 y que el costo por m<sup>3</sup> de hipoclorito de calcio y de peróxido de hidrógeno es \$ 19,57 y \$ 0,75 respectivamente.

**Tabla 24** Costos de implementación, personal, insumos y materiales.

DESCRIPCIÓN	COSTO EN USD
Caja de división de caudales	321,57
Filtro de Malla	445,40
Tanque de Tratamiento 250 l (fibra de vidrio)	474,08
Tanque de Almacenamiento (Plástico de Polietileno de alta densidad)	683,50
Bomba 1HP	4,227.73
Turbina 1 KW	2,000.00
Operador	386
Electricidad (mensual)	160,83
Agua potable	70,20
Servicio de mantenimiento de equipos	550
Hipoclorito de calcio al 70% (mensual)	1302,40
Peróxido de Hidrógeno al 50 % (mensual)	50,00
<b>COSTO ESTIMADO Ca(ClO)<sub>2</sub></b>	<b>10621,35</b>
<b>COSTO ESTIMADO H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b>	<b>9369,31</b>

**ELABORACIÓN:** Mejía – Urcuango



En la Tabla 24 se observa que el costo de implementación de un sistema de tratamiento de aguas grises con peróxido de hidrógeno al 50 % o con hipoclorito de calcio al 70% en un edificio para recircular hacia los inodoros es elevado. Considerando que los costos de implementación, operación y mantenimiento serán financiados por los propietarios de cada uno de los departamentos del edificio.

El hipoclorito de calcio con respecto al peróxido de hidrógeno como oxidante para el tratamiento del agua gris presenta una mayor eficiencia de remoción de nutrientes, patógenos, materia orgánica y la diferencia de costos en la implementación del sistema de tratamiento, con hipoclorito de calcio es de \$ 10 621,35 y con peróxido de hidrógeno es de \$ 9 369,31, no es significativa.

Aunque la inversión inicial para implementar el sistema de tratamiento de aguas grises es elevado, es importante tener en cuenta que el tiempo de vida útil del mismo se estima de 15 años, caso en el cual será necesario renovar algunos elementos tales como: filtro, bomba, aspas, pero no todo el sistema, por lo que el costo de inversión a largo plazo sería menor (Ardila, 2013).

En la Tabla 25 se presenta el costo mensual en la planilla de agua sin y con recirculación de agua gris y el ahorro.

**Tabla 25** Ahorro mensual por familia

<b>PARÁMETROS EVALUADOS</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Costo por m<sup>3</sup></b>	<b>Costo Total (\$)</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Consumo de agua potable al mes sin recirculación</b>	24	0,78	18,72	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Familia promedio de 4 personas</li> <li>- Dotación promedio de agua potable para Quito de 200 L/hab*día.</li> <li>- Caudal de agua gris tratada necesaria para recircular a los inodoros (2,22 m<sup>3</sup>/día)</li> </ul>
<b>Consumo de agua potable al mes con recirculación</b>	20,7	0,78	16,15	

<b>AHORRO</b>	3,3	-	2,57	
---------------	-----	---	------	--

**ELABORACIÓN:** Mejía – Urcuango

En la tabla 25 se evidencia que el ahorro mensual en la planilla del agua para una familia de 4 personas es de \$ 2,57, ahorro que se verá reflejado constante en los servicios públicos de agua potable y alcantarillado, tanto para el edificio como para cada familia.

## **CAPÍTULO 5**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **CONCLUSIONES**

- En base a la campaña de muestreo para la recolección de agua gris de duchas y lavamanos en una vivienda, se determinó que el caudal generado en las mismas fue de 55,8 L/día, caudal que es suficiente para cubrir las necesidades de abastecimiento de agua para los inodoros cuyo valor es de 27,73 l/día.
- Al realizar la caracterización del agua gris sin tratamiento se evaluó que la misma se encuentra dentro de los estándares internacionales, evidenciando que son menos contaminadas en comparación con las aguas residuales domésticas, sin embargo, en la caracterización se reflejó la presencia de patógenos los cuales pueden causar un riesgo a la salud al reutilizarlas sin tratamiento, por lo que para reutilizarlas se debe hacer un tratamiento previo.
- Se estableció que el tiempo de contacto para el hipoclorito de calcio y peróxido de hidrógeno es de 2 horas y la dosis efectiva para los mismos fue de 3,5 g/l y 0,5 ml/l respectivamente. La eficiencia de remoción de parámetros biológicos con los dos oxidantes fue del 99,99% indicando una remoción total de patógenos. Sin embargo, la eficiencia de remoción del peróxido de hidrógeno en parámetros físico – químicos fue baja, principalmente en DQO arrojando una eficiencia del 0%, mientras que para el hipoclorito en los mismos parámetros su eficiencia de remoción fue alta, con un valor de DQO de 79,43%.

- Se determinó que la eficiencia de remoción del hipoclorito de calcio a su dosis óptima de 3,5 g/L fue elevada en todos los parámetros analizados en especial coliformes fecales. Sin embargo, este tratamiento no cumple con los LMP en los parámetros analizados tal como lo establece el Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises del Departamento de Salud Ambiental de Chile y la Guía Técnica Española de Recomendaciones para el Reciclaje de aguas grises en edificios.
- Se estableció que la eficiencia de remoción del peróxido de hidrógeno a su dosis óptima de 0,5 ml/L fue baja en todos los parámetros analizados excepto en coliformes fecales. Este tratamiento no cumple con los LMP en los siguientes parámetros: DBO<sub>5</sub> , DQO, turbidez, tal como lo establece el Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises del Departamento de Salud Ambiental de Chile y la Guía Técnica Española de Recomendaciones para el Reciclaje de aguas grises en edificios.
- Según el análisis de costos aplicado al caso de estudio se identificó que la implementación del sistema de tratamiento de oxidación con hipoclorito de calcio para aguas grises de duchas y lavamanos es de \$10621,35; y que su costo no varía significativamente con respecto al de peróxido de hidrógeno (\$9369,31) sin embargo, el tratamiento con hipoclorito presenta mejores eficiencias de remoción de parámetros físicos, químicos y especialmente en la eliminación de patógenos.

## RECOMENDACIONES

- Realizar ensayos con las dosis óptimas sugeridas tanto para hipoclorito de calcio como peróxido de hidrógeno variando tiempos de contacto.
- Se sugiere oxidar el agua gris con peróxido de hidrógeno mediante tratamientos de oxidación avanzada con luz ultravioleta de tal forma que se pueda optimizar la cantidad de oxidante utilizado, así como mejorar la calidad del agua tratada para su reúso.
- Para obtener mejores resultados del tratamiento de aguas grises, se sugiere realizar experimentaciones con la mezcla de los oxidantes estudiados hasta encontrar la dosis óptima a la cual las eficiencias de remoción de parámetros físicos, químicos y biológicos sean altas.
- En tratamientos de oxidación avanzada se recomienda probar con dosis de hipoclorito de calcio menores a 1 g/l y de peróxido de hidrógeno menores a 0,5 ml para determinar si a dosis más bajas se puede obtener mejores eficiencias de remoción.
- El peróxido de hidrógeno como oxidante en el tratamiento de aguas grises no es eficiente por si solo, por lo que se recomienda utilizar un catalizador tipo Fenton para mejorar la oxidación de materia orgánica presente en éste tipo de aguas.
- Se sugiere realizar análisis para determinar la presencia de trihalometanos y afines a éstos en el agua tratada con hipoclorito de calcio para evitar posibles riesgos a la salud humana, a pesar de que el contacto con el agua gris no es directo.

## BIBLIOGRAFIA

- Alkhatib, R. Y. (2008). *La eficacia del uso de aguas grises a nivel doméstico*. Departamento of Civil and Environmental Engineering. Colorado, USA: Colorado State University, Ford Collins
- Allen, L. (2015). *Manual de diseño para manejo de aguas grises*. Recuperado de: <https://greywateraction.org/wp-content/uploads/2014/11/finalGWmanual-esp-5-29-15.pdf>
- AQUA ESPAÑA (2011). *Guía Técnica Española de Recomendaciones para el Reciclaje de aguas grises en edificios*. Recuperado de: <http://www.remosa.net/pdf/GUIA%20TECNICA%20ESPANOLA%20RECICLAJE%20AGUAS%20GRISES.PDF>
- Arcos, M. & Fernández, G.,(1993). *Procesos biológicos de tratamiento para la estabilización de residuos líquidos tóxicos*. CENAPRED, México. Disponible en: <http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/153-PROCESOSBIOLGICOSDETRATAMIENTOPARALAESTABILIZACINDERESIDUOSLQUIDOSTXICOS.PDF>
- Ardila, M. (2013). *Viabilidad técnica y económica del aprovechamiento de aguas grises domésticas*. Universidad Nacional de Colombia – Bogota. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/45618/1/1010165974.2013.pdf>
- Arreghini, M. (2017). *Oxidación con peróxido de hidrógeno de efluentes de bodega*. Recuperado de: [http://www.inv.gov.ar/inv\\_contenidos/pdf/foro/2017/seminario\\_06\\_10\\_17.pdf](http://www.inv.gov.ar/inv_contenidos/pdf/foro/2017/seminario_06_10_17.pdf)
- Association for Rainwater Harvesting and Water Utilisation, (2012), *Greywater Recycling and Reuse*. Recuperado el: 06/09/2018, Disponible en: <https://www.researchgate.net/file.PostFileLoader.html?id=56b7696060614b1c0a8b4567&assetKey=AS:326523346276354@1454860640450>
- Astudillo, M. & Jurado, R., ( 2007). “*Análisis técnico comparativo entre los tratamientos convencionales y tratamientos electroquímicos, en el mantenimiento del agua de piscinas de uso doméstico residencial y /o*

- público comercial* “. Guayaquil- Ecuador. Disponible en :  
file:///C:/Users/USER1/Contacts/Downloads/1014.pdf
- Bennett, D., 1995. *Graywater: An Option for Household Water Reuse*. Berkeley, CA: *Home Energy Magazine*. Retrieved October 10, 2002, from <<http://hem.dis.anl.gov/eehem/95/950712.html>>.
- Cáceres, L. (1990). “*Desinfección del Agua*”. Ministerio de Salud; Perú, pp 19-340.
- Carranza, J. & Zambrano, F. (2012) *Influencia de la dosificación de Cloro y Peróxido de Hidrógeno sobre el contenido final de cianuro total en el tratamiento de aguas en minera Yanacocha S.R.L.* Recuperado de: <http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/3146/CARRANZA%20L%20C%20JUNIOR%20FERNANDO%20ZAMBRANO%20RESP%20FRANK%20STEVE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Castro, E. (2004). *Uso de cloro para la desinfección de agua para consumo humano: efectos en la salud humana. Hoja de divulgación técnica CEPIS*. <http://www.bvsde.paho.org/eswww/proyecto/repidisc/publica/hdt/hdt049.htm>
- Centro para el estudio de la construcción Ambiental (CSBE), (2013). *Graywater Reuse in Other Countries and its Applicability to Jordan. Jordania*. Disponible en: <https://static1.squarespace.com/static/5671433fc647ad9f55531f40/t/56ada9c640261d97c08b8802/1454221777672/Graywater-in-other-countries-E.pdf>
- Chamorro, K. & Sanchez, M. (2003). *Tratamiento físico químico de aguas residuales domésticas*. Escuela Politécnica Nacional- Quito.
- Comisión Nacional del Agua (CNA), (2007). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento - Desinfección para sistemas de agua potable y saneamiento. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (México)*. Disponible en: <ftp://ftp.conagua.gob.mx/Mapas/libros%20pdf%202007/Desinfecci%F3n%20para%20Sistemas%20de%20Agua%20Potable%20y%20Saneamiento.pdf>
- Dueñas, C. & Donado, L.(2015). *Reúso del agua residual tratada. Una propuesta de regulación para el uso seguro*. Convenio No. 100 Universidad Nacional

- de Colombia – Secretaría Distrital de Planeación. Bogotá D.C. Disponible en:  
[https://www.researchgate.net/profile/Leonardo\\_Donado/publication/287645863\\_Reuso\\_del\\_Agua\\_Residual\\_Tratada\\_Una\\_Propuesta\\_de\\_Regulacion\\_para\\_el\\_uso\\_seguro/links/567857e608ae125516ee7ec0/Reuso-del-Agua-Residual-Tratada-Una-Propuesta-de-Regulacion-para-el-uso-seguro.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Leonardo_Donado/publication/287645863_Reuso_del_Agua_Residual_Tratada_Una_Propuesta_de_Regulacion_para_el_uso_seguro/links/567857e608ae125516ee7ec0/Reuso-del-Agua-Residual-Tratada-Una-Propuesta-de-Regulacion-para-el-uso-seguro.pdf)
- EPA, Environmental Protection Agency (1991). *Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. Desinfección con luz ultravioleta - Desinfección con ozono*. United State. EPA 832-F-99-064
- Espinal, C., Ocampo, D. & Rojas, J. (2014). *Construcción de un prototipo para el sistema de reciclaje de aguas grises en el hogar*. Recuperado de: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/4349/62167E77C.pdf;jsessionid=5BC75B7B47319609578EC3551F29C661?sequence=1>
- Franco, M., (2007). *Tratamiento y reutilización de aguas grises con aplicación a caso en Chile*. Recuperado de: [http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/104596/franco\\_m.pdf?sequence=3&isAllowed=y](http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/104596/franco_m.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Freire, E. (2012). *Sustancias oxidantes importantes*. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/110694808/sustancias-oxidantes-quimica>
- Garrison, C., 2002. *Soils and pH*. Tulare, CA: University of California Cooperative Extension. Recuperado Agosto 26 del 2018, Disponible en: <http://cetulare.ucdavis.edu/mg/articles/n072502.htm>.
- Gea, E. & Loza, M. (2012). *Calidad del agua y Salud: Las biopelículas y Legionella*. *Journal of the Selva Andina Research Society* 2012. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=361333626005>> ISSN 2072-9294
- Ghaitidak, D. & Yadav, K. (2013). *Characteristics and treatment of greywater—a review*. *Environ Sci Pollut Res*, 20:2795–2809.
- Gonzales, E., (2007). *Comparación del proceso de desinfección utilizando hipoclorito de calcio y el sistema de generación in situ de hipoclorito de sodio*. *Universidad de la Salle (Bogota, Colombia)*. Disponible en: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14919/41001041.pdf>



?sequence=1&isAllowed=y

- Guarquila, M. (2013). *Tratamiento de efluentes industriales mediante procesos avanzados de oxidación-sector textil*. Recuperado de: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/1307/1/T-UCE-0017-28.pdf>
- Gutiérrez N., & Valencia E., (2014). *Eficiencia de remoción de DBO5 y SS en sedimentador y lecho filtrante para el tratamiento de aguas residuales del beneficio de café (Coffea arabica)*. Colombia Forestal, 17(2), 151-159
- Harju, V., (2010). *Assembling and testing of laboratory scale grey wáter treatment system*. Tampere University of Applied Science, Finlandia.
- Homsí, J. (2010). *Actualización para reutilización de aguas grises del reglamento general de alcantarillados particulares, fosas sépticas, cámaras filtrantes, cámaras de contacto, cámaras absorbentes y letrinas domiciliarias, decreto supremo N° 236 de 1926 del ministerio de higiene asistencia previsión social y trabajo*. Recuperado de: <http://documentos.dga.cl/ISA5279.pdf>
- Hybrid, G. (2016). *Potencial de reducción de oxidación (ORP)*. Recuperado de: <file:///C:/Users/PC/Downloads/Infosheet%20ORP%20SPN%20Nov2016.pdf>
- IAGUA, (2018). *Filtración (II)*. Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/filtracion-ii-seleccion-equipo-filtrado>
- Ilemobade, A., & Olanrewaju, O. (2012). *Greywater reuse for toilet flushing in high-density urban buildings in south africa: a pilot study*. Disponible en: <http://www.wrc.org.za/Knowledge%20Hub%20Documents/Research%20Reports/1821-1-11.pdf>
- Kestler, P. (2004). *Uso, reuso y reciclaje del agua residual en una vivienda*. Recuperado de: [http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/fulltext/uso\\_reuso.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/fulltext/uso_reuso.pdf)
- Lamberto, N. (2015). *Estudio de viabilidad de un proyecto: cómo y por qué llevarlo a cabo*. Recuperado de: <https://www.obs-edu.com/int/blog-project-management/causas-de-fracaso-de-un-proyecto/estudio-de-viabilidad-de-un-proyecto-como-y-por-que-llevarlo-cabo>
- Li, F., Wichmann, K., & Otterpohl, R. (2009). *Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses*. Science of The Total Environment, 407(11), 3439–3449.

- Little, V. 2001. *Graywater Guidelines*. Tucson: Water Conservation Alliance of Southern Arizona (Water CASA).
- Lucke F.K. (2003). *Análisis del riesgo microbiológico en el reciclaje de aguas grises. Memorias. 2° Simposio Internacional sobre Saneamiento Ecológico de la Internacional Water Association*. Lübeck Alemania - abril, 2003. Pp. 374-382.
- Marcó L., Azario R., Metzler C., Garcia M., (2004). *La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina)*. Recuperado de: [http://www.salud-publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc510156890491c\\_Hig.Sanid.Ambient.4.72-82\(2004\).pdf](http://www.salud-publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc510156890491c_Hig.Sanid.Ambient.4.72-82(2004).pdf)
- McCabe, L., (1991). *Operaciones unitarias en ingeniería química*. Aravaca (Madrid), Mc Graw Hill.
- Mcllwaine, S., 2003. *Graywater Reuse in Other Countries and its Applicability to Jordan*. Jordania, Amman: The Center for the Study of the Built Environment.
- Ministerio de Salud Ambiental Chile (2017). *Proyecto de Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de aguas grises*. Recuperado de: <http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/02/Reglamento-Aguas-Grises.pdf>
- Montes, A., Rodríguez, C. & Barbarín, M., (2002). *Análisis de riesgo ambiental y su aplicación al almacenamiento y manejo de cloro industrial*. CIENCIA UANL, No. 2, ABRIL-JUNIO 2002.
- MOPT. (2010). *Aguas residuales*. Recuperado de: [http://cidta.usal.es/residuales/libros/logo/pdf/Aguas\\_residuales\\_MOPT.pdf](http://cidta.usal.es/residuales/libros/logo/pdf/Aguas_residuales_MOPT.pdf)
- Morel, A., & Diener, S. 2006. *Greywater Management in Low and Middle-Income countries, Review of diferentes tratament systems for households or neighbourhoods. Dubendorf, Switzerland*. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). Disponible en

[http://www.eawag.ch/organisation/abteilungen/sandec/schwerpunkte/ewm/projects/projects\\_greywater](http://www.eawag.ch/organisation/abteilungen/sandec/schwerpunkte/ewm/projects/projects_greywater)

- Muñoz, M. & Aldás, M. (2017). *Sistemas de depuración de aguas residuales*. Quito, Ecuador. Escuela Politécnica Nacional.
- Musa, M., & Al-Asad M, 2002. *A Graywater Reuse Study in Southern Arizona and the Water Conservation Demonstration Garden in San Diego, California*. Jordania, Amman: The Center for the Study of the Built Environment. Disponible en <http://www.csbe.org/template-1-1>
- Nigatan, L., (2015). *Introsuction to greywater management*. Stockholm Environment Institute. Stockholm, Sweden.
- Niño, E., & Martinez, N. (2013). *Estudio de las aguas grises domésticas en tres niveles socioeconómicos de la ciudad de Bogotá*. Pontificia Universidad Javeriana, Colombia.
- Nolde, E (1999). «*Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings-over ten years experience in Berlin*», *Urban Water*, 1 (1999): 275-84, 1999
- Olmedo, M.,(2008). *Subproductos de la desinfección del agua por el empleo de compuestos de cloro*. Efectos sobre la salud Hig. Sanid. Ambient. 8: 335-342 (2008) . Dsponible en: [http://salud-publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc51018bc59c356\\_Hig.Sanid.Ambient.8.335-342\(2008\).pdf](http://salud-publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc51018bc59c356_Hig.Sanid.Ambient.8.335-342(2008).pdf)
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), (2017). *Reutilización de aguas para agricultura en América Latina y el Caribe*. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-i7748s.pdf>
- Pérez, M. (2018). *Tratamientos con Ozono – Recuperación de aguas residuales*. Cosemar Ozono. Madrid, España. Disponible en: [https://cosemarozono.com/descargas/recuperacion\\_aguas\\_residuales.pdf](https://cosemarozono.com/descargas/recuperacion_aguas_residuales.pdf)
- PLAREMESA (2018). *Ventajas de los tanques industriales de fibra de vidrio*. Disponible en: <http://www.plaremesa.net/ventajas-los-tanques-industriales-fibra-vidrio/>

- Quijandrí, S. (2013). *La Prueba de Jarras en una Planta de Tratamiento de Agua Potable*. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/143937075/La-Prueba-de-Jarras-en-Una-Planta-de-Tratamiento-de-Agua-Potable>
- Quintero, N., (2016). “*Estudio de posibilidad de obtención de hipoclorito de calcio y cloruro de calcio a partir de cloro*”. Universidad Central de Las Villas (Santa Clara, Cuba). Disponible en <http://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/7416/Gonz%C3%A1lez%20Quintero%20Noel%20Antonio.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramos, L., Vidal, L., Vilardy, S. & Saavedra, L.(2008). *Análisis de la contaminación microbiológica (coliformes totales y fecales) en la bahía de Santa Marta, caribe colombiano*. Acta Biologica Colombiana,13, (87 – 98).
- Reyes, M., (2016). *Uso del cloro en las plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas: desinfección y formación de subproductos*. Insitituto Politecnico Nacional (México). Disponible en: <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/23350/1/Tesis%20Gpe%20Reyes%20.pdf>
- Ríos, S., Agudelo, R. & Gutiérrez, L. (2017). *Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano*. Facultad Nacional de Salud Pública. 35, 236-247. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnsp/v35n2/0120-386X-rfnsp-35-02-00236.pdf>
- Roldán, G. y Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. Recuperado de: [https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=FA5Jr7pXF1UC&oi=fnd&pg=PR15&dq=coliformes+totales&ots=h0Sw-lQ\\_6-&sig=oh\\_NNXtvuvN33Z4m-vgJJXgT1vA#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=FA5Jr7pXF1UC&oi=fnd&pg=PR15&dq=coliformes+totales&ots=h0Sw-lQ_6-&sig=oh_NNXtvuvN33Z4m-vgJJXgT1vA#v=onepage&q&f=false)
- Suárez J., & Jácome. A., (2012). *(El reciclaje de aguas grises como complemento a las estrategias de gestión sostenible del agua en el medio rural)*.Universidad de Coruña (España). Disponible en: [file:///C:/Users/USER1/Contacts/Downloads/Suarez2012ReciclajedeAgrisesestrategiagestin%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/USER1/Contacts/Downloads/Suarez2012ReciclajedeAgrisesestrategiagestin%20(1).pdf)
- Tejero, I.,Suárez, j., & Jácome, A., (2017). *Desinfección, cloración y ozonización*. Disponible en:

[ftp://ceres.udc.es/Grado\\_IOP/Cuarto\\_Curso/Tratamiento%20de%20aguas/Apuntes/TEMA-desinfecci%C3%B3n.pdf](ftp://ceres.udc.es/Grado_IOP/Cuarto_Curso/Tratamiento%20de%20aguas/Apuntes/TEMA-desinfecci%C3%B3n.pdf)

Urrusuno, A., (2017) *Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la depuración de efluentes procedentes de un lavadero de carbón*. Oviedo, España. Disponible en: [http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/43806/3/TFM\\_AdrianUrrusunoGonzalez.pdf](http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/43806/3/TFM_AdrianUrrusunoGonzalez.pdf)

UTECSA, (2018). *Válvulas hidráulicas componentes para sistemas hidráulicos*. Recuperado de: <http://www.utecsa.cl/portfolio/valvulas-divisoras-de-flujo/>

Villa, L, (2015). *Optimización del sistema de descarga del inodoro para economizar el agua*. Instituto Politécnico Nacional, México. Disponible en: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/16755/Tesis%20Inodoro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Wilhelm, M. (2013). *Métodos Estándar para el Examen del Agua y Aguas Residuales Edición XX*. Recuperado de: <https://www.translatorscafe.com/cafe/file/?id=7362>

## **ANEXOS**

**Anexo 1**  
Registro fotográfico

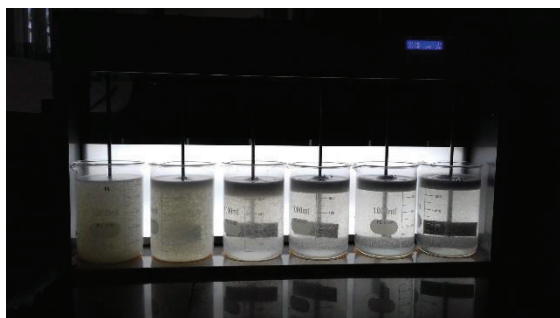
Prueba de Jarras



**Figura 13** Pesaje de dosis de hipoclorito de calcio



**Figura 14** Medición en volumen de dosis de peróxido de hidrógeno



**Figura 15** Tratamiento en la prueba de Jarras con Hipoclorito de Calcio al 70 %



**Figura 16** Tratamiento en la prueba de Jarras con peróxido de hidrógeno 50 v/v.

## Medición de parámetros



**Figura 17** Preparación para la medición de coliformes fecales antes y después del tratamiento.



**Figura 18** Medición de coliformes fecales antes y después del tratamiento.




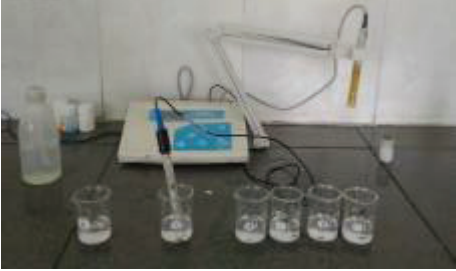


**Figura 19** Digestión de muestras para medición de DQO.



**Figura 20** Medición de DQO antes y después del tratamiento.



 A laboratory bench with several glass bottles and a flask. One bottle is labeled '215', another '211'. A flask in the background is labeled 'B. Acido 3'.	 A laboratory bench with a black instrument, possibly a spectrophotometer, and several glass bottles. One bottle contains a blue liquid.
<p><b>Figura 21</b> Determinación de cloro residual.</p>	<p><b>Figura 22</b> Determinación de Fósforo total</p>
 A laboratory bench with various glassware, including a large white bottle, a yellow bottle, and several smaller bottles.	 A laboratory bench with a pH meter and several glass bottles. One bottle contains a white solid.
<p><b>Figura 23</b> Determinación de Nitrógeno Kjeldahl</p>	<p><b>Figura 24</b> Medición de pH.</p>

## Anexo 2

Tabla del número mas probable y límite de confianza 95% entre los cuales puede variar para diversas combinaciones de resultados positivos obtenidos con tres porciones (0,1 - 1 -10 ml).

COMBINACION DE TUBOS POSITIVOS	NMP	Límite de confianza del 95%	
		Límite Inferior	Límite Superior
0-0-0	< 3		
0-0-1	3	< 0.5	9
0-1-0	3	< 0.5	13
0-2-0	-		
1-0-0	4	< 0.5	20
1-0-1	7	1	21
1-1-0	7	1	23
1-1-1	11	3	36
1-2-0	11	3	36
2-0-0	9	1	36
2-0-1	14	3	37
2-1-0	15	3	44
2-1-1	20	7	89
2-2-0	21	4	47
2-2-1	28	10	150
2-3-0	-		
3-0-0	23	4	120
3-0-1	39	7	130
3-0-2	64	15	380
3-1-0	43	7	210
3-1-1	75	14	230
3-1-2	120	30	380
3-2-0	93	15	380
3-2-1	150	30	440
3-2-2	210	35	470
3-3-0	240	36	1,300
3-3-1	460	71	2,400
3-3-2	1,100	150	4,800
3-3-3	vii 2,400		

### Anexo 3

Dosis experimentales y registro de análisis de DQO del agua gris tratada con hipoclorito de calcio al 70%.

Número de ensayo / Fecha	Dosis (ml/l)	DQO (mg/l)
1	5,5	2400
	7,5	2647
	9,5	1183
	11,5	3691
	13,5	3856
	15,5	3796
2	0,3	596
	0,5	478
	0,7	503
	0,9	489
	1,1	357
	1,3	292
3	1,5	184
	2	361
	2,5	233
	3	162
	3,5	140
	4	201
4	3,5	151
	4	198
	4,5	313
	5	541
	5,5	572
	6	614
5	3	175
	3,2	160
	3,4	161
	3,6	168
	3,8	210
	4	215

### Anexo 4

Dosis experimentales y registro de análisis de DQO del agua gris tratada con peróxido de hidrógeno al 50%.

<b>Fecha</b>	<b>Dosis (ml)</b>	<b>DQO (mg/l)</b>
25/06/2018	0,5	640
	1	672
	1,5	732
	2	832
	2,5	839
	3	866
02/07/2018	4	910
	6	925
	8	920
	10	932
	11	1147
	12	990
09/07/2018	13	1108
	14	1010
	15	1075
	17	1005
	19	1127
	21	1079

### Anexo 5

Caracterización del agua gris tratada con hipoclorito de calcio al 70% con repeticiones.

Dosis (g)	Ph	Turbidez(NTU)	Fósforo Total (mg/l)	Nitrógeno Kjeldal (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO <sub>5</sub> (mg/l)	Cloro Residual	Coliformes fecales (nmp)
1,3	8,3	350,3	0,6		272,0	63,6	0,0	< 3
1,3	8,3	384,4	0,6		282,0	73,9	0,0	< 3
3	9,5	139,3	0,5	3,5	150,0	61,4	0,0	<3
3,0	9,1	135,6	0,6		160,0	61,4	0,0	< 3
3,0	9,1	157,6	0,5		170,0	61,1	0,0	< 3
3	9,5	132,7	0,5		180,0	64,2	0,0	<3
3	9,3	123,0	0,4		183,0	61,3	0,1	<3
3	9,3	132,0	0,6		189,0	72,5	0,0	<3
3,5	9,0	125,6	0,4		128,0	63,7	0,0	<3
3,5	9,2	118,2	0,5	1,5	129,0	66,3	0,2	< 3
3,5	9,5	122,4	0,4	2,8	132,0	66,3	0,1	<3
3,5	9,2	123,9	0,9		132,0	65,0	0,1	<3
3,5	9,8	119,4	0,4		137,0	70,0	0,0	<3
3,5	9,2	108,2	0,4		139,0	64,3	0,3	< 3
4,0	9,0	117,4	0,5		188,7	69,3	0,7	< 3
4,0	9,0	107,4	0,6		198,7	70,2	0,9	< 3
5,5	9,4	211,4	0,5		393,3	82,7	1,2	< 3
5,5	9,4	201,4	0,6		403,3	80,8	1,3	< 3
9,5	9,1	185,4	0,4		813,8	75,9	2,5	< 3
9,5	9,1	175,4	0,5		823,8	77,5	3,6	< 3
<b>MEDIA</b>	<b>9,2</b>	<b>163,6</b>	<b>0,5</b>	<b>2,6</b>	<b>260,2</b>	<b>68,6</b>	<b>0,6</b>	<b>0</b>
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	<b>0,35</b>	<b>74,19</b>	<b>0,12</b>	<b>0,82</b>	<b>202,11</b>	<b>6,53</b>	<b>0,94</b>	<b>0</b>

### Anexo 6

Caracterización del agua gris tratada peróxido de hidrógeno con repeticiones.

Dosis (ml)	pH	Turbidez (NTU)	Fósforo Total (mg/l)	Nitrógeno Kjeldal (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO <sub>5</sub> (mg/l)	Coliformes fecales (nmp)
0,5	7,40	298,00	0,75		660,00	14,54	<3
0,5	7,40	288,00	0,74		700,00	10,54	<3
0,5	7,40	298,00	0,75	5,30	645,80	12,54	<3
1	7,55	313,00	0,56		686,50	13,70	<3
1	7,55	303,00	0,48		736,50	11,69	<3
1,5	7,40	292,50	0,89		746,00		<3
1,5	7,40	282,50	0,74		740,00		<3
2	7,48	297,50	0,32		811,00		<3
2	7,48	287,50	0,65		800,00		<3
2,5	7,49	306,50	0,45		820,50		<3
2,5	7,49	296,50	0,27		810,50		<3
3	7,51	286,50	0,19	5,30	740,00	13,29	<3
3	7,51	256,50	0,15		770,00	9,29	<3
3	7,51	286,50	0,19		734,30	11,29	<3
4	7,19	217,50	0,17	8,30	855,00	2,07	<3
4	7,19	223,50	0,21		815,00	2,00	<3
4	7,19	217,50	0,17		866,90	2,04	<3
6	7,14	207,50	0,14		864,00	2,29	<3
6	7,14	209,50	0,13		834,00	1,29	<3
6	7,14	207,50	0,14		815,21	1,79	<3
8	7,28	203,00	0,86		942,50		<3
8	7,28	213,00	0,65		922,50		<3

10	7,32	201,50	0,69		941,00	3,56	<3
10	7,32	211,50	0,59		931,00	2,34	<3
11	7,37	191,50	0,42		1643,00		<3
11	7,37	171,50	0,87		1043,00		<3
12	7,22	202,50	0,23		995,00	7,80	<3
12	7,22	212,50	0,56		1005,00	9,70	<3
13	7,51	159,50	0,41		1628,50		<3
13	7,51	155,50	1,03		1323,50		<3
14	7,65	202,50	0,86		1005,50	2,04	<3
14	7,65	200,50	0,50		1005,50	1,40	<3
14	7,65	202,50	0,86		1015,12	1,72	<3
15	7,35	157,50	1,07		1606,50		<3
15	7,35	154,50	0,23		1516,50		<3
17	7,32	157,50	0,15	16,31	1552,50	2,32	<3
17	7,32	160,50	0,19		1535,50	2,33	<3
17	7,32	157,50	0,15		1499,70	2,33	<3
19	7,35	162,00	0,10		1646,00		<3
19	7,35	158,00	0,21		1647,00		<3
21	7,11	156,00	0,11		1607,00	1,23	<3
21	7,11	156,00	0,26		1707,00	2,56	<3
<b>Media</b>	<b>7,37</b>	<b>221,96</b>	<b>0,45</b>	<b>9,97</b>	<b>1051,67</b>	<b>5,68</b>	<b>100,00</b>
<b>Desviación Estándar</b>	<b>0,15</b>	<b>54,31</b>	<b>0,29</b>	<b>4,65</b>	<b>349,16</b>	<b>4,74</b>	<b>100,00</b>

## Anexo 7

Resultados de Nitrógeno Kjeldahl del CICAM para las muestras con y sin tratamiento.



### ESCUELA POLITECNICA NACIONAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricasurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253  
Tel.: (+593-2) 2976300 / 3938780 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec  
Quito - Ecuador



#### INFORME DE RESULTADOS

Quito, 28 de agosto de 2018

##### DATOS DE CLIENTE

Solicitado por: CYNTHIA URCUANGO  
Atención:  
Dirección: San Bartolo, Manglar Alto y Pungará  
Identificación de la muestra: ninguna  
Fecha de recolección: 2018-08-14  
Responsable del muestreo: Cliente

No. IRI18-680

Ref. ST18-221

Teléfono: 2628023  
Origen/lugar de muestreo: agua residual tratada con cloro  
Tipo de muestra: Agua residual  
Tipo de envase: Vidrio ámbar  
Llegó refrigerada: No  
Se utilizó preservante: No

##### LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: MJ-18- 680  
Fecha de ingreso al Laboratorio: 2018-08-14

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
<sup>(*)</sup> Nitrógeno orgánico (Kjeldahl)	mg/L	3,2	2018-08-15	101, Ed 7, 2012, 8075/ Espectrofotometría VIS

**NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO**

<sup>(\*)</sup> Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° OAE LE 2C 06-012  
Los ensayos marcados con (\*) no están dentro del alcance de acreditación

**NOTA:** La incertidumbre de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera.

Revisado por: Quím. César Yambay  
**RESPONSABLE TÉCNICO**



Aprobado por: MSc. Carola Fierro  
**RESPONSABLE DE LABORATORIO**





**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL  
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253  
Tel.: (+593-2) 2976300 / 3938780 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec  
Quito – Ecuador



**INFORME DE RESULTADOS**

Quito, 25 de julio de 2018

No. IRI18-619

**DATOS DE CLIENTE**

Ref. ST18-192

Solicitado por: CYNTHIA URCUANGO

Atención:

Teléfono: 2628023

Dirección: San Bartolo, Manglar Alto y Pungalá

Identificación de la muestra: ninguna

Origen/lugar de muestreo: agua residual tratada con cloro

Fecha de recolección: 2018-07-16

Tipo de muestra: Agua residual

Responsable del muestreo: Cliente

Tipo de envase: Vidrio ámbar

Llegó refrigerada: No

Se utilizó preservante: No

**LABORATORIO**

Número de ingreso al laboratorio: MI-18-619

Fecha de ingreso al Laboratorio: 2018-07-16

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
(*) Nitrógeno orgánico (Kjeldahl)	mg/L	<1	2018-07-19	HH, Ed 7, 2012, 8075/ Espectrofotometría VIS

**NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO**

(\*) Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° OAE LE 2C 06-012

Los ensayos marcados con (\*) no están dentro del alcance de acreditación

**NOTA:** La incertidumbre de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera.

Revisado por: Quím. César Yambay  
**RESPONSABLE TÉCNICO**

Aprobado por: MSc. Carola Fierro  
**RESPONSABLE DE LABORATORIO**



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL  
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253  
Tel.: (+593-2) 2976300 / 3938780 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec  
Quito – Ecuador



**INFORME DE RESULTADOS**

Quito, 28 de agosto de 2018

**DATOS DE CLIENTE**

No. IRI18-681

Solicitado por: CYNTHIA URCUANGO

Ref. ST18-222

Atención:

Teléfono: 2628023

Dirección: San Bartolo, Manglar Alto y Pungalá

Origen/lugar de muestreo: agua residual tratada con peróxido

Identificación de la muestra: ninguna

Tipo de muestra: Agua residual

Fecha de recolección: 2018-08-15

Tipo de envase: Vidrio ámbar

Responsable del muestreo: Cliente

Llegó refrigerada: No

Se utilizó preservante: No

**LABORATORIO**

Número de ingreso al laboratorio: MI-18-681

Fecha de ingreso al Laboratorio: 2018-08-15

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
(*) Nitrógeno orgánico (Kjeldahl)	mg/L	16,3	2018-08-16	HH, Ed 7, 2012, 8075/ Espectrofotometría VIS

**NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO**

(\*) Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° OAE LE 2C 06-012

Los ensayos marcados con (\*) no están dentro del alcance de acreditación

**NOTA:** La incertidumbre de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera.

Revisado por: Quím. César Yambay  
**RESPONSABLE TÉCNICO**

Aprobado por: MSc. Carola Fierro  
**RESPONSABLE DE LABORATORIO**





**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL  
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253  
Tel.: (+593-2) 2976300 / 3938780 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec  
Quito – Ecuador



**INFORME DE RESULTADOS**

Quito, 17 de julio de 2018

No. **IRS18-594**

**DATOS DE CLIENTE**

Ref. **ST18-180**

Solicitado por: **CYNTHIA URCUANGO**

Atención:

Teléfono: 2628023

Dirección: San Bartolo, Manglar Alto y Pungalá

Identificación de la muestra: ninguna

Origen/lugar de muestreo: agua tratada con peróxido de hidrógeno

Fecha de recolección: 2018-07-03

Tipo de muestra: Agua residual

Responsable del muestreo: Cliente

Tipo de envase: Plástico

Llegó refrigerada: No

Se utilizó preservante: No

**LABORATORIO**

Número de ingreso al laboratorio: MS-18- 594

Fecha de ingreso al Laboratorio: 2018-07-03

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
(*) Nitrógeno orgánico (Kjeldahl)	mg/L	8,3	2018-07-12	HBI, Ed 7, 2012, 8075/ Espectrofotometría VIS

**NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO**

(\*) Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° OAE LE 2C 06-012

Los ensayos marcados con (\*) no están dentro del alcance de acreditación

**NOTA:** La incertidumbre de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera.

Revisado por: Quím. César Yambay  
**RESPONSABLE TÉCNICO**



Aprobado por: MSc. Carola Fierro  
**RESPONSABLE DE LABORATORIO**



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL  
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253  
Tel.: (+593-2) 2976300 / 3938780 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec  
Quito – Ecuador



**INFORME DE RESULTADOS**

Quito, 17 de julio de 2018

No. **IRS18-599**

**DATOS DE CLIENTE**

Ref. **ST18-185**

Solicitado por: **CYNTHIA URCUANGO**

Atención:

Teléfono: 2628023

Dirección: San Bartolo, Manglar Alto y Pungalá

Identificación de la muestra: ninguna

Origen/lugar de muestreo: agua residual sin tratamiento

Fecha de recolección: 2018-07-09

Tipo de muestra: Agua residual

Responsable del muestreo: Cliente

Tipo de envase: Plástico

Llegó refrigerada: No

Se utilizó preservante: No

**LABORATORIO**

Número de ingreso al laboratorio: MS-18- 599

Fecha de ingreso al Laboratorio: 2018-07-09

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
(*) Nitrógeno orgánico (Kjeldahl)	mg/L	6,8	2018-07-12	HBI, Ed 7, 2012, 8075/ Espectrofotometría VIS

**NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO**

(\*) Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° OAE LE 2C 06-012

Los ensayos marcados con (\*) no están dentro del alcance de acreditación

**NOTA:** La incertidumbre de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera.

Revisado por: Quím. César Yambay  
**RESPONSABLE TÉCNICO**



Aprobado por: MSc. Carola Fierro  
**RESPONSABLE DE LABORATORIO**



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL  
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253  
Tel.: (+593-2) 2976300 / 3938780 Ext: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec  
Quito - Ecuador



**INFORME DE RESULTADOS**

Quito, 12 de julio de 2018

No. IRS18-585

**DATOS DE CLIENTE**

Ref. ST18-177

Solicitado por: CYNTHIA URCUANGO

Atención:

Teléfono: 2628023

Dirección: San Bartolo, Manglar Alto y Pungalá

Identificación de la muestra: ninguna

Origen/lugar de muestreo: descarga doméstica

Fecha de recolección: 2018-07-02

Tipo de muestra: Agua residual

Responsable del muestreo: Cliente

Tipo de envase: Plástico

Llegó refrigerada: Sí

Se utilizó preservante: No

**LABORATORIO**

Número de ingreso al laboratorio: MS-18-585

Fecha de ingreso al Laboratorio: 2018-07-02

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
<sup>(*)</sup> Nitrógeno orgánico (Kjeldahl)	mg/L	7	2018-07-03	HH, Ed 7, 2012, 8075/ Espectrofotometría VIS

**NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO**

<sup>(0)</sup> Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° OAE LE 2C 06-012

Los ensayos marcados con (\*) no están dentro del alcance de acreditación

**NOTA:** La incertidumbre de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera.

Revisado por: Quim. César Yambay  
**RESPONSABLE TÉCNICO**



Aprobado por: MSc. Carola Fierro  
**RESPONSABLE DE LABORATORIO**

## Anexo 8

Cálculos

### CAUDAL DE AGUA GRIS TRATADA

Esto es necesario para el dimensionamiento de los equipos que se implementarán en el sistema de tratamiento.

Cálculo:

$$\begin{aligned} \text{Habitantes} &= \# \text{Persona} * \# \text{Apartamentos} * \# \text{Pisos} \\ \text{Habitantes} &= 4 \text{ persona} * 2 \text{ apartamentos} * 10 \text{ Pisos} \\ \text{Habitantes} &= 80 \text{ hab} \end{aligned}$$

$$Q_{AGT} = Q_{prom} * \text{Habitante}$$

$$Q_{prom} = 27,73 \text{ l/hab*día}$$

$$\text{Habitantes} = 80 \text{ Hab}$$

$$Q_{AGT} = 27,73 * 80 \left( \frac{\text{l}}{\text{día}} \right)$$

$$Q_{AGT} = 2218,4 \left( \frac{\text{l}}{\text{día}} \right)$$

### PRODUCCIÓN DE AGUA GRIS ( $P_{AG}$ )

Cálculo:

$$P_{AG} = Q_{AGprom} * N_H$$

$$Q_{AGprom} = 55,76 \text{ l/día}$$

$$\text{Habitantes} = 80$$

$$P_{AG} = 55,76 * 80 \left( \frac{\text{l}}{\text{día}} \right)$$

$$P_{AG} = 4460,8 \left( \frac{\text{l}}{\text{día}} \right)$$

**CAUDAL DE AGUA GRIS DESECHADA A LA ALCANTARILLA (  $Q_{AGD}$  )**

Cálculo

$$Q_{AGD} = P_{AG} - Q_{AGT}$$

$$P_{AG} = 4460,8 \left( \frac{l}{día} \right)$$

$$Q_{AGT} = 2218,4 \left( \frac{l}{día} \right)$$

$$Q_{AGD} = 4460,8 - 2218,4 \left( \frac{l}{día} \right)$$

$$Q_{AGD} = 2242,4 \left( \frac{l}{día} \right)$$

**VOLUMEN DE TRATAMIENTO**

Cálculo:

$$V_{tratamiento} = t_r * Q_{AGT}$$

$$Q_{AGT} = 2218,4 \left( \frac{l}{día} \right)$$

$$t_r = 2 \text{ horas} = 0,083 \text{ días}$$

$$V_{tratamiento} = 0,083 \text{ días} * 2218,4 \left( \frac{l}{día} \right)$$

$$V_{tratamiento} = 184,13 \text{ (l)}$$

**VOLUMEN DEL TANQUE DE CONTACTO**

$$V_{tanque\ contacto} = \% \text{ amortiguacion} * V_{max}$$

$$V_{tanque\ contacto} = 184,13 * 1,2 \text{ (l)}$$

$$V_{tanque\ contacto} = 220,96 \text{ (l)}$$

Por seguridad se adopta un volúmen de 250 l.

Dimensionamiento

$$V_{\text{tanque contacto}} = \pi r^2 h$$

Donde

$$d = 2r$$

$$h = d$$

$$V_{\text{tanque contacto}} = \pi r^2 2r$$

$$V_{\text{tanque contacto}} = 2\pi r^3$$

$$V_{\text{tanque contacto}} = 250 \text{ (l)} = 0,25 \text{ m}^3$$

Dimensiones

$$r = 0,34 \text{ m} \approx 0,5 \text{ m}$$

$$d \approx 1 \text{ m}$$

$$h \approx 1 \text{ m}$$

## TURBINA

Determinación de la potencia y tipo dispositivo.

Dimensiones

$$r = 0,5 \text{ m}$$

$$d \approx 1 \text{ m}$$

$$h \approx 1 \text{ m}$$

Es importante considerar que en la Figura 12 el diámetro está expresado en pies (1m = 3.28 pies), por lo tanto según los parámetros de diseño anteriormente determinados el diámetro del tanque de tratamiento es de 3,28 pies.

Se tomará las turbinas como dispositivo de mezcla en el sistema de tratamiento debido a su eficiencia de mezcla en líquidos de baja y alta viscosidad. Según esta consideración y en base a la Figura 12 se obtiene una potencia necesaria de 8 cv/1000 gal que es igual a 0,39 kWh  $\approx$  1 kWh

## TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Volumen de almacenamiento (l)

$$V_{Almacenamiento} = 2218,4 \text{ l}$$

Volumen del tanque de almacenamiento (l)

$$V_{tanque almacenamiento} = 2662,08 \text{ l} \approx 3000 \text{ l}$$

Dimensiones

$$r = 0,78 \text{ m} \approx 1 \text{ m}$$

$$d = 1,56 \text{ m} \approx 2 \text{ m}$$

$$h = 1,56 \text{ m}$$

