

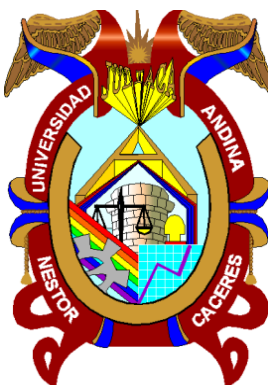


**UNIVERSIDAD ANDINA**

**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL**



**ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO  
FÍSICO QUÍMICO EN LA CALIDAD DEL  
AGUA GRIS DOMÉSTICA**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**Bach. KAREN VILLAVICENCIO ZAPANA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL**

**JULIACA PERÚ**

**2024**



**UNIVERSIDAD ANDINA**

**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL**

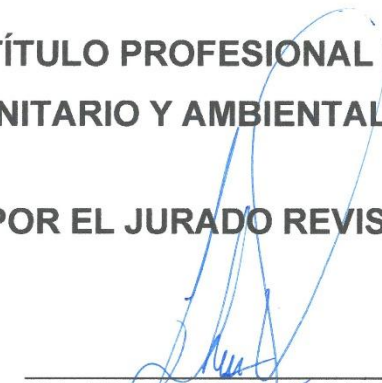
**ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO  
FÍSICO QUÍMICO EN LA CALIDAD DEL  
AGUA GRIS DOMÉSTICA**

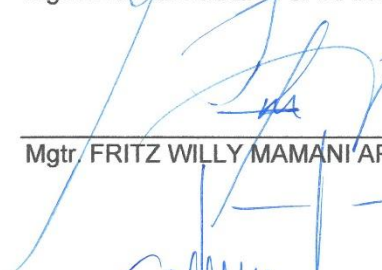
**TESIS PRESENTADA POR:**

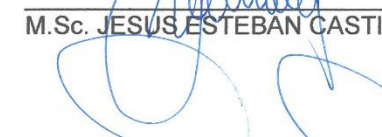
**Bach. KAREN VILLAVICENCIO ZAPANA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL**

**APROBADA POR EL JURADO REVISOR:**

**PRESIDENTE** :   
Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

**PRIMER MIEMBRO** :   
Mgtr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA

**SEGUNDO MIEMBRO** :   
M.Sc. JESUS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

**ASESOR** :   
Ing. WILFREDO DAVID SUPO PACORI

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: SANEAMIENTO AMBIENTAL – P22**



## UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

### RESOLUCIÓN DECANAL N° 505-2024-D-FICP-UANCV

Juliaca, 11 de noviembre de 2024

#### **VISTOS:**

El **OFICIO N° 074-2024-D/EPISA/FICP-UANCV** del Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y Resolución Decanal N°486-2024 de fecha 25 de octubre de 2024 sobre la aprobación del Informe Final del trabajo de Investigación (tesis) titulado: **ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO FÍSICO QUÍMICO EN LA CALIDAD DEL AGUA GRIS DOMÉSTICA**; y el trámite solicitado por el Bachiller en **Ingeniería Sanitaria y Ambiental** y;

#### **CONSIDERANDO:**

Que, el Bachiller: **KAREN VILLAVICENCIO ZAPANA**; ha solicitado fecha y hora para efectuar la sustentación del Informe Final del Trabajo de Investigación (tesis) titulado: **ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO FÍSICO QUÍMICO EN LA CALIDAD DEL AGUA GRIS DOMÉSTICA**, para rendir el examen de sustentación del trabajo de Investigación (tesis) y optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**, y;

Que, los Jurados designados por el Director y el Responsable del Comité de Investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, de la FICP, están integrados por los siguientes Docentes;

* <b>Presidente</b>	:	<b>Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES</b>
* <b>1er Miembro</b>	:	<b>Dr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA</b>
* <b>2do Miembro</b>	:	<b>M.Sc. JESUS ESTEBAN CASTILLO MACHACA</b>
* <b>Asesor</b>	:	<b>Ing. WILFREDO DAVID SUPO PACORI</b>

De conformidad al Reglamento de aseguramiento de calidad de trabajos de investigación, con fines de obtención de grados académicos y títulos profesionales de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

#### **RESUELVE:**

**ARTICULO PRIMERO.** - **APROBAR** Lugar, Día y Hora para que el (la) bachiller: **KAREN VILLAVICENCIO ZAPANA**; rendirá el Examen de Sustentación del Informe Final del Trabajo de Investigación (tesis) titulado **ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO FÍSICO QUÍMICO EN LA CALIDAD DEL AGUA GRIS DOMÉSTICA**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental** de acuerdo al siguiente detalle:

* <b>FECHA</b>	:	miércoles 13 de noviembre de 2024
* <b>HORA</b>	:	08:00
* <b>LUGAR</b>	:	Aula 306 - pabellón de hidráulica

**ARTICULO SEGUNDO.** - La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, el Director y el responsable del comité de investigación de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental**, quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

  
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS  
Dr. MILTHON QUISPE HUANCA  
DECANO  
CIP. 47790

  
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS  
Dr. EFRAIN PARILLO SOSA  
SECRETARIO ACADÉMICO  
CIP. 35531

C.c.  
Arch. 2024  
Interesado  
Escuela Profesional



**UNIVERSIDAD ANDINA  
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 651-2023-D-FICP-UANCV**

Juliaca, 20 de julio 2023

**VISTOS:**

El, **INFORME N° 315-2023-D-UI-FICP.UANCV** del Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, **INFORME DE OPINIÓN TÉCNICA N° 045-2023-UI-CI-EPISA-FICP-UANCV** del responsable del Comité de Investigación, la **opinión técnica N° 002-2023-UANCV-FICP-UI-CI** del presidente del sub comité de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental** y el **ACTA DE REGISTRO DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN** según reglamento interno de aseguramiento de la calidad de trabajos de investigación de fecha **12 de julio de 2023**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental, con el tema titulado: **ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO FÍSICO QUÍMICO EN LA CALIDAD DEL AGUA GRIS DOMÉSTICA.**

**CONSIDERANDO:**

Que, el (la) Bachiller: **KAREN VILLAVICENCIO ZAPANA**, ha presentado su Proyecto de Investigación Titulado: **ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO FÍSICO QUÍMICO EN LA CALIDAD DEL AGUA GRIS DOMÉSTICA**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental.**

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento de Aseguramiento de la Calidad de Trabajos de Investigación, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales y el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras; el responsable del Comité de Investigación de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental**, Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, nominó a la sub comisión de evaluación de Proyecto de Investigación, a los siguientes Docentes:

- \* **Presidente** : **Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES**
- \* **1er Miembro** : **Dr. CESAR JULIO LARICO MAMANI**
- \* **2do Miembro** : **Ing. JAVIER ARTURO BOJORQUEZ GANDARILLAS**

Que, la sub comisión de evaluación ha concluido aprobar sin observación el Proyecto de Investigación titulado: **ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO FÍSICO QUÍMICO EN LA CALIDAD DEL AGUA GRIS DOMÉSTICA**, y;

Que, es requisito indispensable contar con un Docente Ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de magister y experiencia en la línea a investigar, que será el asesor de Proyecto de Investigación, y;

**Estando**, en la opinión favorable del Director de la Unidad de Investigación y en concordancia al Reglamento de Aseguramiento de la Calidad de Trabajos de Investigación, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales y el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, el **PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el (la) Bachiller: **KAREN VILLAVICENCIO ZAPANA**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**, con el Tema Titulado: **ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO FÍSICO QUÍMICO EN LA CALIDAD DEL AGUA GRIS DOMÉSTICA.**

La misma que deberá proceder con la ejecución del Proyecto de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Aseguramiento de la Calidad de Trabajos de Investigación, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales y el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER** como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a la) docente ordinario, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, **Ing. WILFREDO DAVID SUPO PACORI.**

**ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

cc.  
archivo 2023  
interesado (a)

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
Mgtr. MILTHON QUISPE HUANCA  
DECANO  
CIP. 47790

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
Dr. EFRAIN PARILLO SOSA  
SECRETARIO ACADÉMICO  
CIP/ 95531



**UNIVERSIDAD ANDINA**  
**"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 486-2024-D-FICP-UANCV**

Juliaca, 25 de octubre de 2024

**VISTOS:**

El **INFORME N° 168-2024-D-EPIC-FICP-UANCV-J**, del Director Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias, **INFORME N° 027-2024-UI-CI-EPISA-FICP-UANCV** del Presidente del Sub Comité de Evaluación de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, **RESOLUCIÓN DECANAL N° 651-2023-D-FICP-UANCV** que aprueba el Proyecto de Investigación el **20 de julio de 2023** y el acta de revisión y calificación del Trabajo de Investigación (tesis) de fecha **09 de octubre de 2024** para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental, con el tema titulado: **ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO FÍSICO QUÍMICO EN LA CALIDAD DEL AGUA GRIS DOMÉSTICA**.

**CONSIDERANDO:**

Que, el (la) Bachiller: **KAREN VILLAVICENCIO ZAPANA**, ha presentado su Trabajo de Investigación (tesis) Titulado: **ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO FÍSICO QUÍMICO EN LA CALIDAD DEL AGUA GRIS DOMÉSTICA**.

Que, habiendo procedido de acuerdo al Reglamento de Aseguramiento de la Calidad de Trabajo de Investigación, con fines de la obtención de Grados Académicos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, el Director y el Responsable del Comité de Investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, nominó a la sub comisión de evaluación de trabajo de investigación, a los siguientes Docentes:

- \* **Presidente** : **Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES**
- \* **1er Miembro** : **Mgtr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA**
- \* **2do Miembro** : **M.Sc. JESUS ESTEBAN CASTILLO MACHACA**

Que, el Sub Comité de evaluación ha aprobado en su integridad el Trabajo de Investigación (tesis) titulado: **ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO FÍSICO QUÍMICO EN LA CALIDAD DEL AGUA GRIS DOMÉSTICA**.

Que, la Oficina de Investigación ha aprobado con el Dictamen N° 721-2024, la originalidad del trabajo de investigación (tesis) titulado: **ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO FÍSICO QUÍMICO EN LA CALIDAD DEL AGUA GRIS DOMÉSTICA**.

Estando, conforme a la **RESOLUCIÓN DECANAL N°064-2019-CF-FICP-UANCV** de fecha 02 de octubre de 2019 donde aprueba el reglamento de aseguramiento de calidad de trabajos de investigación, con fines de obtención de grados académicos y títulos profesionales a la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, que consta de XI capítulos y 71 artículos, y;

**Estando**, en la opinión favorable del Director de la Unidad de Investigación y en concordancia al Reglamento de Aseguramiento de la Calidad de Trabajos de Investigación, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

**ARTICULO PRIMERO.- APROBAR**, el informe final de **TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (Tesis)**, del Bachiller: **KAREN VILLAVICENCIO ZAPANA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental, con el Tema Titulado: **ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO FÍSICO QUÍMICO EN LA CALIDAD DEL AGUA GRIS DOMÉSTICA**.

La misma que deberá proceder a la impresión de su borrador de Trabajo de Investigación en limpio, de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Aseguramiento de la Calidad de Trabajos de Investigación, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras - Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.

**ARTICULO SEGUNDO.- RECONOCER**, como asesor del Trabajo de Investigación (tesis) al docente ordinario de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, al **Ing. WILFREDO DAVID SUPO PACORI**.

**ARTICULO TERCERO.-** La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, el Director y el responsable del comité de investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese,

  
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS  
Dr. MILTHON QUISPE HUANCA  
DECANO  
CIP. 47790

  
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS  
Dr. EFRAÍN PARILLO SOSA  
SECRETARIO ACADÉMICO  
CIP/95531

C.c.  
archivo 2024  
interesado (a)



UNIVERSIDAD ANDINA  
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 458-2024-D-FICP-UANCV**

Juliaca, 03 de octubre de 2024

**VISTOS.-**

El **OFICIO N° 061-2024-D/EPISA/FICP-UANCV**, del Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental** y el proveído del Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, sobre el pedido de cambio de miembro (s) del sub comité de evaluación del **Proyecto de Investigación**, del Bachiller: **KAREN VILLAVICENCIO ZAPANA** para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental, con el tema titulado: **ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO FÍSICO QUÍMICO EN LA CALIDAD DEL AGUA GRIS DOMÉSTICA**, y;

**CONSIDERANDO:**

Que, el (la) Bachiller: **KAREN VILLAVICENCIO ZAPANA** ha solicitado cambio del **primer miembro** de la terna del sub comité de evaluación del **Proyecto de Investigación**, titulado: **ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO FÍSICO QUÍMICO EN LA CALIDAD DEL AGUA GRIS DOMÉSTICA** aprobado con la **RESOLUCIÓN DECANAL N°651-2023-D-FICP-UANCV** de fecha 20 de julio de 2023; conformado por los siguientes Docentes:

- ❖ **Presidente** : Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
- ❖ **1er. Miembro** : Dr. CESAR JULIO LARICO MAMANI
- ❖ **2do. Miembro** : M.Sc. JESUS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

Que; el Director y el responsable del comité de investigación de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental** ha tomado conocimiento el cambio del **primer miembro** ha solicitud del interesado en la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental**, por lo que ha determinado proceder con el sorteo para el cambio de la terna de la sub comisión de evaluación del **Proyecto de Investigación**, conforme lo establece el Reglamento de aseguramiento de calidad de trabajos de investigación, con fines de obtención de grados académicos y títulos profesionales de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, y;

Estando, a los documentos de **VISTOS**, mediante el cual informa la designación de la nueva terna de la sub comisión de evaluación; el mismo que deberá actuar según el Reglamento de aseguramiento de calidad de trabajos de investigación, con fines de obtención de grados académicos y títulos profesionales de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**Estando**, en la opinión favorable del Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, el Director y el responsable del Comité de Investigación de la escuela profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, en concordancia al Reglamento de aseguramiento de calidad de trabajos de investigación, con fines de obtención de grados académicos y títulos profesionales de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

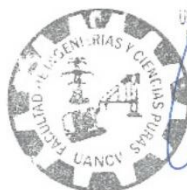
**ARTICULO PRIMERO.** - **APROBAR**, el cambio del **primer miembro** de la Terna del sub comité de evaluación del **Proyecto de Investigación** presentado por el bachiller: **KAREN VILLAVICENCIO ZAPANA**, titulado: **ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO FÍSICO QUÍMICO EN LA CALIDAD DEL AGUA GRIS DOMÉSTICA**, para optar el título profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental** quedando la conformación del sub comité de evaluación de la siguiente forma:

- ❖ **Presidente** : Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
- ❖ **1er. Miembro** : Mgtr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA
- ❖ **2do. Miembro** : M.Sc. JESUS ESTEBAN CASTILLO MACHACA
- ❖ **Asesor (a)** : Ing. WILFREDO DAVID SUPO PACORI

**ARTICULO SEGUNDO.** - **Disponer** a los miembros de la sub comisión de evaluación designados, dar continuidad al trámite de evaluación y calificación del proyecto de investigación, borrador de trabajo de investigación o sustentación del trabajo de investigación, según sea el caso que se encuentre cada expediente. Quedando valido en sus demás disposiciones la Resolución Decanal de aprobación de proyecto de investigación, que se mencionan en el considerando.

**ARTICULO TERCERO.** - La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, el responsable de investigación y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental**, el Secretario Académico de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

Dr. MILTHON QUISPE HUANCA  
DECANO  
CIP. 47790



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

Dr. EFRAIN PARILLO ROSA  
SECRETARIO ACADÉMICO  
CIP. 55531



UNIVERSIDAD ANDINA  
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 137-2024-D-FICP-UANCV**

Juliaca, 24 de abril de 2024

**VISTOS.-**

El OFICIO N° 023-2024-D/EPISA/FICP-UANCV, del Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental y el proveído del Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, sobre el pedido de cambio de miembro (s) del sub comité de evaluación del Proyecto de Investigación, del Bachiller: **KAREN VILLAVICENCIO ZAPANA** para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental, con el tema titulado: **ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO FÍSICO QUÍMICO EN LA CALIDAD DEL AGUA GRIS DOMÉSTICA**, y;

**CONSIDERANDO:**

Que, el (la) Bachiller: **KAREN VILLAVICENCIO ZAPANA** ha solicitado cambio del segundo miembro de la terna del sub comité de evaluación del Proyecto de Investigación, titulado: **ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO FÍSICO QUÍMICO EN LA CALIDAD DEL AGUA GRIS DOMÉSTICA** aprobado con la RESOLUCIÓN DECANAL N° 651-2023-D-FICP-UANCV de fecha 20 de julio de 2023; conformado por los siguientes Docentes:

- ❖ **Presidente** : Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
- ❖ **1er. Miembro** : Dr. CESAR JULIO LARICO MAMANI
- ❖ **2do. Miembro** : Ing. JAVIER ARTURO BOJORQUEZ GANDARILLAS

Que; el Director y el responsable del comité de investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental ha tomado conocimiento que él, segundo miembro no tiene vínculo laboral en la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, por lo que ha determinado proceder con el sorteo para el cambio de la terna de la sub comisión de evaluación del Proyecto de Investigación, conforme lo establece el Reglamento de aseguramiento de calidad de trabajos de investigación, con fines de obtención de grados académicos y títulos profesionales de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, y;

Estando, a los documentos de VISTOS, mediante el cual informa la designación de la nueva terna de la sub comisión de evaluación; el mismo que deberá actuar según el Reglamento de aseguramiento de calidad de trabajos de investigación, con fines de obtención de grados académicos y títulos profesionales de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

Estando, en la opinión favorable del Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, el Director y el responsable del Comité de Investigación de la escuela profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, en concordancia al Reglamento de aseguramiento de calidad de trabajos de investigación, con fines de obtención de grados académicos y títulos profesionales de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

**ARTICULO PRIMERO.** - APROBAR, el cambio del segundo miembro de la Terna del sub comité de evaluación del Proyecto de Investigación presentado por el bachiller: **KAREN VILLAVICENCIO ZAPANA**, titulado: **ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO FÍSICO QUÍMICO EN LA CALIDAD DEL AGUA GRIS DOMÉSTICA**, para optar el título profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental quedando la conformación del sub comité de evaluación de la siguiente forma:

- ❖ **Presidente** : Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
- ❖ **1er. Miembro** : Dr. CESAR JULIO LARICO MAMANI
- ❖ **2do. Miembro** : M.Sc. JESUS ESTEBAN CASTILLO MACHACA
- ❖ **Asesor (a)** : Ing. WILFREDO DAVID SUPO PACORI

**ARTICULO SEGUNDO.** - Disponer a los miembros de la sub comisión de evaluación designados, dar continuidad al trámite de evaluación y calificación del proyecto de investigación, borrador de trabajo de investigación o sustentación del trabajo de investigación, según sea el caso que se encuentre cada expediente. Quedando valido en sus demás disposiciones la Resolución Decanal de aprobación de proyecto de investigación, que se mencionan en el considerando.

**ARTICULO TERCERO.** - La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, el responsable de investigación y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, el Secretario Académico de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese

CC:  
Archivo 2024  
Interesado (a)

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y C. PURAS

  
DR. MILTHON QUISPE HUANCA  
DECANO  
CIP. 47790

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y C. PURAS

  
EFRAÍN PARILLO SOSA  
SECRETARIO ACADÉMICO  
CIP. 95631



## ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO FÍSICO QUÍMICO EN LA CALIDAD DEL AGUA GRIS DOMÉSTICA

### INFORME DE ORIGINALIDAD

17%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	2%
2	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	1%
3	<a href="http://repositorio.unfv.edu.pe">repositorio.unfv.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="http://repositorio.unal.edu.co">repositorio.unal.edu.co</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="http://editorial.inudi.edu.pe">editorial.inudi.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
6	Submitted to Universidad de Guayaquil Trabajo del estudiante	<1%
7	<a href="http://repositorio.unbosque.edu.co">repositorio.unbosque.edu.co</a> Fuente de Internet	<1%
8	<a href="http://repositorio.upct.es">repositorio.upct.es</a> Fuente de Internet	<1%



## Metadatos complementarios



Título de la Tesis	
ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO FÍSICO QUÍMICO EN LA CALIDAD DEL AGUA GRIS DOMÉSTICA	
<b>Datos de autor</b>	
Nombres y apellidos	KAREN VILLAVICENCIO ZAPANA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	70109460
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0009-0005-7903-9112">https://orcid.org/0009-0005-7903-9112</a>
<b>Datos de asesor</b>	
Nombres y apellidos	WILFREDO DAVID SUPO PACORI
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02428673
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0000-0003-4821-3825">https://orcid.org/0000-0003-4821-3825</a>
<b>Datos del jurado</b>	
<b>Presidente del jurado</b>	
Nombres y apellidos	FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02442876
<b>Miembro del jurado 1</b>	
Nombres y apellidos	FRITZ WILLY MAMANI APAZA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02306659
<b>Miembro del jurado 2</b>	
Nombres y apellidos	JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	01323821

Datos de investigación	
Línea de investigación	Saneamiento Ambiental – P22
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	<p> <b>País:</b> Perú  <b>Departamento:</b> Puno  <b>Provincia:</b> San Román  <b>Distrito:</b> Juliaca  <b>Coordenadas:</b>  <b>Latitud:</b> 15°24'27"S  <b>Longitud:</b> 70°07'37"O  <b>URL Maps:</b>  <a href="https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1qUDWgRX2omqh-JiCYxIvZ4FR-bEKqWI&amp;usp=sharing">https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1qUDWgRX2omqh-JiCYxIvZ4FR-bEKqWI&amp;usp=sharing</a> </p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Agosto 2024 - Octubre 2024
URL de disciplinas OCDE	<p><b>Ingeniería ambiental</b>  <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.00">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.00</a></p> <p><b>Ciencias del medio ambiente</b>  <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.08">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.08</a></p>
<p> <a href="https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html">https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html</a>            Librería         </p>	

DIRECTOR  
 Dr. Efraín Rajillo Sosa  
 UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



## DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo KAREN VILLAVICENCIO ZAPANA, identificado con DNI

Nro. **70109460**, en mi condición de egresado de:

- Escuela Profesional**
- Programa de Segunda Especialidad,**
- Programa de Maestría o Doctorado**

### INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL,

informo que he elaborado el/la  **Tesis** o  **Trabajo de Investigación,**  **Trabajo Académico** denominada:

### **ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO FÍSICO QUÍMICO EN LA CALIDAD DEL AGUA GRIS DOMÉSTICA**

Asesorado por: Ing. WILFREDO DAVID SUPO PACORI

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 10 de diciembre del 2024



Firma del Asesor  
(obligatoria)



Firma del Estudiante  
(obligatoria)



Huella



## DEDICATORIA

A mis queridos abuelos, Ricardo y Juan, quienes ya no están físicamente entre nosotros, pero cuyo amor y enseñanzas continúan guiándome cada día. Su sabiduría, bondad y fortaleza han dejado una huella imborrable en mi vida. Este trabajo es un homenaje a su memoria y a todo lo que me enseñaron.

A ti, Gabriel, por ser mi compañero de vida, mi amigo y mi guía en los momentos más difíciles. Gracias por tu apoyo incondicional, por cada palabra de aliento y por estar siempre a mi lado, incluso cuando las circunstancias parecían complicadas. Tu ejemplo de esfuerzo, perseverancia y dedicación me ha inspirado a seguir adelante y alcanzar esta meta. Este logro es tanto mío como tuyo, y no habría sido posible sin tu presencia. Con todo mi amor y gratitud, te dedico esta tesis.

A mi fiel y querida compañera, Sasy. Tu amor incondicional y lealtad han sido una fuente constante de alegría y consuelo en mi vida. Este logro no estaría completo sin tu presencia, que ha hecho mis días más luminosos y mis momentos más llevaderos. Gracias por ser una parte tan especial de mi viaje. Esta tesis está dedicada a ti, con todo mi cariño.

A mis inseparables amigas, Angie y Sofía, quienes han estado a mi lado desde los días de colegio, compartiendo no solo los momentos de alegría, sino también los desafíos más difíciles. Su lealtad, apoyo incondicional, y amor han sido un pilar fundamental en mi vida. Gracias por cada risa, cada lágrima, y cada recuerdo que hemos construido juntas. Este logro es tan suyo como mío, porque su presencia ha sido mi mayor fortaleza.



## AGRADECIMIENTO

Primero y ante todo, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a Dios. Su guía y fortaleza me han sostenido a lo largo de este arduo camino. Sin Su amor y misericordia, este logro no habría sido posible.

A mis padres, Norma y Omar, mi más sincero agradecimiento. Su amor incondicional, apoyo constante y sacrificios a lo largo de mi vida han sido la base sobre la que se ha construido este logro. Su fe en mí y sus palabras de aliento me han dado la fuerza y la determinación necesarias para alcanzar este objetivo. Este trabajo es un reflejo del amor y la dedicación que me han brindado, y no podría haberlo logrado sin su respaldo inquebrantable. Gracias por ser mi mayor inspiración y mi mayor apoyo.

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a mi asesor de tesis, el Ing. David. Su orientación experta, paciencia y constante apoyo han sido fundamentales para la realización de este trabajo. Agradezco profundamente sus valiosas sugerencias, su tiempo y su dedicación, que han enriquecido mi investigación y me han permitido crecer tanto académica como personalmente. Su compromiso con mi desarrollo profesional ha sido una fuente de inspiración y motivación a lo largo de este proceso.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL .....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
RESUMEN .....	x
ABSTRACT .....	xi
INTRODUCCIÓN .....	xii

### CAPÍTULO I

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA .....	14
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.2.1. Problema general o pregunta general.....	15
1.2.2. Problemas específicos o preguntas específicas.....	15
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	16
1.3.1. Objetivo general .....	16
1.3.2. Objetivos específicos .....	16
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	16
1.4.1. Justificación teórica:.....	16
1.4.2. Justificación técnica: .....	17
1.4.3. Justificación social: .....	17
1.4.4. Justificación ambiental: .....	18
1.5. HIPÓTESIS .....	18
1.5.1. Hipótesis general .....	18
1.5.2. Hipótesis específicas .....	18
1.6. VARIABLES .....	19



1.6.1. Variable independiente .....	19
1.6.2. Variable dependiente .....	19
1.6.3. Indicadores .....	19
1.6.4. Operacionalización de variables.....	20

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	22
2.2. BASES TEÓRICAS .....	26
2.2.1. Tratamiento Físico .....	26
2.2.2. Tratamiento Químico.....	31
2.2.3. Calidad del agua gris doméstica.....	35
2.2.4. Caracterización del agua gris doméstica.....	38
2.2.5. Origen de las aguas grises domésticas .....	43
2.2.6. Contaminantes presentes en las aguas grises domésticas .....	43
2.2.7. Parámetros de la calidad del agua gris doméstica.....	46
2.2.9. Riesgos.....	53
2.2.10. Impacto ambiental y sanitario de las aguas grises domésticas no tratadas .....	54
2.2.11. Barreras en la reutilización de aguas grises domésticas .....	57
2.2.12. Escenarios globales de reutilización de aguas grises domésticas	61
2.3. MARCO CONCEPTUAL.....	67

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	68
----------------------------------	----



3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	69
3.3. ADAPTACION DE LA INVESTIGACIÓN.....	69
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	70
3.4.1. Población .....	70
3.4.2. Muestra.....	72
3.5. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.....	78
3.5.1. Procedimiento metodológico para el primer objetivo: Evaluar la influencia del prototipo en la mejora de la calidad del agua gris doméstica.....	78
3.6. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO PARA EL SEGUNDO OBJETIVO: EVALUAR Y COMPARAR LA EFECTIVIDAD DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS (1, 2, 3, 4 Y 5) EN LA MEJORA DE LA CALIDAD DEL AGUA GRIS DOMÉSTICA.....	89
3.6.1. Preparación de las Soluciones de Tratamiento.....	89
3.6.2. Aplicación de los Tratamientos .....	90
3.6.3. Parámetros de calidad del agua gris doméstica .....	91

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1. RESULTADOS DEL OBJETIVO 1 EVALUAR LA INFLUENCIA DE UN PROTOTIPO EN LA MEJORA DE LA CALIDAD DEL AGUA GRIS DOMÉSTICA.....	96
4.1.1. Uso del prototipo.....	96
4.2. RESULTADOS DEL OBJETIVO 2 EVALUAR Y COMPARAR LA EFECTIVIDAD DE DIFERENTES LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS (1,	



2, 3, 4 Y 5) EN LA MEJORA DE LA CALIDAD DEL AGUA GRIS DOMÉSTICA.....	100
4.2.1. Resultados de ph .....	102
4.2.2. Resultado de solidos totales en suspensión .....	104
4.2.3. Resultado de conductividad eléctrica.....	107
4.2.4. Resultado de color .....	109
4.2.5. Resultado de fosforo total .....	112
4.2.6. Resultado de cloro residual.....	114
4.2.7. Resultado de aceites y grasas .....	118
4.2.8. Resultado de dqp .....	120
4.2.9. Resultado de dbo .....	124
4.3. COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON LMP PROPUESTOS .....	126
CONCLUSIONES.....	170
RECOMENDACIONES .....	172
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	174
ANEXOS .....	190



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Operacionalización de variables</i> .....	20
Tabla 2 <i>Usos del agua gris doméstica</i> .....	70
Tabla 3 <i>Uso de agua gris por semana</i> .....	71
Tabla 4 <i>Uso de agua gris para muestra</i> .....	72
Tabla 5 <i>Coordenadas de lugar de muestreo</i> .....	73
Tabla 6 <i>Parámetros analizados</i> .....	74
Tabla 7 <i>Parámetros para el reuso de agua gris en lavado de autos</i> .....	92
Tabla 8 <i>Parámetros para el reusó de agua gris en riego de plantas ornamentales</i> .....	93
Tabla 9 <i>Parámetros para el reusó de agua gris en tanques de inodoro</i> .....	93
Tabla 10 <i>Parámetros para reusó de aguas grises domésticas</i> .....	94
Tabla 11 <i>Resultado de las 5 muestras con sulfato de aluminio a diferentes porcentajes</i> .....	101
Tabla 12 <i>Comparación de resultados del sistema de tratamiento integrado C-1 Quitosano C-2 Poliamina</i> . .....	103
Tabla 13 <i>Cuadro comparativo de aguas grises en las 4 casas con los parámetros recomendados para riego</i> .....	109
Tabla 14 <i>Comparación de resultados del sistema de tratamiento integrado C-1 Quitosano C-2 Poliamina</i> . .....	111
Tabla 15 <i>Cuadro comparativo de aguas grises en las 4 casas con los parámetros recomendados para riego</i> .....	114
Tabla 16 <i>Comparación de datos para lavado de autos</i> .....	164
Tabla 17 <i>Comparación de datos para plantas ornamentales</i> .....	166
Tabla 18 <i>Comparación de datos para uso en inodoros</i> .....	168



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Sistema integrado de tratamiento</i> .....	79
Figura 2 <i>Prototipo propuesto</i> .....	80
Figura 3 <i>Dimensiones Del Tanque De Almacenamiento</i> .....	81
Figura 4 <i>Tanque de almacenamiento real</i> .....	82
Figura 5 <i>Dimensiones Del Reactor</i> .....	83
Figura 6 <i>Reactor barnizado</i> .....	84
Figura 7 <i>Dimensiones Del Filtro De Arena</i> .....	85
Figura 8 <i>Filtro de arena barnizado</i> .....	86
Figura 9 <i>Dimensiones Del Filtro De Carbón</i> .....	87
Figura 10 <i>Filtro de carbón barnizado</i> .....	88
Figura 11 <i>Dimensiones del filtro de Rotoplas</i> .....	89
Figura 12 <i>Tanque de almacenamiento</i> .....	97
Figura 13 <i>Mezcla de sulfato de aluminio con el agua gris doméstica</i> .....	98
Figura 14 <i>Filtros de arena y carbón</i> .....	99
Figura 15 <i>Filtro de Rotoplas</i> .....	100
Figura 16 <i>Sulfato de aluminio-ph</i> .....	102
Figura 17 <i>Sulfato de aluminio-sólidos totales en suspensión</i> .....	105
Figura 18 <i>Sulfato de aluminio-conductividad eléctrica</i> .....	107
Figura 19 <i>Sulfato de aluminio-color</i> .....	110
Figura 20 <i>Sulfato de aluminio-fosforo total</i> .....	112
Figura 21 <i>Sulfato de aluminio-cloro residual</i> .....	115
Figura 22 <i>Reducción del cloro residual</i> .....	117
Figura 23 <i>Sulfato de aluminio-aceites y grasas</i> .....	118
Figura 24 <i>Sulfato de aluminio-DQO</i> .....	121



Figura 25 <i>Reducción de DQO</i> .....	122
Figura 26 <i>Sulfato de aluminio-DBO</i> .....	124



## RESUMEN

La investigación tiene como objetivo principal explicar cómo el tratamiento físico-químico, mediante la coagulación con sulfato de aluminio, sedimentación y filtración, mejora la calidad del agua gris doméstica para su reutilización. El estudio se realizó bajo un diseño experimental en un entorno controlado, aplicando diferentes dosificaciones de sulfato de aluminio (100, 200, 300, 400 y 500 mg/L) a muestras de agua gris doméstica provenientes de diversas fuentes. Se valoraron parámetros de calidad antes y después del tratamiento, como pH, sólidos totales suspendidos, conductividad eléctrica, color, fósforo total, aceites y grasas, cloro residual, demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO). Los resultados mostraron que la dosis de 500 mg/L fue la más efectiva para reducir los niveles de DQO de 1245 mg/L a 20.4 mg/L y de DBO de 845 mg/L a 8.85 mg/L, además de disminuir significativamente otros contaminantes como fósforo total, aceites y grasas, y color, logrando una mejora sustancial en la calidad del agua tratada. Sin embargo, algunos parámetros como la conductividad eléctrica mostraron un ligero aumento, lo que indica la necesidad de ajustar el proceso según el uso previsto. La conclusión general es que el tratamiento físico-químico con sulfato de aluminio es altamente efectivo para mejorar la calidad del agua gris, acercándola a estándares que permiten su reutilización en actividades domésticas e industriales como riego, lavado de autos y descarga de inodoros, contribuyendo así a la conservación de recursos hídricos y al desarrollo de soluciones sostenibles para el manejo del agua en regiones como Perú, donde el acceso al agua potable es limitado.

**Palabras Clave:** optimizar, efectividad, eficiencia, significativa.



## ABSTRACT

The main objective of the research is to explain how physicochemical treatment, by means of clot with aluminum sulfate, sedimentation and filtration, improves the quality of domestic gray water for reuse. The study was conducted under an experimental design in a controlled environment, applying different dosages of aluminum sulfate (100, 200, 300, 400 and 500 mg/L) to domestic gray water samples from different sources. Quality parameters were evaluated before and after treatment, such as pH, total suspended solids, electrical conductivity, color, total phosphorus, oils and fats, residual chlorine. The results showed that the 500 mg/L dose was the most effective in reducing COD levels from 1245 mg/L to 20.4 mg/L and BOD from 845 mg/L to 8.85 mg/L, in addition to significantly reducing other contaminants such as total phosphorus, oils and fats, and color, achieving a substantial improvement in the quality of the treated water. However, some parameters such as electrical conductivity showed a slight increase, indicating the need to adjust the process according to the intended use. The overall conclusion is that the physicochemical treatment with aluminum sulfate is highly effective in refining the quality of gray water, bringing it closer to standards that allow its reuse in domestic and industrial activities such as irrigation, car washing and toilet flushing, thus contributing to the preservation of water incomes and the expansion of sustainable solutions for water management in regions such as Peru, where access to potable water is limited.

**Key words:** optimize, effectiveness, efficiency, significant.



## INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso fundamental para la vida y el bienestar humano, y su gestión adecuada se ha convertido en un tema crítico en la actualidad. En este contexto, el agua gris, un subconjunto del agua doméstica, despierta un interés creciente debido a su potencial para ser reciclada y reutilizada de manera sostenible. El agua gris, que comprende las aguas residuales generadas en el hogar, excluyendo las aguas negras (aguas fecales), representa una valiosa fuente de recursos hídricos que, mediante un tratamiento adecuado, puede ser reutilizada para diversos fines domésticos, agrícolas e industriales.

El tratamiento de agua gris se ha convertido en un campo de investigación y desarrollo en constante evolución, con el propósito de mejorar su calidad y seguridad para su reutilización. Uno de los enfoques clave en este proceso es el tratamiento físico-químico, que implica la aplicación de procesos y productos químicos para eliminar impurezas, contaminantes y microorganismos presentes en el agua gris. Este enfoque promete no solo reducir la demanda de agua, sino también mitigar el impacto ambiental y contribuir a la conservación de recursos hídricos.

El presente estudio se enfoca en analizar la influencia del tratamiento físico-químico en la calidad del agua gris doméstica. Se busca comprender cómo este proceso puede mejorar la seguridad y aptitud del agua gris para su reutilización en diferentes contextos. A través de un riguroso análisis de parámetros de calidad y un examen de los resultados obtenidos, esta investigación pretende arrojar luz sobre la efectividad del tratamiento físico-químico y sus implicaciones en la gestión sostenible del agua gris.



Este estudio divide en capítulos: CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, Aquí se analiza la situación del problema desde una perspectiva internacional, donde se encuentran los problemas ante esto se plantearán interrogantes y se propondrán objetivos de investigación. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO, antecedentes, así como un marco conceptual. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN, así como los métodos y equipos utilizados. También presenta y muestra la población, describe cómo se realizó el esfuerzo de investigación y lo divide en objetivos propuestos. CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN, se llega a una conclusión basada en los datos recogido



## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

En nuestras viviendas, el consumo de agua dulce se distribuye de manera desigual, lo que resulta en la generación de diferentes tipos de agua residual. Según el estudio realizado por (Ranade & Bhandari, 2014), se destina el 24% del agua dulce para inodoros, el 20% para ducha, el 19% para grifos, el 17% para lavandería y el 20% para otros fines domésticos. Esta distribución desigual del consumo de agua dulce en nuestros hogares contribuye a la acumulación de aguas residuales, lo que puede tener consecuencias negativas en la calidad del agua y la salud.

Rivadavía Huamaní (2018) analiza la situación en Juliaca, destacando un problema común que se presenta en muchas ciudades del mundo. En la mayoría de las viviendas, el agua potable se utiliza para todas las actividades, pero no se cuenta con sistemas de separación para el agua residual, la cual es devuelta directamente a las alcantarillas. Esta práctica no solo resulta ineficiente, sino que también genera un consumo elevado de agua potable, afectando de manera significativa los recursos hídricos y el medio ambiente.



Es crucial considerar la implementación de sistemas eficientes y sostenibles que permitan reducir el consumo de agua y promuevan su conservación en los hogares, especialmente en actividades donde no se requiere agua de calidad potable. Una solución propuesta por diversos investigadores es la implementación de sistemas de reciclaje de aguas grises en las lavanderías, los cuales pueden ser utilizados para descargar los inodoros. Ranade y Bhandari (2014) destacan que esta práctica tiene el potencial de disminuir significativamente el uso de agua potable, mientras que Rivadavía Huamaní (2018) enfatiza su relevancia en el contexto de ciudades con escasez hídrica como Juliaca.

## 1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.2.1. Problema general

- ¿Cómo influye el tratamiento físico químico en la calidad del agua gris doméstica?

### 1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo influyen los procesos de coagulación, sedimentación y filtración del prototipo adaptado en la reducción de contaminantes y mejora de la calidad del agua gris doméstica?
- ¿Cuál de las variantes del tratamiento físico-químico (T1, T2, T3, T4, T5), basado en diferentes dosificaciones de sulfato de aluminio y procesos de filtración, es más efectiva para mejorar la calidad del agua gris doméstica destinada a la reutilización en inodoros, riego de plantas ornamentales y lavado de autos?



## 1.3. OBJETIVOS

### 1.3.1. Objetivo general

- Explicar la influencia del tratamiento físico-químico en la calidad de las aguas grises domésticas.

### 1.3.2. Objetivos específicos

- Evaluar la efectividad del prototipo adaptado, que incorpora procesos de coagulación, sedimentación y filtración, en la mejora de la calidad del agua gris doméstica.
- Comparar la efectividad del tratamiento físico-químico, basado en la dosificación de sulfato de aluminio (T1, T2, T3, T4, T5) y procesos de filtración, en la mejora de la calidad del agua gris doméstica para su reutilización en inodoros, riego de plantas ornamentales y lavado de autos.

## 1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.4.1. Justificación teórica:

Vishali et al. (2023) argumentan que el aumento de la demanda de agua, particularmente en los países en desarrollo, se atribuye principalmente al crecimiento poblacional. Según sus hallazgos, la demanda de agua crece a casi el doble de la tasa de crecimiento de las poblaciones, lo que resalta la necesidad urgente de reciclar el agua utilizada. Este planteamiento teórico enfatiza la importancia de implementar soluciones sostenibles para el manejo del agua, especialmente en regiones donde la demanda supera la capacidad de



oferta, planteando un desafío crítico para los recursos hídricos globales.

De acuerdo con el Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (Ceplan), se estima que para el año 2030, el 58% de las poblaciones se ubicará en áreas afectadas por el estrés hídrico, un fenómeno derivado de la crisis global del agua que se proyecta para el futuro. En este contexto, Perú figura entre los países de América Latina y el Caribe que enfrentarán mayores impactos. Asimismo, Ceplan destacó que esta problemática alcanzará un porcentaje significativo de la población para esa fecha”.

#### **1.4.2. Justificación técnica:**

Rivadavia Huamaní (2018) señala que, en Juliaca la mayoría de las casas están diseñadas para que se utilice agua potable para todas las actividades, pero el volumen de agua que ingresa al hogar regresa a las alcantarillas como aguas residuales sin ninguna medida de separación en la fuente. Esta situación plantea la necesidad de buscar sistemas eficientes y sostenibles libres del consumo excesivo de agua potable y su conservación en las casas que no tienen esta demanda de agua potable de calidad. Implementar sistemas de reciclaje de aguas grises en lavanderías para reducir el uso excesivo de agua y para la descarga de los inodoros.

#### **1.4.3. Justificación social:**

Se calcula que millones de personas no tienen acceso a agua potable ni a servicios de saneamiento adecuados. En el caso de Perú, la SUNASS (2016) reportó que 89 localidades carecen de Plantas de



Tratamiento de Aguas Residuales, lo que provoca que las aguas residuales sean vertidas directamente en los efluentes, sin ningún tipo de tratamiento. Esta problemática tiene un impacto significativo en la calidad de vida, especialmente en áreas urbanas. Por ello, es fundamental impulsar el uso sostenible del agua y promover sistemas eficientes de tratamiento de aguas residuales para mejorar las condiciones de vida.

#### **1.4.4. Justificación ambiental:**

La contaminación del agua y la degradación del suelo son consecuencias negativas que esta situación puede generar en el medio ambiente. Implementar un sistema de reciclaje de aguas grises, como el utilizado en lavanderías, puede disminuir significativamente el consumo de agua potable, ayudando a mitigar los impactos ambientales derivados del uso excesivo de este recurso. Sin embargo, el tratamiento insuficiente de las aguas residuales contribuye a la contaminación hídrica, lo que pone en riesgo la salud de las generaciones presentes y futuras.

### **1.5. HIPÓTESIS**

#### **1.5.1. Hipótesis general**

El tratamiento físico-químico de las aguas grises domésticas mejorará la calidad del agua al remover contaminantes, reducir la carga bacteriana y ajustar las propiedades físicas y químicas dentro de los límites aceptables para su reutilización o descarga segura

#### **1.5.2. Hipótesis específicas**

- El prototipo adaptado que incorpora procesos de coagulación, sedimentación y filtración mejora significativamente la calidad del agua gris doméstica.



- Entre las variantes del tratamiento físico-químico, la dosificación específica de sulfato de aluminio y el proceso de filtración correspondiente en T3 ofrecerán la mayor efectividad en la mejora de la calidad del agua gris doméstica, haciéndola adecuada para su reutilización en inodoros, riego de plantas ornamentales y lavado de autos.

## 1.6. VARIABLES

### 1.6.1. Variable independiente

- Tratamiento físico químico

### 1.6.2. Variable dependiente

Calidad de agua gris doméstica.

### 1.6.3. Indicadores

- Tipo de tratamiento
- Ph
- Solidos totales en suspensión
- Conductividad eléctrica
- Color
- Fosforo total
- Cloro residual
- Aceites y grasas
- Demanda química de oxígeno
- Demanda bioquímica de oxígeno



1.6.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 1

VARIABLES INDEPENDIENTES	DIMENSIONES	INDICADORES	TIPO DE VARIABLE
Tratamiento físico químico	Prototipo	Tratamiento Coagulación	Categórico Ordinal
	Sulfato de Aluminio	Tratamiento Filtración Tratamiento 1,2,3,4,5	
Variables Dependiente		Indicadores	Tipo de variable
Calidad del agua gris doméstica	Parámetros	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH</li> <li>• Sólidos Totales en Suspensión</li> <li>• Conductividad Eléctrica,</li> <li>• Color</li> <li>• Fosforo total</li> <li>• Cloro Residual,</li> <li>• Aceites y Grasas,</li> <li>• Demanda Química de Oxígeno,</li> <li>• Demanda Bioquímica de Oxígeno</li> </ul>	Categórico Ordinal
	tipos de reusó de aguas grises	Calidad 1,2,3	
Factores a controlar (V. intervinientes)			
Tipo de agua gris (sin tratar)		agua gris doméstica	Categórico Nominal
Volumen de los especímenes		80L	Numérica Continua



## **Grupo control**

- To: muestra inicial de agua gris sin ningún tipo de tratamiento
- Grupo experimental
- Tratamiento 1: uso del prototipo para el tratamiento físico y 100 mg/l de sulfato de aluminio en el tratamiento químico
- Tratamiento 2: uso del prototipo para el tratamiento físico y 200 mg/l de sulfato de aluminio en el tratamiento químico
- Tratamiento 3: uso del prototipo para el tratamiento físico y 300 mg/l de sulfato de aluminio en el tratamiento químico
- Tratamiento 4: uso del prototipo para el tratamiento físico y 400 mg/l de sulfato de aluminio en el tratamiento químico
- Tratamiento 5: uso del prototipo para el tratamiento físico y 500 mg/l de sulfato de aluminio en el tratamiento químico

## **Usos del agua gris tratada**

- Clase 1: reúso de agua para riego
- Clase 2: reúso de agua para lavado de autos
- Clase 3: reúso de agua para descarga de inodoros

## **Agua gris doméstica**

- Tipo 1: 80L de agua gris doméstica



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Vishali, S. (2023), en el artículo: An integrated treatment system consisting of coagulation and ultrafiltration membrane processes to purify domestic laundry wastewater [Depuración de agua residual de lavandería doméstica en un sistema de tratamiento integrado consistente en un proceso de coagulación y ultrafiltración por membranas] plantearon el **Objetivo**: Optimizar un sistema de tratamiento integrado para agua residual de lavanderías y evaluar su eficacia en la eliminación de contaminantes; **Método**: Se realizaron pruebas de coagulación y filtración en arena para optimizar las variables de tratamiento, como el tipo y la concentración de coagulante, la velocidad de mezcla y el pH. Se evaluó la eficacia del sistema integrado mediante la medición de la turbidez, el color y la concentración de sulfonato de alquilbenceno lineal residual (LAS); obteniendo los **Resultados**: El sistema integrado de tratamiento, que incluía coagulación, filtración en arena y adsorción, fue eficaz para la eliminación del contaminante del agua residual de lavanderías. La



concentración de turbidez, color y LAS se redujo significativamente después del tratamiento; finalmente llegaron a las **Conclusiones**: El sistema integrado de tratamiento fue eficaz para eliminar los contaminantes del agua residual de lavanderías. La optimización de las variables de tratamiento mejoró la eficacia del sistema. Se requieren más investigaciones para evaluar la viabilidad económica y la escalabilidad del sistema. **Brecha de investigación**: Se requieren más estudios para evaluar la posibilidad económica y la escalabilidad del sistema integrado de tratamiento. Además, se necesitan estudios adicionales para evaluar la exclusión de otros contaminantes, como los metales pesados, y para comparar la eficacia del sistema integrado con otros métodos de tratamiento.

Dhiman, P. (2022) en el artículo: Reuse of greywater generated from high rise educational building [Reutilización de aguas grises generadas por edificio educativo de gran altura]planteo **Objetivo**: Caracterizar las aguas grises recolectadas de diferentes fuentes en Chitkara University, Punjab, y determinar sus características básicas, como el pH, la BOD y la COD. Además, el estudio busco evaluar el tratamiento de las aguas grises utilizando un reactor que utiliza pellets de cobre y luz UV. **Método**: utilizo en el estudio la recolección de muestras de agua gris de diferentes fuentes, la realización de pruebas para determinar las características básicas del agua gris utilizando diferentes tecnologías. **Resultados**. se compararon con valores de control para determinar la efectividad del tratamiento. describe la comparación de los resultados obtenidos después del tratamiento de aguas grises utilizando



pellets de cobre y luz UV en un reactor de lecho fijo, los resultados incluyen pH, demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), DQO, alcalinidad, acidez, turbidez, OD, TDS y fosfato total (PO4) Los resultados se comparan con valores de control para determinar la efectividad del tratamiento. Los resultados muestran que el agua gris tiene un pH ligeramente alcalino y una alta demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) y DQO (10). Además, se encontraron niveles significativos de nitrato, nitrito, cloruro, sulfato y fosfato en el agua gris. Y indicaron que el tratamiento de aguas grises con pellets de cobre y UV en un reactor de lecho fijo puede reducir la DBO5 y la DQO. Puede mejorar la calidad de las aguas grises al reducir la turbidez y aumentar el OD en el agua tratada. En general, las **CONCLUSIONES** del estudio sugieren que el tratamiento del agua gris utilizando diferentes tecnologías puede mejorar la calidad del agua gris y promover su reutilización en diferentes contextos. Sin embargo, se necesitan más investigaciones para establecer la eficacia de diferentes tecnologías de tratamiento y su impacto en la calidad del agua gris.

Filali, M. (2022), en el artículo: Graywater as an alternative solution for sustainable water resources management: a review [Las aguas grises como solución alternativa para una gestión de los recursos hídricos: una revisión]planteo **Objetivo:** revisar el uso de aguas grises como una solución alternativa para la gestión sostenible de los recursos hídricos, así como los riesgos asociados con su reutilización, incluidos los riesgos ambientales y sanitarios. También se discuten los desafíos y beneficios relacionados con la reutilización de aguas grises en diferentes contextos,



como la agricultura, el saneamiento urbano y el uso doméstico **Método:** procesar y analizar la información proporcionada en la entrada de texto y generar una respuesta coherente y relevante en función de esa información. Utilizo algoritmos de aprendizaje automático y redes neuronales para comprender el contexto. **Resultados:** El documento se divide en varias secciones que abordan diferentes aspectos relacionados con la gestión sostenible de los recursos hídricos y la reutilización de aguas grises. La sección [1] describe un proyecto de demostración en el que se implementó un sistema de tratamiento de aguas grises en un edificio residencial en Berlín, Alemania. La sección [2] presenta una lista de referencias bibliográficas relacionadas con la calidad del agua y la reutilización de aguas grises. La sección [3] describe diferentes tecnologías de tratamiento de aguas grises, como reactores de lote secuencial y procesos de membrana. La sección [4] presenta los estándares de calidad del agua para diferentes usos, incluyendo la agricultura y la protección contra incendios. La sección [5] describe un estudio sobre el tratamiento de aguas grises en una residencia de estudiantes en Túnez utilizando un reactor de lote secuencial. Finalmente, la sección [6] presenta una lista de referencias bibliográficas adicionales sobre la reutilización de aguas grises. En general, el documento proporciona información útil sobre la gestión sostenible de los recursos hídricos y la reutilización de aguas grises en diferentes contextos **Conclusión** El presente documento ofrece informaciones sobre la gestión sostenible de los recursos hídricos y la reutilización de las aguas grises en diferentes ámbitos. Se presentan la formulación, las características y



las directrices vigentes para el tratamiento y la reutilización de las aguas grises, junto con los riesgos que conlleva dicha reutilización, como los riesgos medioambientales y para la salud. En este texto se detallan diversas tecnologías empleadas para el tratamiento de aguas grises, además de los estándares de calidad necesarios según sus distintos usos. También se abordan los desafíos y ventajas asociados a la reutilización de estas aguas en contextos como la agricultura, el saneamiento urbano y el ámbito doméstico. En términos generales, el documento busca destacar la importancia de considerar la reutilización de aguas grises como una solución alternativa para la gestión sostenible de los recursos hídricos, resultando especialmente útil para aquellos interesados en implementar sistemas de tratamiento y reaprovechamiento de este recurso.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. Tratamiento Físico**

(Samsami et al., 2020) Implica la eliminación de contaminantes emergentes sin cambiar las propiedades bioquímicas de los contaminantes. Por lo tanto, no considera ningún tipo de influencia sobre los agentes químicos o biológicos. Los tratamientos físicos generalmente son seguidos por tratamientos biológicos o químicos. Algunas estrategias comunes de tratamiento físico adoptadas son el cribado, el desnatado, el tratamiento térmico/de aireación, la adsorción y la tecnología basada en membranas y muchas otras. La técnica física se basa en la estrategia de transferencia de masa. Las principales ventajas del uso de técnicas físicas son que las técnicas son simples y flexibles, ya que traen equipos simples



y pueden adaptarse a diversas modalidades de tratamiento. Además, la generación de residuos sólidos es significativamente baja en comparación con las otras técnicas.

## **2.2.1.1. Tipos de tratamientos físicos**

### **2.2.1.1.1. Filtración**

Gross y cols. (2007) La filtración implica la eliminación de partículas que no se eliminan mediante procesos anteriores. En los sistemas de filtración, tanto los procesos físicos como los biológicos eliminan los sólidos; Sin embargo, esta revisión considera solo la eliminación física de sólidos porque ese es el método adoptado en la mayoría de los esquemas de tratamiento de aguas. Los medios de filtración pueden incluir arena, grava, malla fina, entre otros. estudiaron el rendimiento de un sistema de filtración en el tratamiento de aguas grises utilizando guijarros de 2 cm de espesor colocados sobre orificios de drenaje, seguidos de una capa intermedia de 12 cm de plástico como medio infiltrante y cubierta por una capa de turba. de 4 cm.

Dalahmeh et al. (2012) también investigaron el desempeño de un sistema de filtración que utiliza corteza de pino, carbón activado, espuma de poliuretano y arena. Finley et al. evaluaron un sistema de filtración gruesa seguido de una filtración lenta con arena con tiempos de retención hidráulica de 8 y 24 horas respectivamente. Desempeño de planta de tratamiento de aguas grises de manera económica para el desarrollo rural indio (sf) utilizó cáscara de coco, aserrín grueso, carbón, ladrillos y arena como materiales infiltrantes para tratar aguas grises.



Al-Hamaiedeh y Bino (2010) usaron una unidad de filtración de cuatro barriles en serie con gravas de 2 a 3 cm de diámetro, recolectando el efluente tratado en el barril final para riego.

Gross y cols. (2008) implementaron un sistema híbrido de filtración que utilizó una red de filtración de 130  $\mu\text{m}$ , un filtro de tabaco, un filtro de arena y electrólisis.

Zuma et al. (2009) emplearon un sistema de torre de mantillo en Sudáfrica, construido con mantillo, arena gruesa, grava fina y gruesa en una columna de plástico con una malla de acero inoxidable en la parte superior para eliminar partículas grandes. Entre los sistemas analizados, los filtros de corteza cumplieron con los criterios de pH para reutilización, mientras que los filtros de corteza y carbón cumplieron con los estándares de DBO5. Además, las tasas de eliminación de fósforo total fueron altas en los filtros de corteza, carbón y arena.

#### **2.2.1.1.2. Sedimentación**

La sedimentación es un proceso de tratamiento del agua cuyo objetivo principal es separar los sólidos suspendidos presentes en el líquido (¿Qué es la sedimentación del agua potable?, sf). Este procedimiento se basa en la ley de Stokes, que establece que las partículas más grandes o pesadas que el agua se sedimentan con mayor facilidad. Teoría de Sedimentación – Tratamiento del Agua, (2015).

En las plantas de tratamiento, la sedimentación se realiza después de los procesos de coagulación y floculación, durante los cuales los flocúlos formados se depositan en el fondo del tanque debido a su peso.



El agua clarificada se recoge en la parte superior del tanque y se envía al siguiente paso del tratamiento (¿Qué es la sedimentación del agua potable?, sf). Este proceso es crucial en el tratamiento de aguas residuales y potables, ya que elimina sólidos suspendidos, reduce los contaminantes, y puede disminuir la presencia de bacterias y virus (“Clarificación y Sedimentación”, sf).

### 2.2.1.1.3. Adsorción

El proceso de adsorción ha ganado popularidad debido a su rentabilidad para refinar tintes de alta concentración sin subproductos y la posibilidad de recuperación y reutilización. La capacidad y estructura de adsorción del adsorbente son críticas en su aplicación en una variedad de campos. La capacidad de adsorción, el volumen de los poros, el área de superficie específica y la distribución del tamaño de las partículas y los poros pueden influir en la eliminación del tinte. Para eliminar colorantes se han utilizado varios adsorbentes como zeolitas , alúmina , gel de sílice , carbón activado y otros

Mohammadi & Veisi, (2018) La zeolita es una arcilla adsorbente que se encuentra en la naturaleza. Ha ganado popularidad como una alternativa de bajo costo al adsorbente de carbón activado en el tratamiento de aguas residuales. Aunque la zeolita tiene una pequeña área de superficie específica, tiene una estructura porosa con un gran tamaño molecular. La adsorción de colorantes en zeolitas naturales está severamente limitada debido a sus límites de difusión. Para mejorar el rendimiento de adsorción de las zeolitas naturales, en el pasado se han probado muchos procedimientos de modificación, tales como



pretratamientos con ácido, alteración del tensioactivo y activación térmica de las zeolitas naturales. Para eliminar la colorante rodamina B, comúnmente se emplea zeolita 3A. Es capaz de eliminar el 90% de los contaminantes de rodamina B de los efluentes industriales. La alúmina es un gel cristalino que viene en varios tamaños, tiene apariencia granular y tiene una superficie de 200 a 300 metros cuadrados por gramo. La alúmina es un adsorbente prometedor para eliminar colores dispersos en el agua. En comparación con el óxido de aluminio, el gel de sílice es una estructura granulada porosa y no cristalina cuya superficie prolifera. El carbón activado es una sustancia homogénea con una gran superficie, tamaño microporoso y muestra resistencia a las emisiones. Como resultado, se emplea ampliamente como adsorbente en diversas operaciones industriales. Las ventajas de los nanomateriales incluyen un amplio espacio de adsorción, área de superficie específica, equilibrio de adsorción y baja resistencia a la difusión. Funciona admirablemente como adsorbente. Los investigadores utilizaron métodos respetuosos con el medio ambiente para sintetizar una amplia gama de nanomateriales, incluidos zinc, magnesio y titanio, sulfuro de zinc, óxidos metálicos, nanoquitosano y óxido de grafeno, entre otros materiales. Se produjeron nanopartículas de oro y nanotubos de carbono en solución acuosa en solución acuosa utilizando técnicas de microondas y pirólisis de carbono, respectivamente. Varios tamaños, formas y aplicaciones de nanopartículas de hexacianoferrato metálico como nanocatalizador para la descomposición y Se ha explorado la oxidación de colorantes de aminas aromáticas (Shanker et al., 2017).



## 2.2.2. Tratamiento Químico

Diamond et al., (2018). Significa el uso de productos químicos en una serie de reacciones para facilitar el proceso de desinfección de las aguas residuales. En la tecnología de tratamiento químico de aguas residuales, los contaminantes disueltos presentes en las aguas residuales se ven obligados a separarse añadiendo sustancias. En algunos casos, las técnicas de tratamiento mecánico y biológico de aguas residuales no son suficientes para acceder que el agua tratada ingrese a los cuerpos de agua, y aquí es donde entran en juego los métodos químicos de tratamiento de aguas. El tratamiento químico es un paso muy necesario en el tratamiento de algunos desechos agrícolas e industriales, ya que los contaminantes deben tratarse más a fondo. Algunas de las técnicas de tratamiento incluyen intercambio iónico, desinfección mediante cloración, luz ultravioleta (UV) y ozono, neutralización y precipitación. El método de precipitación implica la conversión de una sustancia previamente disuelta en una sustancia soluble que luego puede filtrarse.

### 2.2.2.1. Tipos de tratamientos químicos

#### 2.2.2.1.1. Coagulación

Ariffin et al., (2009). Se utilizó para lograr la máxima eliminación de la DQO, fósforo total (TP) y SST. Los colorantes de alto peso molecular se pueden eliminar con éxito mediante este proceso, seguido de sedimentación, flotación y filtración, respectivamente. Se utilizó ampliamente debido a su alta eficiencia, bajo costo y eliminación efectiva de tintes. Este proceso estaba relacionado con la adición de productos químicos a la agua residual para convertirlas en sólidos disueltos y



suspendidos de estado físico y mejorar su eliminación por sedimentación. El tipo de coagulante utilizado puede desempeñar un papel crucial en la eliminación de determinados contaminantes. El aluminio, el hierro y sus sales como cloruro de aluminio, alumbre, cloruro de hierro (III) y sulfato de hierro (II) se manejaron frecuentemente como coagulantes y también se utilizó biopolímero de quitosano como se indica en algunos informes. La principal ventaja de los métodos convencionales como la coagulación y la floculación fue la decoloración del agua al eliminar el tinte en lugar de descomponerlo parcialmente. Las limitaciones de este método es que no puede eliminar eficazmente algunos colorantes catiónicos de alta solubilidad y bajo peso molecular. La eliminación de lodos de la coagulación puede ser otra limitación asociada con este método.

La coagulación del agua son procesos que neutraliza los sólidos suspendidos cargados en el agua. Estos sólidos son partículas coloidales que tienen cargas negativas y se mantienen dispersas. Para desestabilizarlas, se añaden coagulantes o productos químicos con cargas positivas que contrarrestan las cargas de los sólidos.

Los principales coagulantes utilizados son el aluminio o las sales de hierro, que actúan a través del catión sobre los coloides del agua, neutralizando las cargas negativas antes de la precipitación. También pueden emplearse polielectrolitos catiónicos, productos de síntesis con cargas positivas que neutralizan directamente los coloides negativos.

### **Tipos de coagulación**

- Coagulación química: Este proceso se basa en la adición de

sustancias químicas al agua para desestabilizar las partículas en suspensión y favorecer el desarrollo de flóculos.

- **Coagulación electroquímica:** Este proceso utiliza una corriente eléctrica para generar coagulantes in situ a partir de electrodos metálicos. La coagulación electroquímica es una alternativa a la coagulación química tradicional y puede ser más eficiente y económica.

#### 2.2.2.1.1 Sulfato de Aluminio

Es un compuesto inorgánico ampliamente utilizado, especialmente como coagulante en el tratamiento de aguas. Su función principal es ayudar a eliminar impurezas suspendidas al inducir su aglomeración, facilitando su eliminación por sedimentación o filtración. Además, se usa en industrias como la fabricación de papel, la industria textil, y en procesos de purificación en la fabricación de productos como colorantes y cosméticos. *Sulfato de aluminio*, (2022)

En cuanto a su propiedad, el sulfato de aluminio se presenta como cristales blancos o polvo granulado, y es altamente soluble en agua, formando soluciones ácidas. Es eficaz a temperaturas de hasta 770°C y tiene un peso molecular de 342.15 g/mol. Sin embargo, su uso en el tratamiento de aguas debe hacerse con precaución, ya que puede alterar el pH del agua y tener impactos negativos en los ecosistemas acuáticos si se utiliza en exceso Connor, (2023)

Es importante manejarlo con equipo de protección personal, como guantes y gafas, ya que puede causar irritación en la piel y ojos, y su



ingestión o inhalación en grandes cantidades puede ser peligrosa. A pesar de sus beneficios, también existen alternativas más sostenibles en algunos casos, como coagulantes orgánicos, que podrían ser preferibles dependiendo del contexto y la aplicación.

### Impactos ambientales:

- **Alteración del pH:** Al utilizar sulfato de aluminio, se produce una disminución del pH del agua debido a la formación de ácido sulfúrico en pequeñas cantidades. Este efecto puede ser problemático si no se controla, afectando negativamente los ecosistemas acuáticos al modificar las condiciones de vida de organismos sensibles al pH.(Connor, 2023)
- **Residuos de aluminio:** Aunque el aluminio presente en el sulfato es generalmente seguro en las dosis recomendadas, cantidades excesivas pueden acumularse en el agua o en los sedimentos, afectando la calidad del agua y posiblemente la salud de los organismos acuáticos a largo plazo (Connor, 2023)
- **Producción del sulfato:** La fabricación de sulfato de aluminio implica el uso de recursos como bauxita o hidróxido de aluminio y ácido sulfúrico. Este proceso puede generar emisiones y residuos si no se realiza bajo estándares estrictos de sostenibilidad (Connor, 2023)
- **Biodiversidad:** Los cambios químicos en el agua tratados con sulfato de aluminio, como la alteración en la disponibilidad de nutrientes, pueden tener efectos indirectos en la biodiversidad acuática(Connor, 2023)



### Recomendaciones para minimizar los impactos:

- **Control de dosis:** Aplicar la cantidad exacta de sulfato para evitar desequilibrios químicos.
- **Neutralización del pH:** Incorporar mecanismos para ajustar el pH del agua después del tratamiento, como el uso de bases.
- **Sustitutos:** En ciertos casos, considerar coagulantes alternativos, como polímeros orgánicos, que pueden ser más sostenibles y menos agresivos para el medio ambiente.
- **Aplicaciones y precauciones:**

Además de su uso en el tratamiento de agua, el sulfato de aluminio es común en la industria del papel, textil y otras áreas. Sin embargo, su manipulación requiere equipo de protección personal debido a su capacidad irritante y la posibilidad de efectos nocivos en altas concentraciones.

#### 2.2.3. Calidad del agua gris doméstica.

Las aguas residuales resultantes de actividades como ducharse, cocinar, lavar platos, lavar ropa, bañarse y usar el fregadero, así como lavar la ropa y hacer jardinería, se denominan generalmente aguas grises: suelen contener champú, restos de pasta de dientes, aceites y detergentes, entre otros. No incluyen las aguas residuales de inodoros, urinarios o bidés ni ninguna otra fuente considerada de gran contaminación. La cantidad de aguas grises producidas puede oscilar entre el 50% y el 80% del suministro de agua dulce, según la población por día.

Se consideran aguas grises las aguas obtenidas de las aguas residuales de lavadoras, bañeras, duchas y lavabos, excluidas las aguas residuales de los sanitarios.

Las aguas grises generalmente se generan en el fregadero de la cocina, la ducha, la lavandería o la lavadora, la toma de CA, etc., que se envían como desechos. Samayamanthula et al., (2019)

### **2.2.3.1. Tipos de aguas grises domésticas**

#### **2.2.3.1.1. Aguas grises de baja carga contaminante**

Las aguas grises de baja contaminación se refieren a las provenientes de fuentes como la lluvia, el baño, la ducha, la limpieza de pisos y el lavado de lavabos. Estas no incluyen las aguas generadas en la cocina ni en la lavandería. Las aguas grises de bajo nivel de contaminación son menos biodegradables porque la fuente de las aguas grises de bajo nivel de contaminación es principalmente no biodegradable y consiste principalmente en jabón, champú, cabello, etc. La producción de aguas grises con baja carga de contaminantes puede provenir de baños públicos, lavabos de institutos, lavabos de albergues y duchas. Las aguas grises de baja carga contaminante se utilizan en varios estudios como combinación de baño y ducha, ducha y lavabo, y como fuente de ducha, limpieza de pisos, lavabo y agua de lluvia. Samayamanthula et al., (2019)

#### **2.2.3.1.2. Aguas grises con carga contaminante moderada**

En este caso, se trata de una mezcla de aguas grises con alta carga contaminante y otras con una contaminación más ligera. Esto genera un



nivel de contaminación que se encuentra intermedio entre las aguas grises de baja carga contaminante y aquellas con una alta carga de contaminación. Las aguas grises con una concentración alta y baja se combinan para dar las definiciones de lo que son las aguas grises con una carga contaminante moderada. Las aguas grises de la lavandería o la cocina más las duchas, los lavabos, la limpieza del suelo, etc. con una concentración baja de aguas grises son aguas grises con una carga contaminante moderada. Samayamanthula et al., (2019)

### **2.2.3.1.3. Aguas grises con alta carga contaminante**

También proceden de fuentes altamente cargadas de contaminantes y se clasifican como aguas grises de cocinas y lavanderías. Mientras que, en el presente estudio, las aguas grises de lavandería y/o cocina se presentan como aguas grises altamente cargadas de contaminantes. Las aguas grises provenientes de la lavandería y la cocina presentan altos niveles de parámetros químicos. En el caso de las aguas de lavandería, su composición principal incluye detergentes, mientras que las aguas de cocina contienen una elevada concentración de contaminantes y aceites, lo que las hace altamente biodegradables. Aunque las aguas grises con alta carga contaminante poseen un notable potencial contaminante, este es menor en comparación con el de las aguas grises mixtas. Este tipo de aguas también se analizan en diversos estudios y pueden generarse tanto en edificios residenciales (lavavajillas, fregaderos, lavadoras) como en instalaciones públicas (lavanderías de autoservicio, cocinas comunitarias). Prathapar et al., (2005)

#### **2.2.3.1.4. Aguas grises mixtas**

Se trata de aguas residuales que excluyen los residuos sanitarios. En estudios anteriores, las aguas grises mixtas incluían aguas grises con una carga contaminante moderada.

Pero es una mezcla de:

1. Aguas grises con una carga contaminante baja,
2. Aguas grises con una carga contaminante moderada
3. Aguas grises con una carga contaminante alta, tiene un mayor poder contaminante que otros tipos de aguas grises.
4. Las aguas grises mixtas tienen los parámetros físicos (pH, temperatura, turbidez), químicos (DBO5, DQO, SS) y microbiológicos (E. coli) más elevados.

#### **2.2.4. Caracterización del agua gris doméstica.**

La composición de las aguas grises es altamente variable y depende, en gran medida, del estilo de vida de los hogares, así como de los tipos y marcas de productos químicos utilizados para lavar ropa, limpiar y bañarse. Asimismo, las características del suministro de agua y el tipo de red de distribución desempeñan un papel importante en su composición. Estas variaciones pueden ser significativas, ya que dependen tanto del lugar como del momento, reflejando diferencias en los hábitos de uso del agua y en la cantidad vertida en cada caso. Las degradaciones químicas y biológicas dentro del sistema de transporte y almacenamiento también pueden influir en su composición. La composición general de las aguas grises incluye altas concentraciones de



materiales orgánicos y componentes básicos fácilmente biodegradables, que en gran medida se producen en los hogares. Estos incluyen nutrientes como los nitratos y todos sus derivados, el fósforo y sus derivados, pero otros incluyen compuestos orgánicos xenobióticos (XOC) y microbios biológicos como coliformes fecales, salmonella y constituyentes hidroquímicos generales. Sin embargo, estudios recientes han encontrado productos farmacéuticos, productos de salud y belleza, aerosoles, pigmentos y metales pesados tóxicos como Pb, Ni Cd, Cu, Hg ; en concentraciones apreciables en aguas grises. La presencia de estos contaminantes en las aguas grises es un indicio del aumento gradual del nivel de complejidad en la composición de las aguas grises. Prathapar et al., (2005)

#### **2.2.4.1. Características físicas**

Prathapar et al., (2005) Son constituyentes que están asociados con la apariencia física de las aguas grises e incluyen temperatura, turbidez, conductividad eléctrica y sólidos suspendidos, entre otros. Las aguas grises normalmente tienen un rango de temperatura de entre 18 y 35 ° C, y la temperatura bastante alta puede originarse en el agua caliente utilizada para la higiene personal y actividades de cocina. Estas altas temperaturas pueden favorecer el crecimiento microbiológico, lo cual es indeseable, y también provocar la precipitación de ciertos carbonatos y otras sales inorgánicas que tienden a volverse menos solubles a temperaturas elevadas. La concentración típica de sólidos suspendidos totales en aguas grises puede variar de 190 a 537 mg/L. Las aguas grises con gran parte del agua que se origina en la cocina y la lavandería



representan los valores relativamente altos de sólidos suspendidos totales (TSS), Esto puede deberse al lavado de ropa, zapatos, verduras, tubérculos, frutas y muchos otros que pueden contener arena, arcilla y otros materiales que podrían aumentar los SST. Los rangos registrados para la conductividad eléctrica en aguas grises están entre 14 y 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . La alta conductividad eléctrica se asoció principalmente con materiales disueltos en fuentes de agua subterránea y áreas con escasez de agua. Otra fuente de mayor conductividad eléctrica son los materiales de plomería viejos o de mala calidad que provocan la lixiviación en fuentes de aguas grises. El rango de turbidez registrado para las aguas grises está entre 19 y 444 NTU, y está influenciado principalmente por las actividades de uso del agua. Se espera que las aguas grises que tienen la mayoría de sus fuentes procedentes de la cocina y la lavandería se vuelvan más turbias debido a la presencia de materia suspendida. (Boyjoo et al., (2013)

#### **2.2.4.2. Características químicas**

Para identificar los diferentes componentes químicos de las aguas grises, es importante comprender las fuentes de los contaminantes. Los componentes químicos importantes de las aguas grises provienen de productos químicos utilizados para limpiar, cocinar y bañarse. El pH de las aguas grises puede variar mucho, ya que el pH y la alcalinidad del agua de suministro pueden variar. Por lo general, oscila entre 5 y 9. Las aguas grises provenientes de la lavandería suelen presentar valores elevados de pH, lo cual es característico debido a los materiales alcalinos presentes en los detergentes. Los principales componentes químicos de



estas aguas, originados en las actividades de lavado y limpieza, son los tensioactivos, que actúan como el ingrediente principal en la mayoría de los productos de limpieza. Pueden ser catiónicos o aniónicos, pero la mayoría de los productos de limpieza y lavandería son aniónicos. Los surfactantes catiónicos son generalmente de base salina e implican una fuente de amonio en las aguas grises. Otros componentes encontrados en las aguas grises implican nitratos y fosfatos que, según se informa, se derivan del aporte de amonio, surfactantes catiónicos y desinfectantes para ropa. Otros componentes, como el sodio, que también procede de las actividades de cocción y conservación en la cocina, también se pueden encontrar en niveles apreciables. Los jabones a base de sodio también aportan una cantidad significativa de sodio a las aguas grises. Otros aditivos, como los mejoradores, controlan la dureza del agua en los detergentes y también sirven como fuente principal de contaminantes de fosfato en las aguas grises. Nutrientes como el N y el P están asociados con las actividades de cocina y lavandería. Las fuentes de aguas grises con altas concentraciones de nutrientes se componen principalmente de una alta fracción de fuentes de cocina y lavandería. Los desechos de cocina son la fuente principal de nitrógeno en las aguas grises y oscilan entre 4 y 74 mg/L, mientras que los detergentes para lavar son la fuente principal de fosfatos que se hallan en las aguas grises, que también oscilan entre 4 y 14 mg/L. Boyjoo et al., (2013) .

Las aguas residuales, como la DBO5 y la DQO, muestran continuamente un predominio de la DQO sobre la DBO5. La biodegradabilidad de las aguas grises se caracteriza por la DBO5/DQO.



Esta relación indica la facilidad con la que las bacterias descomponen la materia orgánica en las aguas grises. En su mayoría, todos los tipos de aguas grises muestran una buena biodegradabilidad en términos de relaciones DBO 5 /DQO. Las proporciones promedio de DBO 5 /DQO en las aguas grises han oscilado entre 0,31 y 0,71, lo que es una indicación de que casi la mitad de la materia orgánica en las aguas grises es biodegradable. Sin embargo, otros estudios han registrado proporciones de hasta 4:1. El predominio de DQO sobre DBO 5 se ha debido en gran medida a la presencia de XOC que aumentan la DQO. Los XOC también pueden formarse mediante modificación parcial de sustancias químicas en el tratamiento químico o biológico de aguas grises. Los XOC son recalcitrantes a los protocolos de tratamiento convencionales y pueden acumularse fácilmente en plantas y animales y, posteriormente, representar riesgos para el medio ambiente natural identificaron 900 XOC potenciales en aguas grises basándose únicamente en los ingredientes de diferentes cosméticos y detergentes en Dinamarca. identificaron la presencia de antibióticos en las aguas grises que pueden provocar la proliferación de cepas de bacterias resistentes. También identificaron la presencia de benceno y 4-nitrofenol en aguas grises en concentraciones apreciables. En las aguas grises se han identificado otras sustancias peligrosas, como retardantes de llama bromados, aromáticos monocíclicos, hidrocarburos aromáticos policíclicos, ftalatos y triclosanos. Palmquist & Hanæus, (2005).



### 2.2.5. Origen de las aguas grises domésticas

Eriksson et al., (2002). La calidad de las aguas grises depende principalmente de la fuente de suministro de agua, el tipo de sistema de distribución de agua (fugas o formación de biopelícula en las paredes de las tuberías) y la actividad del hogar. Dependiendo de la fuente, las aguas grises se pueden clasificar en 2 categorías principales:

- Aguas grises con alta carga contaminante (por ejemplo, de lavandería y/o cocina)
- Aguas grises con baja carga contaminante (por ejemplo, de baños y/o lavabos)

Las aguas grises de cocina se producen en volúmenes bastante bajos con altos niveles de DQO y, por lo tanto, no se recomienda encarecidamente su reutilización. Informes anteriores recomendaron la aplicación de tratamientos biológicos para las aguas grises de la cocina, ya que contienen una gran cantidad de nutrientes que eleva la relación DQO: N:P más cerca del óptimo. Sin embargo, también puede ser necesario un tratamiento primario con trampas de aceite y grasa seguido de desinfección. Boyjoo et al., (2013).

### 2.2.6. Contaminantes presentes en las aguas grises domésticas

Generalmente, los AG se componen de materiales sólidos/contaminantes, minerales y metales, tensioactivos y microorganismos. Puede consistir en una amplia variedad de compuestos ácidos y alcalinos suspendidos, aceites, grasas y grasas. Además de la materia sólida orgánica, la AG también contiene nitrógeno (9–14%),



potasio (18–22%) y fósforo (20–32%). Además, también se pueden detectar en AG otros metales como sodio, magnesio, aluminio, calcio y azufre. Otros contaminantes que se han detectado recientemente en AG son metales pesados, compuestos xenobióticos, nitratos y fosfatos Joy et al., (2022).

Las bacterias patógenas, los protozoos, los virus y los helmintos pueden liberarse del cuerpo de las personas enfermas y entrar en las aguas grises. Además, los microorganismos pueden entrar en AG a través del lavado de manos después de ir al baño, del lavado de recién nacidos y niños pequeños durante el cambio de pañales y la limpieza, así como a través de verduras y carne crudas. Comprender la introducción, el destino y la transición de los microorganismos en un AG es un factor particularmente crucial. *Escherichia coli* se emplea con frecuencia como signo de contaminación fecal, por lo que analizar su presencia en AG podría revelar información importante sobre riesgos potenciales para la salud. Además, ciertos virus, como los enterovirus, puede propagarse en agua contaminada con heces. Microorganismos como bacterias (*Bifidobacterium adolescentis*, *Campylobacter jejuni*, *Lactobacilli* y *Bifidobacterium longum*), helmintos (*Necator americanus*, *Ancylostoma duodenale*, *Heterophyes heterophyes*, *Taenia saginata* y *Diphyllobothrium latum*), virus (*adenovirus*, *Echovirus*, *Coxsackievirus*, y *virus H.E*) y los protozoos (*Cyclospora cayatanensis*, *Encephalitozoon hellem*, *Cryptosporidium parvum*, *Entamoeba histolytica* y *Balantidium coli*) suelen estar presentes en AG. Además, la AG de los baños a veces tiene restos de orina, a pesar de que esto no debería estar sucediendo. Aunque



la orina puede poseer un alto nivel de nutrientes, su viabilidad para su reutilización enfrenta críticas desde perspectivas ambientales, higiénicas y sociales debido a la posible existencia de patógenos y otros contaminantes. Las tres enfermedades principales son la fiebre tifoidea ( *Salmonella typhi* ), la leptospirosis ( *Leptospira* ) y la esquistosomiasis urinaria ( *Schistosoma haematobium*). Joy et al., (2022).

Las aguas residuales de lavandería tienen alta turbidez, TDS, DQO , DBO5 y SST debido a la presencia de aceite y suciedad. Los surfactantes se descargan principalmente de las aguas residuales de lavandería y cocina, y son uno de los principales contribuyentes a los contaminantes AG. Los tensioactivos aniónicos como los alcoholes etoxisulfatos, los alquilsulfatos, LAS , etc. tienen excelentes propiedades de limpieza y se usan ampliamente en hogares de bajos ingresos debido a su accesibilidad y asequibilidad. Los tensioactivos se emplean a menudo para reducir la tensión superficial entre fases y son capaces de formar estructuras autoensambladas, lo que contribuye a la formación de micelas de tamaño nanométrico. Los detergentes tienen grupos fosfatos a gran escala que oscila entre 4 y 14 mg/L. Los tensioactivos (p. ej., tripolifosfato de sodio) son vitales para la formulación de detergentes. Estudios recientes han revelado que AG exhibe concentraciones elevadas de detergentes que contienen tensioactivos específicos, incluidos tensioactivos aniónicos (SDS), tensioactivos no iónicos (propilenglicol) y tensioactivos catiónicos (trimetilamina). Estos contaminantes de fosfato se propagan en AG debido a los mejoradores de detergentes conocidos como tensioactivos. Sin embargo, por debajo de 10 mg/L, ni los

tensoactivos aniónicos ni los no iónicos son perjudiciales para el crecimiento de los cultivos y las propiedades del suelo. Ullah et al., (2018)

### **2.2.7. Parámetros de la calidad del agua gris doméstica**

#### **2.2.7.1. Ph**

El pH del agua se calibra según el grado de acidez o alcalinidad actual en el agua. En el agua, las moléculas de H<sub>2</sub>O se dividen en dos iones: los iones o aniones hidroxilo (OH<sup>-</sup>) que tienen carga eléctrica negativa y los iones o cationes hidrógeno (H<sup>+</sup>) que tienen carga positiva. El agua se vuelve ácida cuando aumenta la concentración de iones H y alcalina cuando disminuye la concentración de iones H<sup>+</sup>. El valor del pH es el logaritmo negativo de la concentración de iones de hidrógeno.

$$\text{Thus Ph} = -\log_{10} (\text{H}) = \log_{10} 1/(\text{H})$$

$$\text{Para agua pura (H)} = 10^{-7}$$

El agua se vuelve ácida cuando crece la concentración de iones de hidrógeno (digamos, de 10<sup>-7</sup> a 10<sup>-5</sup>); en ese caso, el valor del pH disminuye de 7 a 5. Para el agua con más acidez, el valor del pH es cero, mientras que para el agua con mayor alcalinidad el valor del pH es 14. (Jacinto, s. f.)

#### **2.2.7.2. Sólidos totales en suspensión**

Se definen como un parámetro de calidad del agua que representa la cantidad de material suspendido en un volumen conocido de agua que puede quedar atrapado por filtración (Industriapedia, 2022). Los TSS, que son excesivos y dañinos porque tienden a absorber sustancias químicas tóxicas y metales pesados, están catalogados como contaminantes



convencionales según la Ley de Agua Limpia de los EE. UU. Los Sólidos Suspendidos Totales son un indicador clave para evaluar la calidad de cualquier muestra de agua, ya sea de origen oceánico o de aguas residuales.

Las partículas que quedan en el filtro después del secado y del pesaje se clasifican como TSS. Este tipo de medición suministra un peso seco real de los sólidos suspendidos.

Los altos niveles de TSS pueden afectar la turbidez, elevar la temperatura del agua y reducir los niveles de oxígeno disuelto. El agua se calienta más rápidamente debido a esta suspensión porque las partículas absorben más calor. También consumen más oxígeno, lo que sería muy perjudicial para los organismos acuáticos. Los sólidos en niveles más altos también bloquearán la luz, lo que reducirá la fotosíntesis en las plantas acuáticas y, a su vez, aumentará su demanda de oxígeno para la metabolización.

Además, los sólidos suspendidos en niveles altos pueden perjudicar el rendimiento del sistema de filtrado y el desgaste de equipos críticos y sistemas de tuberías. Las cantidades excesivas de sólidos suspendidos en lagos, ríos y arroyos pueden ser muy perjudiciales para el sistema ecológico.

### **2.2.7.3. Conductividad eléctrica**

Es un conductor de corriente eléctrica y se expresa en siemens por metro (S/m) en el Sistema Internacional de Unidades. La conductividad



del agua incrementa cuando la solución contiene electrolitos, que son sales disolventes. («¿Qué es la conductividad en el agua?», s. f.)

La conductividad del agua es una medida útil para monitorear procesos industriales y ambientales que influyen en la concentración de electrolitos en una solución. Además, permite evaluar la eficiencia de equipos de desmineralización, como los que utilizan ósmosis inversa, resinas de intercambio iónico.

El agua desionizada de alta calidad suele tener una conductividad de unos  $5,5 \mu\text{S}/\text{cm}$ . El agua potable típica se halla en el rango de 3.000 a  $15.000 \mu\text{S}/\text{cm}$ , el agua de mar está más cerca de los  $5 \text{ S}/\text{cm}$  ( $5.000.000 \mu\text{S}/\text{m}$ ). El dispositivo de medición digital utilizado midió  $5,5 \mu\text{S}/\text{m}$  para agua pura a una temperatura de 303 K. El agua no se halla de forma natural en este estado, por lo que este resultado solo se acerca bastante al valor esperado. El agua del grifo analizada midió  $430 \mu\text{S}/\text{m}$  y el agua salada del acuario midió más,  $8.320 \mu\text{S}/\text{m}$ .

#### 2.2.7.4. Color

El color del agua puede ser medido de dos maneras diferentes:

**Color aparente:** Es el color de un cuerpo de agua que se refleja desde la superficie del agua y consiste en el color de la luz reflejada por las partículas suspendidas en el agua (U.S. Geological Survey, s. f.).

**Color verdadero:** Se mide después de que se ha recolectado y purificado una muestra de agua (ya sea por centrifugación o filtración)

El agua pura no es incolora, sino que tiene un ligero tinte azul<sup>1</sup>. En la naturaleza, el agua puede tener diferentes colores dependiendo de los



materiales disueltos o suspendidos en ella. Los sedimentos y los materiales orgánicos pueden darle al agua un tono marrón o verde<sup>1</sup>. Si hay demasiado hierro presente, incluso el agua potable puede tener un tono marrón (*Water Color | U.S. Geological Survey, s. f.*).

### 2.2.7. Fosforo total

El fósforo total desempeña un papel crucial en el tratamiento de aguas grises (agua residual generada en actividad doméstica, como lavado de ropa, duchas y lavabos). Permíteme explicarte cómo se relaciona:

**Eutrofización y calidad del agua:** El fósforo es un nutriente clave para el crecimiento de plantas y microorganismos. Sin embargo, en exceso puede provocar la eutrofización. En aguas grises, la eliminación eficiente del fósforo es importante cuando existe riesgo de proliferación de algas y degradación del ecosistema acuático.

**Contenido de fósforo en aguas grises:** El agua residual urbanas típicas contienen entre 5 y 20 mg/l de fósforo total, de los cuales entre 1 y 5 mg/l son orgánicos y el resto inorgánicos. El contenido de fósforo es muy variable según la ciudad y el uso de detergentes sintéticos. Algunas ciudades tienen niveles superiores a 8 mg/l en el flujo de residuos.

**Eliminación del fósforo:** Para reducir la concentración de fósforo en aguas grises, se aplican técnicas como la precipitación química o la tecnología BPR (Biological Phosphorus Removal). La precipitación química implica la adición de coagulantes (como calcio, aluminio o hierro) para eliminar las formas inorgánicas del fosfato. Además, la acumulación



biológica también contribuye a la eliminación del fósforo (El tratamiento de fósforo en aguas residuales | Formación de ingenieros, s. f.).

#### 2.2.7.6. Cloro residual

El cloro ( $Cl_2$ ) no se halla de forma natural en el agua, sino que se añade al agua y a las aguas residuales para su desinfección (Eaton, 2005a). El cloro en sí es un gas tóxico, pero en solución acuosa diluida no es perjudicial para la salud humana. El residuo óptimo en el agua potable es de unos 0,2 mg/L. La concentración residual que se mantiene en el sistema de distribución de agua garantiza una buena calidad sanitaria del agua *Water and Wastewater Engineering*, (2010).

El cloro puede reaccionar con los compuestos orgánicos en el agua formando por tóxicos llamados trihalometanos o THM, que son carcinógenos como el cloroformo  $CHCl_3$ . El cloro residual normalmente se mide con un kit de prueba de comparador de color o un espectrofotómetro Eaton, (2005).

#### 2.2.7.7. Aceites y grasas

Grasas y aceites en las aguas grises El aceite y la grasa es otro parámetro importante en las aguas grises, ya que los fregaderos de cocina y las duchas de los cuartos de baño contribuyen a este contaminante. La concentración de aceite y grasa en un agua residual doméstica sin tratar era de 50 mg L<sup>-1</sup> a 100 mg L<sup>-1</sup> (Techobanglous et al., 2002) [68]. Bloquean las unidades de filtración y dificultan la eficacia del tratamiento. El aceite y la grasa provocan la formación de una capa de aceite en el agua que reduce la penetración de la luz, la difusión del oxígeno y la



fotosíntesis de las plantas sumergidas (Mohammadi y Esmaelifar, 2005) [52]. Algunos de los métodos convencionales habituales de tratamiento de aguas residuales oleosas son la flotación, los métodos gravitacionales, el tratamiento químico, el tratamiento biológico, la flotación por aire disuelto (DAF) y el uso de membranas (Chowdhury et al, 2006) [15]. Las gotas de aceite de tamaño inferior a  $50\mu\text{m}$  se han eliminado mediante lechos compactados y flotación por aire disuelto (Rubio et al, 2002) [61]. Tradicionalmente, las aguas residuales que contienen grasas y aceites se tratan mediante métodos físicos. Sin embargo, estos enfoques resultan insuficientes cuando las grasas se encuentran en forma dispersa, lo que exige tratamientos más avanzados para garantizar su adecuada eliminación. (El-Masry et al, 2004) [21]. Baig et al. (2003) [6], estudiaron la eficacia de la separación por gravedad y la flotación por aire disuelto para la eliminación de aceites y grasas de aguas residuales industriales y domésticas y se consiguió una eficacia de eliminación de aproximadamente el 85% en la eliminación como aceite emulsionado de las aguas residuales.

#### **2.2.7.8. Demanda química de oxígeno**

Se define como todos los compuestos orgánicos, materiales biodegradables y no biodegradables (Tchobanoglous et al., 2003). Es una prueba química que emplea sustancias químicas oxidantes fuertes (dicromato de potasio), ácido sulfúrico y energía térmica; las muestras de prueba pueden tener un tamaño de 250 cm y el resultado puede estar disponible en 2 h (Eaton, 2005b). Los valores de DQO son siempre



superiores a los valores de DBO5 para la misma muestra. Tchobanoglous et al., (2003).

#### **2.2.7.9. Demanda bioquímica de oxígeno**

Aplicaciones de la demanda bioquímica de oxígeno para la determinación del oxígeno total consumido por las bacterias y otros microorganismos ocupados en la estabilización de la materia orgánica descomponible durante un cierto período de tiempo. La prueba de DBO5 se utiliza con frecuencia para medir los impactos de los efluentes que pueden contener grandes cantidades de compuestos orgánicos biodegradables, como los de la vegetación y los corrales de engorde del procesamiento de alimentos, los servicios municipales de tratamiento de aguas residuales y las fábricas de celulosa. Una mayor cantidad de demanda de oxígeno representa que el potencial de aumentar el oxígeno disuelto disminuye a medida que la macrobiótica oxida la materia orgánica presente en las aguas residuales. La muy pequeña demanda de oxígeno representa que el agua pura o la presencia de contaminantes venenosos o no degradables Wei et al., (2020)

#### **2.2.8. Vigencia del uso de aguas grises**

El reciclaje de aguas grises ofrece varias ventajas. La reutilización de AG tratados no solo preserva las escasas fuentes de agua, sino que también reduce los costos de suministro de agua y disminuye la carga en los sistemas centralizados de tratamiento de aguas residuales, que minimizan los impactos negativos y los costos de la extracción de agua y el tratamiento de aguas residuales contribuyendo así a alcanzar la sostenibilidad hídrica. Se informa que alrededor del 25% al 30% del



consumo de agua potable se puede reducir mediante la reutilización de AG. En muchas zonas del mundo con escasez de agua, las legislaciones gubernamentales han hecho obligatorio el reciclaje de AG para los edificios de nueva construcción. Un estudio reciente que comparó un sistema de reutilización centralizado de aguas residuales y un sistema de reutilización descentralizado de AG mostró que el sistema de AG consumía solo entre el 11,8% y el 37,5% de la energía de un sistema centralizado considerando el mismo número de habitantes atendidos. Además, el sistema centralizado generó mayores emisiones de CO<sub>2</sub> al medio ambiente que el sistema AG Matos et al., (2014).

### 2.2.9. Riesgos

La contaminación de las aguas subterráneas es uno de los primordiales riesgos ambientales de la reutilización de las aguas grises. También existe la posibilidad de que algunas de las sustancias presentes en las aguas grises puedan tener un impacto en el suministro de aguas subterráneas. han destacado varios factores determinantes en la contaminación de las aguas subterráneas por contaminantes de aguas grises: el suministro de fertilizantes nitrogenados, la naturaleza del suelo, la litología y la permeabilidad del acuífero. Para reducir el impacto de la reutilización de aguas grises en las aguas subterráneas, el usuario potencial debe analizar y estudiar los requerimientos de nutrientes de las plantas y el suelo sugirieron que la acumulación de surfactantes en el suelo debido al riego de aguas grises puede crear suelos repelentes al agua, afectando así sus perfiles de flujo y productividad. En un estudio



realizado para evaluar el efecto de la reutilización de aguas grises tratadas en las propiedades del suelo y las plantas irrigadas, los resultados mostraron aumentos en la salinidad del suelo y el contenido de materia orgánica. Las propiedades químicas de los olivos y hortalizas de regadío no se vieron afectadas, mientras que la calidad orgánica de algunos cultivos de hortalizas se vio afectada negativamente. Los principales efectos de las aguas grises en el suelo están relacionados con (i) el aumento de la dureza y salinidad del suelo; ii) la reducción de la capacidad del suelo para absorber y retener agua; y (iii) el aumento de la alcalinidad, debido a la presencia de sales de sodio, potasio o calcio en las aguas grises, en particular, en detergentes OMS, (2006).

## **2.2.10. Impacto ambiental y sanitario de las aguas grises**

### **domésticas no tratadas**

#### **2.2.10.1. Efecto sobre el suelo**

Los productos de limpieza y los artículos de tocador para el hogar suelen contener surfactantes, que pueden reducir el nivel de tensión superficial entre dos líquidos o entre un líquido y un sólido. Los surfactantes presentes en el agua de mar pueden afectar las características del suelo y el crecimiento de las plantas. Los AG que contienen tensioactivos, cuando se liberan en el suelo, pueden reducir su capacidad para retener humedad y minerales. Esto se debe a que los surfactantes pueden descomponer los agregados del suelo, que son cruciales para preservar la estructura y la porosidad saludables del suelo. Los surfactantes AG tienen la capacidad de penetrar el suelo y cortar las conexiones orgánicas que unen los agregados del suelo. De esto pueden



resultar partículas de suelo más pequeñas que se erosionan y compactan más fácilmente, disminuyendo la cantidad de espacio del suelo. El retraso en el crecimiento y la productividad de las plantas puede deberse a la disminución de la capacidad del suelo para absorber y retener agua y nutrientes. Además, la movilidad de contaminantes, incluidos compuestos orgánicos y metales pesados, puede verse aumentada por la presencia de tensioactivos en AG. Estos contaminantes pueden luego penetrar más profundamente en el suelo, poniendo en peligro los microorganismos del suelo vitales para el ciclo de los nutrientes y posiblemente contaminando el agua subterránea. Los factores principales, como el tipo de surfactante, la concentración, el tipo de suelo y la frecuencia de aplicación, afectan la forma en que un surfactante afectará una determinada porción de suelo Borah et al., (2023)

### **2.2.10.2. Efectos sobre el medio ambiente**

La contaminación de las aguas subterráneas es uno de los primordiales riesgos ambientales asociados con la reutilización de aguas grises. Depende de la geología de la zona de interés. Por otra parte, algunos de los componentes de las aguas grises tienen el potencial de alcanzar las reservas subterráneas de agua dulce subterránea en el área donde se practica la reutilización. Si el agua subterránea contuviera sustancias que contaminarían o tendrían un efecto perjudicial sobre el agua subterránea, se podría producir contaminación. Sin embargo, dos factores reducen la importancia de esto. En primer lugar, las cantidades totales de aguas grises en contextos domésticos son muy pequeñas: la mayoría de los hogares en Occidente no producen más de 200 a 400 litros



de aguas grises por día. La mayor parte del agua y los nutrientes de las aguas grises serán absorbidos por las propias plantas. Otras sustancias de las aguas grises (por ejemplo, materia orgánica y bacterias) serán descompuestas por la capa superior del suelo. En circunstancias normales, muy pocas de las aguas grises en cuestión llegarán realmente al agua subterránea.

### **2.2.10.3. Efectos sobre la salud humana**

La exposición humana a las aguas grises también es un problema mucho menor de lo que comúnmente se piensa. En primer lugar, dado que todas las aguas grises domésticas fueron producidas inicialmente por el hombre, la mayor parte ya ha entrado en contacto con el hombre, por ejemplo, en la ducha o en el lavabo. Sin embargo, puede contener patógenos y contaminantes que podrían suponer un riesgo para la salud humana. Puede haber riesgos particulares para quienes no pertenecen al hogar familiar donde se produjeron las aguas grises. Hay dos formas de minimizar este riesgo: una es tratar exhaustivamente las aguas grises para eliminar bacterias y otros patógenos. De esta manera se mejora la calidad de las aguas residuales tratadas (aguas negras) para permitir su uso sin restricciones. Sin embargo, esto resulta excesivamente caro para los propietarios de viviendas. La segunda forma de minimizar el riesgo es simplemente eliminar el contacto entre los habitantes de la casa y las aguas grises. Por esta razón, la mayoría de las fuentes recomiendan un sistema de recopilación y distribuciones de aguas grises que no requiera la intervención regular del usuario. Además, se prohíbe el riego por



aspersión, para evitar el peligro de que las aguas grises del aire entren en contacto con las personas. Algunas jurisdicciones incluso prohíben el riego superficial, aunque otras lo permiten siempre que se controlen las cantidades y no se produzca saturación de suelos. En general, se desaconseja el riego de césped y otras áreas donde los niños o los animales puedan jugar, excepto el riego por goteo subterráneo, también para reducir la posibilidad de contacto. Además, las aguas grises no deben usarse para lavar patios, pasillos o entradas de vehículos. Tampoco debe usarse para control de polvo, enfriamiento, riego por aspersión o cualquier otro uso que pueda generar gotas o niebla en el aire. (*Graywater Reuse in Other Countries*, s. f.)

#### **2.2.11. Barreras en la reutilización de aguas grises domésticas**

Reemplazar el agua dulce por aguas grises para la descarga de inodoros resulta en reducciones de entre el 13 y el 41% del consumo total de agua doméstica. Las barreras que obstaculizan la implementación exitosa de la reutilización de aguas grises se pueden agrupar en 2 categorías: (1 ) barrera administrativa y no tecnológica (limitación financiera, institucional y legal, y cantidad y calidad ) y ( 2 ) barreras de percepción pública (limitación social y cultural). Las medidas administrativas son de vital importancia para garantizar la reutilización segura de las aguas grises a gran escala. Una limitación no tecnológica que limita la reutilización de las aguas grises surge de los bajos precios del agua en determinados lugares. Algunos países han emitido un permiso general para el uso inofensivo de aguas grises , mientras que otros exigen permisos tanto para el tratamiento de aguas grises como



para la instalación de plantas de tratamiento. La aplicación a mayor escala aumentará las limitaciones para la instalación de unidades de tratamiento. Por un lado, la reutilización de aguas grises no será promovida o tendrá poca aceptación a medida que aumente la complejidad de los mecanismos administrativos. Por otro lado, regulaciones menos estrictas pueden poner en riesgo la salud y ambiental. Niveles de riesgo claros y códigos de práctica deberían constituir la base de una política eficaz de aguas grises. Junto con las cuestiones administrativas, limitaciones como la cantidad y calidad, el costo del tratamiento, la modernización de las viviendas existentes, el mantenimiento del sistema (acumulación de sales) y la alteración de las propiedades del suelo son otros obstáculos para la reutilización de las aguas grises. Una vez que se aborden los requisitos de calidad administrativos, legislativos y de reutilización de aguas grises, se deben evaluar y desarrollar estrategias técnicas para obtener aguas grises reutilizables de manera eficiente. Una visión más profunda ilustra que la variabilidad cualitativa de las aguas grises no afecta el escenario de reutilización, mientras que la variabilidad cuantitativa puede influir en la estrategia de reutilización. Una familia con 8 ocupantes puede producir aproximadamente 1200 Lpcd de aguas grises, que a primera vista sería una cantidad demasiado pequeña para desarrollar sistemas de tratamiento comerciales. Por otro lado, los centros comunitarios podrían generar mayores cantidades de aguas grises, lo que permitiría una instalación de tratamiento viable. Cabe señalar que las cantidades generadas son muy inciertas, lo que hace que la disponibilidad de aguas grises sea poco fiable. Sin embargo, este inconveniente se



puede eliminar manteniendo una instalación de almacenamiento adecuada para las aguas grises tratadas. Además, una serie de problemas prácticos, como se analiza en la Sección. 3, puede surgir cuando las aguas grises no tratadas se reutilizan, ya sea para la descarga de los inodoros en el hogar o para el riego. Se informaron posibles impactos negativos en las propiedades del suelo (como niveles elevados de sales y surfactantes) cuando se utilizan aguas grises sin tratar para riego. Además, para lograr resultados superiores con un sistema de tratamiento de aguas grises, no se debe descuidar la importancia del mantenimiento continuo. Redwood (2008) identificó olores desagradables que emanaban de dos plantas piloto establecidas por el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo en Jordania y el Líbano. Sin embargo, incorporar un sencillo sistema de ventilación o depuradores de bajo coste en las instalaciones de almacenamiento puede eliminar eficazmente este olor. (Winter, 2015).

La oposición pública es un obstáculo común para la reutilización de aguas grises por diversas razones, como prejuicios culturales, estética, etc. La percepción del riesgo varía entre los grupos sociales (o culturas); por ejemplo, los riesgos identificados como "aceptables" por los investigadores son diferentes de aquellos identificados como "aceptables" por los grupos sociales, ya que se consideran diferentes creencias, normas y racionalidades. Sin duda, el descontento público con cualquier tipo de reutilización del agua también depende de su calidad y tratamiento. En la mayoría de las encuestas, más de la mitad de los encuestados se preocupan por la calidad del agua, la salud humana y los problemas



ambientales relacionados con la reutilización de aguas grises. Además, las razones religiosas y culturales pueden considerarse otra limitación para la reutilización exitosa de las aguas grises en varios países del Medio Oriente. En un estudio de en la Universidad Sultán Qaboos, alrededor del 40% de los estudiantes se negaron a reutilizar las aguas grises debido a los riesgos para la salud asociados , y alrededor del 37% de los estudiantes se negaron por motivos religiosos, lo que demuestra que la educación y la información correcta son un factor clave para alcanzar una mejor percepción en el público. Una mayor confianza en las autoridades y en el conocimiento científico establecido puede provocar un cambio en la actitud del público. La confianza en las autoridades del agua ha jugado un papel importante en el cambio de actitud pública hacia la reutilización del agua. Por otro lado, también cabe señalar que el incumplimiento de las normas en el pasado podría contribuir a la desconfianza. La información fácilmente disponible e inequívoca sobre la reutilización de aguas grises domésticas puede mejorar la aplicabilidad de la estrategia de reutilización, que debería promulgarse como directrices para la reutilización de aguas grises. Los incentivos del gobierno para abrir posibilidades de almacenamiento y tratamiento in situ de aguas grises en los hogares también promueven la reutilización. Además, desde el punto de vista público, los problemas prácticos asociados con la recolección y el transporte manual de agua desde la fuente hasta el punto de uso suelen llevar mucho tiempo y pueden provocar lesiones en la columna o la espalda. El éxito de implementar una estrategia de reutilización de aguas grises para minimizar el consumo de agua dulce no depende sólo de los



avances tecnológicos o administrativos, sino que también depende de la percepción de las personas sobre su reutilización. La educación juega un papel esencial aquí, especialmente para comprender las ventajas del reciclaje de aguas grises. Pham et al., (2011)

### **2.2.12. Escenarios globales de reutilización de aguas grises domésticas**

El reciclaje de aguas grises se practica ampliamente en todo el mundo, especialmente en los países desarrollados. Es más reciente que pocos países en desarrollo comenzaron a adoptar el reciclaje de aguas grises para minimizar la carga sobre los recursos de agua dulce. Para la implementación exitosa de cualquier proyecto, la aceptación pública juega un papel crucial. En países desarrollados como Estados Unidos, Australia, Alemania y Reino Unido, la respuesta de la comunidad fue bastante positiva como lo indican las encuestas. Los siguientes son algunos ejemplos de países que han optado por el tratamiento y reutilización de aguas grises, mostrando resultados exitosos. Pham et al., (2011)

#### **2.2.12.1. Australia**

Australia ha implementado muchos enfoques para minimizar el consumo de agua dulce; una de ellas es la reutilización de aguas grises tratadas. El uso de aguas grises recuperadas para actividades no potables distintas del lavado de ropa en los hogares es ahora una práctica común en Australia. También, las aguas grises recuperadas se utilizan para actividades industriales y de riego, Se informa que Sydney ha implementado con éxito una política de recuperación de aguas grises y ha reutilizado ca.  $3,9 \times 10^7$  L/año de agua ahorrando ca.  $9,7 \times 10^6$  L/año



(Sydney Water 2018) . El consejo de Brisbane ha logrado implementar la reutilización de aguas grises en los hogares mediante la creación de un conjunto de directrices. Incluyen evitar el contacto humano directo, evitar el almacenamiento de aguas grises sin tratar (para prevenir el crecimiento de microorganismos) y evitar el uso de aguas grises tanto para la descarga de inodoros como para el riego superficial. Además, el consejo expide permisos para la instalación regular de dispositivos de desvío de aguas grises o sistemas de tratamiento y lleva a cabo un programa de auditoría para garantizar condiciones de uso seguras y salud ambiental (Ayuntamiento de Brisbane 2015). El Departamento de Salud y Servicios Comunitarios es responsable de salvaguardar la salud pública y adaptar las leyes para autorizar y reducir los riesgos asociados con la reutilización de aguas grises. Dependiendo de las particularidades de las aguas grises y del nivel de tratamiento, estas pueden explotarse para diversos fines, como jardinería ornamental, descarga de inodoros y riego de césped. Pham et al., (2011).

#### **2.2.12.2. Porcelana**

Los recursos hídricos en China están sobre asignados, utilizados de manera ineficiente y gravemente contaminados por desechos industriales y humanos. Según la Autoridad Estatal de Protección Ambiental, más de la mitad de las principales ciudades de China no cuentan con un suministro adecuado de agua potable. Debido a la escasez de agua, el agotamiento de los recursos hídricos naturales y la contaminación del agua, se han establecido muchas pautas para la descarga y reutilización del agua .El Ministerio de Protección Ambiental y



la Administración General de Supervisión de Calidad , Inspección y Cuarentena publicaron muchas directrices para mejorar la utilización y el manejo de los recursos hídricos. Beijing es, con diferencia, la provincia con más éxito en la reutilización de aguas residuales tratadas en China y se informa que la tasa de reutilización es de ca. 60%. Sin embargo, se ha informado de una tasa de reutilización inferior al 8,8 % en el 65 % de todas las provincias de China. Sin embargo, la reutilización del agua recuperada para aplicaciones domésticas, como la descarga de inodoros, todavía tiene una resistencia significativa en China Jie Zhu et al.(2016)

#### **2.2.12.3. India**

En India, la Junta CPCB es responsable de establecer directrices y restricciones para la reutilización de aguas grises. También de la descarga al suelo de aguas grises tratadas, el CPCB ha establecido pautas para el enfriamiento industrial, que incluyen limitaciones en la disponibilidad de boro, relación de adsorción de sodio y CE, como  $< 2 \text{ mg./L}$ ,  $< 26 \text{ mg/L}$  y  $< 2250 \text{ }\mu\text{S/cm}$ , respectivamente.

#### **2.2.12.4. Jordán**

Debido a la escasez de agua en Jordania, se está llevando a cabo un intenso trabajo sobre la reutilización de aguas grises en colaboración con la OMS, incluida la construcción de pequeños sistemas de humedales. La Red Interislámica sobre Desarrollo y Gestión de Recursos Hídricos con sede en Ammán (Jordania) ha promovido actividades de investigación sobre la reutilización de aguas grises en Jordania (Ercin & Hoekstra, (2014).



#### 2.2.12.5. Israel

Los estándares israelíes para las aguas grises son los más estrictos del mundo. En Israel, las aguas grises se recogen de diferentes maneras. Las aguas grises se separan del sistema de recolección para ingresar a la unidad de tratamiento central, que comprende un tanque de sedimentación, un componente de cribado/filtración y un proceso biológico. La unidad biológica puede incluir tecnología de membranas o componentes de humedales artificiales. Las aguas grises tratadas se emplean comúnmente para irrigación de jardines y/o descarga de inodoros. Para los tratamientos de desinfección se emplea una pequeña lámpara UV y/o cloración. Oron et al., (2014)

#### 2.2.12.6. Irlanda

El 50 y el 80 % del total de aguas residuales de un hogar doméstico en Irlanda. La calidad de las aguas grises se puede mejorar mediante: ( 1 ) sistemas básicos de dos etapas: la tecnología más familiar utilizada es la filtración gruesa utilizando un colador metálico para retener partículas suspendidas y contaminantes, seguida de desinfección con cloro; ( 2 ) sistemas de proceso físico, en particular filtración por membrana capaz de lograr una clarificación eficiente del agua Z. Li et al., (2010).

#### 2.2.12.7. España

España tiene el mayor riesgo de escasez de agua y aridificación entre los países europeos. Cataluña en particular es una región que lucha por el suministro de agua de alta calidad. Sin embargo, desde principios de los años 2000 el gobierno catalán ha avanzado significativamente en



la implementación de estrategias de gestión del agua, en colaboración con el grupo de trabajo "nueva cultura del agua" de la "Red de Ciudades y Pueblos hacia la Sostenibilidad" formado por 9 municipios catalanes. En 2008, la Autoridad Catalana del Agua financió un estudio de investigación para evaluar la implementación de la ordenanza local del agua en Sant Cugat del Vallès con un importante enfoque en la reutilización de aguas grises. Los resultados de sus estudios de encuesta, realizados a través de entrevistas a todas las partes interesadas implicadas ( usuarios de aguas grises, recolectores de agua de lluvia, equipos de instalación y mantenimiento, promotores, administradores de edificios y gestores de planificación urbana/ambiental), fueron presentados por. Sus estudios señalan que al principio se lograron altos niveles de satisfacción y en el momento en que comienzan a aparecer problemas en el mantenimiento, especialmente en la etapa de desinfección, ya que una falla genera emisiones de olores y turbidez o incluso cambios de color. En algunos escenarios, algunos municipios decidieron "no incluir los sistemas de reutilización de aguas grises en la regulación debido a los riesgos para la salud que implican cuando el mantenimiento del sistema no es satisfactorio". Pero esto también evolucionó con la adopción de tecnologías más avanzadas, como la limpieza biológica con bacterias para la destrucción de toda la materia orgánica, seguida de UF con un tamaño de poro de membrana de 0,05  $\mu\text{m}$ , pero que requieren mantenimiento en intervalos de tiempo mucho mayores. Después de 10 años de la primera aprobación de la ordenanza local en Sant Cugat del Vallès (2002), más de 5.000 hogares contaban con un sistema de



reutilización de aguas grises y un número creciente de otros municipios de Cataluña están utilizando más recursos locales y descentralizados como el agua de lluvia o las aguas grises. , a pesar de los desafíos del paradigma hidráulico. Domènech et al., (2015)

#### **2.2.12.8. Brasil**

El grupo de Costanzi<sup>8</sup> presentó recientemente un estudio de caso sobre la viabilidad de reutilizar el agua de lluvia y el agua dulce para un gran centro comercial en el sur de Brasil, una región con abundante agua de lluvia. El estudio demostró que, para un centro comercial, como unidad, un sistema de reutilización de aguas grises no era inviable porque se recolectaba suficiente agua de los lavabos (no de las duchas, a diferencia de los hogares) para el volumen de agua demandado por los inodoros. En cambio, los sistemas de agua de lluvia demostraron ser una opción viable para ahorrar agua dulce (teniendo en cuenta los beneficios económicos), al menos en edificios con grandes techos en regiones con altas precipitaciones. de Gois et al., (2015)

#### **2.2.12.9. Arizona (Estados Unidos)**

Las aguas grises en Arizona se dividen en 3 grados: ( 1 ) hasta un monto asignado de 400 Gpd por familia (aprox. 1,5 m<sup>3</sup> /día). En este caso, no se requiere permiso para el uso de aguas grises . ( 2 ) El uso entre 400 y 3000 Gpd (1,5 a 11,4 m<sup>3</sup> /día) requiere permisos para el uso de aguas grises . ( 3 ) Por encima de 3000 Gpd (> 11,4 m<sup>3</sup> /día), lo que se reconoce como proyecto de aguas residuales convencional. Las autoridades del agua han recomendado encarecidamente evitar el contacto de las aguas grises con los seres humanos y no utilizarlas para



el riego de cultivos alimentarios. El gobierno de Arizona está fomentando el uso de aguas grises aportando \$1200 del costo por casa/apartamento. Se examinó la calidad de las aguas grises en diferentes lugares de Arizona y se identificó que la FC se redujo de 8 a 3 logs/100 ml en los tanques de almacenamiento. Oron et al., (2014)

### 2.3. MARCO CONCEPTUAL

**Optimizar:** Mejorar y perfeccionar un proceso o sistema, en este caso, el prototipo de tratamiento de aguas grises, con el fin de lograr los mejores resultados posibles en la eliminación de contaminantes y en la mejora de la calidad del agua tratada.

**Efectividad:** Capacidad de un tratamiento o proceso para lograr el resultado deseado, es decir, la reducción de contaminantes en el agua gris a niveles que permitan su reutilización segura para aplicaciones como el riego, lavado de autos y descarga de inodoros.

**Eficiencia:** Relación entre los recursos utilizados (como tiempo, energía y materiales) y los resultados logrados en el tratamiento de aguas grises. Un proceso eficiente es aquel que logra la máxima purificación del agua con el menor uso de recursos.

**Significativa:** En este contexto, se refiere a cambios o resultados que son lo suficientemente importantes o notables para indicar una mejora real y medible en la calidad del agua tratada, como la reducción considerable de la DBO5, DQO, fósforo, aceites y grasas.



## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Considerando los principios de parsimonia, exhaustivo y excluyente (Supo & Zacarías, 2020) se plantea cuatro clasificaciones operativas del presente trabajo de investigación.

**Tabla 1**

Criterio-tipo

Criterio	Tipo
• Según la intervención del investigador	• Con intervención
• Según el control de la medición de la variable de estudio	• Con control de la medición
• Según el número de mediciones de la variable de estudio	• Longitudinal
• Según el número de variables analíticas	• Con más de una variable

**Nota.** La tabla muestra la relación entre criterio y tipo

El método empleado es inductivo-deductivo, con un tratamiento de los datos, enfoque cuantitativo.



### 3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

La investigación propuesta se enmarca dentro de explicativo-descriptivo. Se enfoca en describir y detallar los procesos y efectos observados, a la vez que busca explicar las causas y relaciones entre las variables estudiadas.

- **Explicativo:** Un estudio explicativo busca ir más allá de la simple descripción de conceptos o fenómenos y de la identificación de relaciones entre ellos. Su objetivo principal es comprender las causas detrás de los eventos, ya sean físicos o sociales. Este tipo de estudio se centra en responder por qué sucede un fenómeno o por qué dos o más variables están relacionadas, además de identificar las condiciones específicas en las que ocurren dichos eventos. (*Metodología de La Investigación Sampieri La Propuesta by Octavio Siliceo - Issuu, (2017)*)
- **Descriptivos:** Los estudios descriptivos miden diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno que se pretende investigar. Desde una perspectiva científica, describir es medir. En otras palabras, en un estudio descriptivo se seleccionan una serie de preguntas, cada una medida de forma independiente y con el fin (perdón por la redundancia) de describir lo que se investiga.

En este caso, la investigación no solo se dedicará a describir cómo el tratamiento físico-químico afecta a la calidad de las aguas grises domésticas mediante la medición de parámetros específicos (descriptivo), sino que también buscará entender y explicar las razones detrás de estas mejoras en la calidad del agua (explicativo).



### 3.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Es de diseño de investigación experimental porque implica la manipulación de las variables independientes (tratamiento fisicoquímico) para medir su efecto sobre la variable dependiente (la calidad del agua gris). Se llevará a cabo en un ambiente controlado, para garantizar que no existan factores externos que puedan influir en los resultados. La asignación de especímenes de prueba al grupo control y grupos experimentales será aleatoria.

### 3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

#### 3.4.1. Población

Se simula en un entorno de laboratorio que representa una casa multifamiliar habitada por 6 personas adultas en la ciudad de Juliaca en la Urb. Miguel GRAU. Este entorno simulado se utiliza para generar agua gris doméstica con el fin de evaluar la efectividad del tratamiento en la mejora de su calidad.

**Tabla 2**

*Usos del agua gris doméstica*

Tipo de usos	Frecuencia de uso por día
Lavamanos	<ul style="list-style-type: none"><li>• 6 veces para lavado de manos por persona</li><li>• 3 veces para cepillarse los dientes por persona</li><li>• 1 para lavado de rostro por persona</li></ul>
Ducha	<ul style="list-style-type: none"><li>• 1 durante todo el día por persona</li></ul>



- |           |  |
|-----------|--|
| Fregadero | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 veces para el lavado de los servicios</li> <li>• 2 para uso de la cocina</li> </ul> |
| lavadora  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 ves por semana</li> </ul>   |

**Nota.** La tabla muestra los tipos de uso y la frecuencia por día que se da en una vivienda multifamiliar de 6 personas.

Esta simulación permite controlar las variables y replicar las condiciones reales de una vivienda multifamiliar típica, asegurando la validez de los resultados.

Por semana se genera aproximadamente 236 L de agua gris que está compuesta 201 L de (agua de ducha + agua de lavadora + agua de lavamanos) y 35 L de agua gris proveniente de fregaderos, para realizar el experimento se generó 1/3 de la cantidad que se usa semanalmente es decir un aproximado de 80 L que son 70 L de (agua de ducha + agua de lavadora + agua de lavamanos) y 10L de uso en fregadero.

### Tabla 3

*Uso de agua gris por semana*

ESTACIÓN 1	
AGUA GRIS DE DUCHA	60L
AGUA GRIS DE LAVAMANOS	120L
AGUA GRIS DE LAVADORA	35L
AGUA GRIS DE FREGADERO	21L

**Nota.** La tabla muestra una simulación de la generación de agua gris por semana en una vivienda multifamiliar de 6 personas.

Según la tabla 2 se calculó la cantidad de agua usada por semana de la siguiente manera:



Ducha + lavamanos + lavadora = 201 L

Fregadero = 35 L.

### 3.4.2. Muestra

Para obtener una muestra de agua adecuada para este estudio, se recolectaron 80 litros de agua gris provenientes de diferentes fuentes en una vivienda multifamiliar de la ciudad de Juliaca, 10 litros provenientes de fregaderos de la cocina, 5 litros de los lavamanos, 5 litros de las duchas, 60 de la lavadora. Luego de obtener las muestras éstas fueron mezcladas y preparadas en el recipiente de almacenamiento para posteriormente tomar una muestra inicial (T0) que no paso por ningún tipo de tratamiento y posteriormente se hicieron 5 muestras las cuales pasaron por un tratamiento químico donde se añadió de 100 ml/g hasta los 500 ml/g para luego pasar por el tratamiento físico evitando que factores externos afecten el muestreo.

**Tabla 4**

*Uso de agua gris para muestra*

ESTACIÓN 2	
AGUA GRIS DE DUCHA	5L
AGUA GRIS DE LAVAMANOS	5L
AGUA GRIS DE LAVADORA	60L
AGUA GRIS DE FREGADERO	10L

**Nota.** La tabla muestra la producción simulada de agua gris.

Según la tabla 3 se calculó la cantidad de agua usada por día de la siguiente manera:



Ducha + lavamanos + lavadora 70L(x3) =210L

Fregadero 10L(X3) =30L

### 3.4.2.1. Toma de muestra

El muestreo se llevó a cabo utilizando un GPS para obtener coordenadas precisas de la ubicación específica en la localidad de Juliaca. Estas coordenadas se registraron para el control y seguimiento en la cadena de custodia. Se seleccionó un sitio exacto para la realización del experimento, asegurando la representatividad y consistencia en el análisis. Durante el estudio, se realizaron un total de seis muestreos, garantizando una evaluación exhaustiva de las condiciones del agua.

**Tabla 5**

*Coordenadas de lugar de muestreo*

CIUDAD	COORDENADA N	COORDENADA E
JULIACA	8284911.40	379501.40

**Nota.** La tabla muestra las coordenadas N y E del lugar de muestreo.

Se realiza la obtención de muestras del agua gris doméstica, en envases de plástico y de vidrio previamente lavada con detergente neutro y enjuagada con agua destilada

En el caso de las botellas de plástico de un litro se llenó con el agua gris doméstica hasta el cuello de estas, sin embargo, en el caso de los recipientes de vidrio se llenó todo el recipiente sin que contengan ninguna burbuja

Luego se procedió a colocar en un cooler para no alterar las muestras el cual fue llevado al laboratorio de calidad ambiental de la UANCV donde se analizaron los siguientes parámetros.

**Tabla 6***Parámetros analizados*

Parámetro	Unidad
pH	
Sólidos totales en suspensión	mg/L
Conductividad eléctrica	mS/cm
Color	Unid. Pt/Co
Fosforo total	mg/L
Cloro residual	mg/L
Aceites y grasas	mg/L
Demanda química de oxígeno	mg/L
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L

**Nota.** La tabla muestra los parámetros que se analizaron.

#### **3.4.2.1.1. Técnicas e instrumentos del trabajo de investigación**

Para el actual trabajo de investigación se emplearán las siguientes técnicas e instrumento para la recopilación de datos:

##### **3.4.2.1.1. 1. Técnicas**

##### **Simulación de Entorno Doméstico:**

- **Técnica:** Simulación controlada en laboratorio.



- **Descripción:** Se creó un entorno simulado que representó una casa multifamiliar habitada por 6 personas adultas en la ciudad de Juliaca. Este entorno fue utilizado para generar agua gris proveniente de diversas fuentes (ducha, lavamanos, lavadora y fregadero). La simulación permitió replicar condiciones reales y controlar variables, asegurando la validez interna del estudio.

### **Tratamiento Físico-Químico del Agua Gris:**

- **Técnica:** Procesos combinados de coagulación, sedimentación y filtración.
- **Descripción:** Se empleó un prototipo adaptado que integró procesos físico-químicos, aplicando sulfato de aluminio en diferentes dosificaciones para provocar la coagulación de partículas. Posteriormente, el agua pasó por un proceso de sedimentación para eliminar sólidos suspendidos, seguido de filtración para remover impurezas restantes. Este tratamiento tuvo como objetivo mejorar la calidad del agua gris para su reutilización en aplicaciones domésticas como riego de plantas ornamentales, lavado de autos e inodoros.

### **Análisis Comparativo de Tratamientos:**

- **Técnica:** Evaluación y comparación de la efectividad de distintas variantes del tratamiento físico-químico (T1, T2, T3, T4, T5).
- **Descripción:** Se compararon los resultados obtenidos de las diferentes variantes del tratamiento, cada una con distintas dosificaciones de sulfato de aluminio y ajustes en los procesos de filtración.

Los resultados fueron evaluados en función de la reducción de contaminantes y la mejora en los parámetros de calidad del agua, tales como pH, sólidos totales en suspensión, conductividad eléctrica, entre otros.

#### **Medición de Parámetros de Calidad del Agua:**

- **Técnica:** Análisis químico, físico y biológico del agua gris tratada.
- **Descripción:** Después del tratamiento, se midieron varios parámetros clave para determinar la efectividad de cada tratamiento. Estos parámetros incluyeron pH, sólidos totales en suspensión, conductividad eléctrica, color, fósforo total, aceites, grasas y cloro residual, DQO y DBO5. Estos análisis permitieron cuantificar la mejora en la calidad del agua y su aptitud para diferentes usos.

#### **3.4.2.1.1. 2. Instrumentos**

##### **Equipos de Medición de Calidad del Agua:**

- **pH-metro:** Se utilizó para medir el pH del agua gris antes y después del tratamiento, indicando la acidez o alcalinidad del agua.
- **Turbidímetro:** Se empleó para medir la turbidez, relacionada con los sólidos totales en suspensión, y determinar la claridad del agua después de los procesos de coagulación y sedimentación.
- **Conductímetro:** Se utilizó para medir la conductividad eléctrica del agua, reflejando la cantidad de iones disueltos, como sales y minerales, presentes en el agua gris.



- **Colorímetro:** Se utilizó para evaluar el color del agua, un parámetro importante para aplicaciones visualmente críticas como el riego ornamental.
- **Espectrofotómetro UV-Vis:** Se empleó para analizar la concentración de fósforo total, cloro residual, y otros componentes químicos, proporcionando un análisis cuantitativo de la composición química del agua.
- **Kit de análisis de aceites y grasas:** Se utilizó para medir la cantidad de aceites y grasas en el agua gris, un contaminante común en el agua proveniente de cocinas.
- **Reactores de DQO y DBO5:** Se emplearon para establecer la DQO y DBO5, parámetros críticos que indican la cantidad de materia orgánica presente en el agua y su biodegradabilidad.

### Equipos de Tratamiento de Agua:

- **Coagulador:** Se utilizó para la dosificación y mezcla de sulfato de aluminio, facilitando la coagulación de partículas en suspensión en el agua gris.
- **Tanque de Sedimentación:** Se utilizó para permitir que las partículas coaguladas se asentaran, facilitando la separación de sólidos suspendidos del agua tratada.
- **Sistemas de Filtración:** Incluyeron tanques de filtración de arena y carbón activado que eliminaron partículas finas y contaminantes químicos, mejorando la calidad del agua para su posterior análisis.

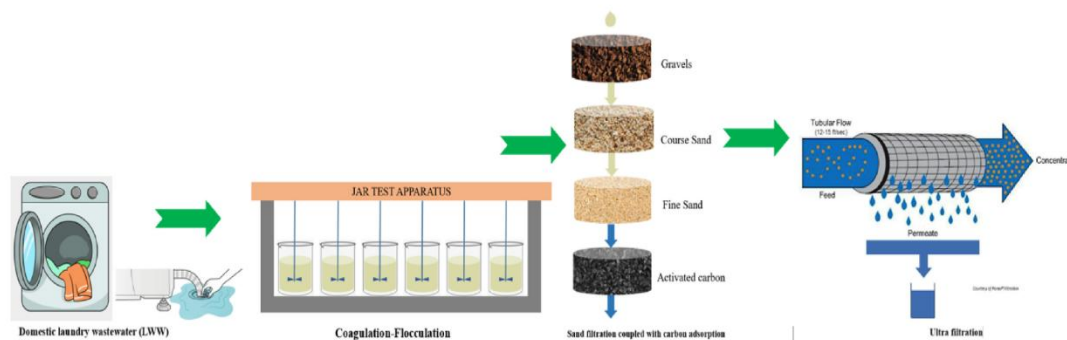
**Materiales de Laboratorio:**

- **Reactivos Químicos:** Se utilizaron sulfato de aluminio y otros reactivos necesarios para las pruebas de calidad del agua.
- **Frascos y Recipientes:** Se emplearon para la recopilación y manejo de muestras de agua gris en diferentes etapas del tratamiento.
- **Termómetros y Cronómetros:** Se utilizaron para monitorear la temperatura y el tiempo durante los procesos de tratamiento, factores que influyeron en la eficacia de los procesos de coagulación y filtración.

**3.5. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO**

**3.5.1. Primer objetivo: Evaluar la efectividad del prototipo adaptado, que incorpora procesos de coagulación, filtración y sedimentación, en la mejora de la calidad del agua gris doméstica.**

El trabajo de investigación realizado por Vishali (2023) en el artículo titulado "Purification of domestic laundry wastewater in an integrated treatment system consisting of coagulation and ultrafiltration membrane process" ofrece una base sólida para el desarrollo de un prototipo similar. Este estudio no solo aborda un problema ambiental crucial, como es el tratamiento de agua residual de lavanderías, sino que también demuestra la eficacia de un sistema integrado de tratamiento que combina coagulación, filtración en arena y adsorción para eliminar contaminantes como la turbidez, el color y el sulfonato de alquilbenceno lineal (LAS).

**Figura 1***Sistema integrado de tratamiento*

**Nota.** La figura muestra el sistema de tratamiento base del trabajo de investigación. Fuente (Vishali et al., 2023)

### 3.5.2. Adaptación del Prototipo

El prototipo propuesto presenta una estructura compuesta por cinco etapas distintas, que conforman una amalgama de tratamientos tanto químico como físico. El propósito primordial de esta adaptación es mejorar significativamente la calidad de las aguas grises, orientado específicamente hacia su uso en entornos domésticos.

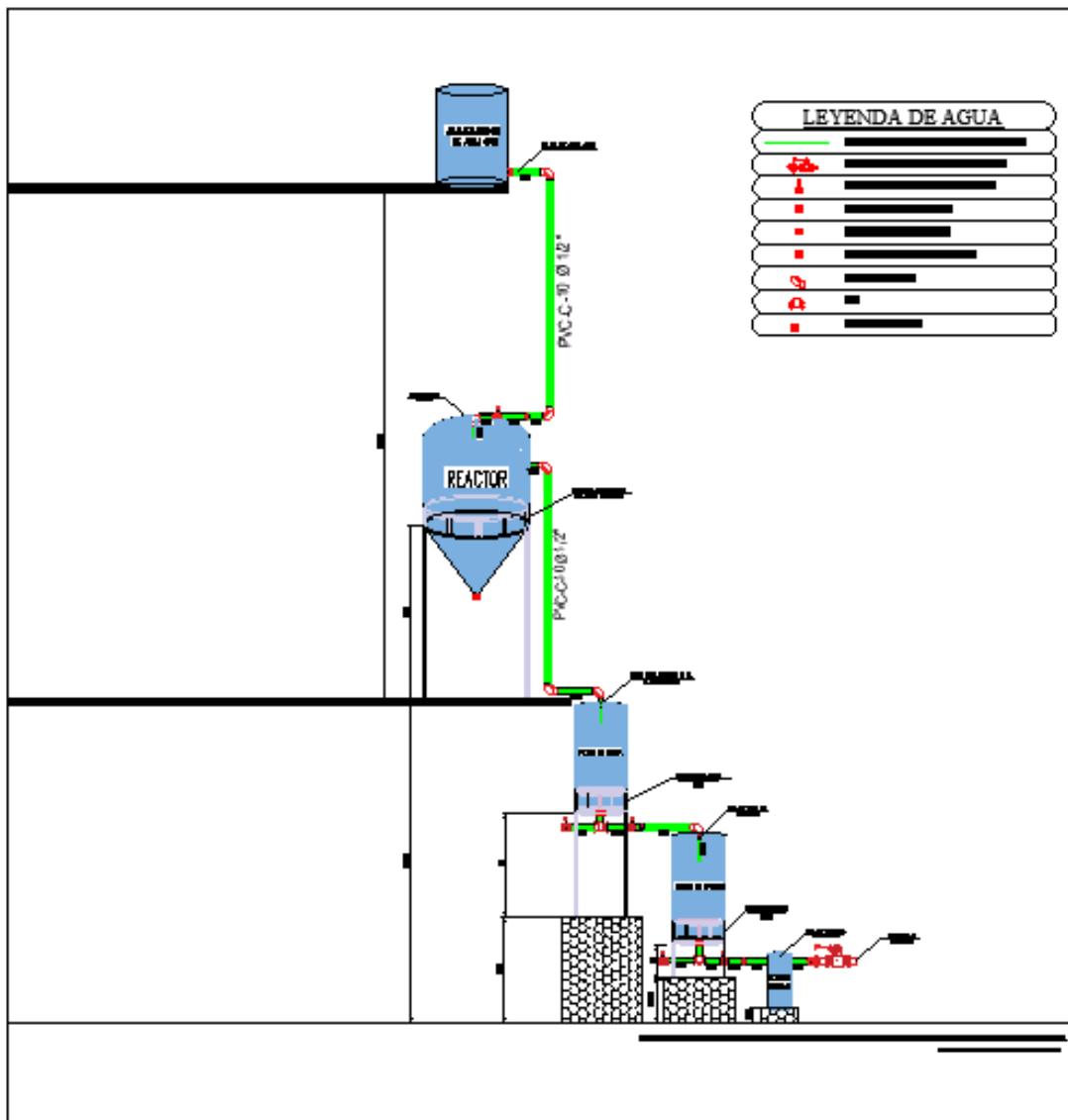
Cada etapa del prototipo ha sido meticulosamente concebida para abordar distintos aspectos de la calidad del agua gris, empleando una combinación estratégica de tratamientos químicos y físicos. Este enfoque integral busca maximizar la eficiencia del sistema, asegurando que las aguas grises tratadas alcancen estándares óptimos para su reutilización en aplicaciones domésticas.

En resumen, la adaptación se erige como una solución integral, aprovechando sinergias entre tratamientos químicos y físicos para transformar las aguas grises en una fuente de agua reutilizable de alta

calidad, contribuyendo así a la sostenibilidad y gestión eficiente de recursos hídricos en el ámbito doméstico.

**Figura 2**

*Adaptación del prototipo propuesto*



**Nota.** La figura muestra la adaptación de prototipo para el tratamiento de aguas grises domésticas. En base a (Vishali et al., 2023)

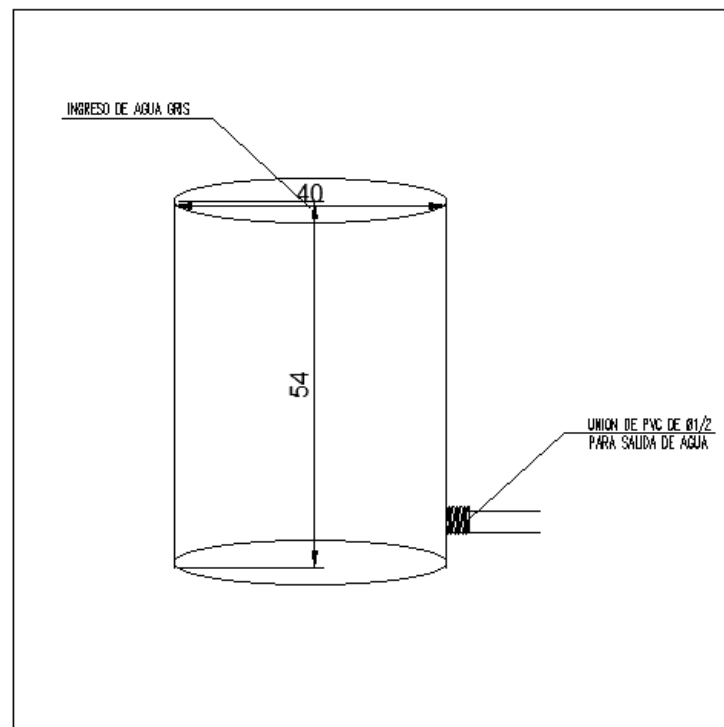
### 3.5.2.1. Tanque de almacenamiento

El contenedor empleado para el almacenamiento de agua gris doméstica está fabricado con material PVC, tiene una capacidad de 80

litros y se utiliza para recolectar agua de diversas fuentes: 5 litros del fregadero, 5 litros de la ducha, 5 litros del lavamanos y 60 litros de la lavadora. Este recipiente cuenta con una apertura superior de 40 cm de diámetro y una altura de 54 cm, mientras que para la salida de agua incorpora una union de PVC de 1/2 pulgada, además de una llave de paso para controlar la presión con la que sale el agua almacenada.

### Figura 3

Dimensiones De la Adaptación Tanque De Almacenamiento



**Nota.** La figura muestra la adaptación del tanque de almacenamiento para el tratamiento de aguas grises domésticas. En base a (Vishali et al., 2023)

**Figura 4**

*Tanque de almacenamiento real*



**Nota.** La figura muestra el tanque de almacenamiento para el tratamiento de aguas grises domésticas. En base a (Vishali et al., 2023)

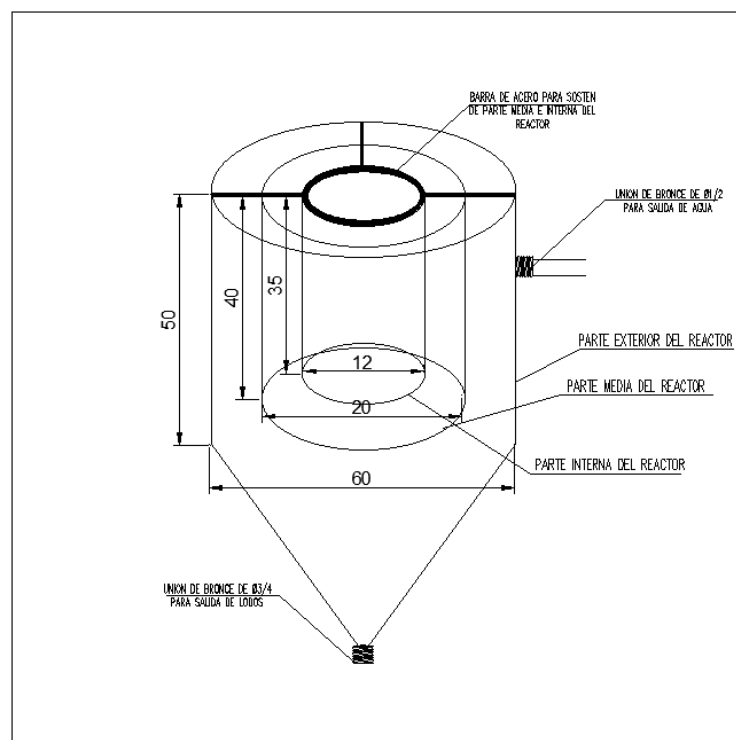
### 3.5.2.2. Reactor

El reactor, compuesto por tres capas de aluminio soldadas y pintadas con una pintura especial para prevenir la oxidación, cuenta con soportes de hierro para mantener la estructura. La parte interna del reactor tiene un diámetro de 12 cm y una altura de 35 cm; la parte media presenta un diámetro de 20 cm y una altura de 40 cm; mientras que la parte externa tiene un diámetro de 60 cm y una altura de 50 cm, con una sección cóncava en la parte inferior donde se instaló una unión de bronce de  $\frac{3}{4}$  de

pulgada con tapón, y otra unión de ½ pulgada en la salida de agua. El reactor está diseñado para que el agua gris ingrese en la parte interna, donde, por efecto de la gravedad se da el proceso de coagulación. Luego, el agua fluye hacia las siguientes partes del reactor por rebalse, mientras que los sólidos se sedimentan en la sección cóncava de la parte externa y pasan a la siguiente fase a través de un orificio. Durante la fase de pruebas, se observó que la parte interna no generaba el efecto de rebalse esperado, por lo que se decidió trabajar únicamente con las partes media y externa del reactor.

**Figura 5**

*Dimensiones Del Reactor*



**Nota.** La figura muestra la adaptación del reactor para el tratamiento de aguas grises domésticas. En base a (Vishali et al., 2023)

**Figura 6***Reactor barnizado*

**Nota.** La figura muestra el reactor para el tratamiento de aguas grises domésticas. En base a (Vishali et al., 2023)

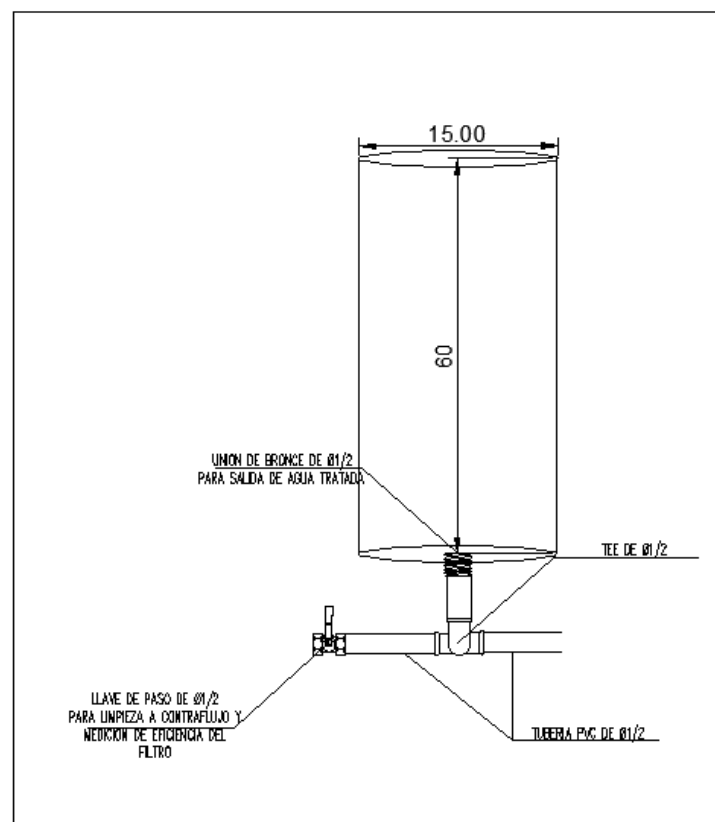
### 3.5.2.3. Tanque de filtración de arena

El tanque de filtración, fabricado en aluminio y soldado para evitar fugas, está recubierto con una pintura especial para prevenir la oxidación. Este tanque tiene un diámetro de 15 cm y una altura de 60 cm. En esta tercera etapa del proceso, el filtro de arena elimina las partículas más grandes que no fueron eliminadas en la etapa anterior y mejora la turbidez del agua, permitiendo una mayor eficiencia en la eliminación del color. Además, el tanque aborda el problema del mal olor mediante la adsorción de compuestos orgánicos en la superficie de la arena gruesa. En la parte inferior del tanque, incluye una entrada para lavado en contracorriente, lo

que ayuda a mantener su efectividad con el tiempo. Durante la implementación, se añadió un soporte de 30 cm al tanque para crear el desnivel necesario para las siguientes fases. Durante las pruebas, fue necesario controlar el flujo de agua proveniente del reactor, ya que el proceso de filtración de arena es más lento. El filtro está compuesto por cuatro capas: una capa inferior de piedras grandes de 6 cm que ocupa 8 cm del cilindro, seguida por una capa de piedras más delgadas de 3 cm que ocupa otros 8 cm, luego una capa de agregado grueso que ocupa 10 cm, y finalmente una capa superior de arena fina que ocupa 20 cm del cilindro.

## Figura 7

*Dimensiones Del Filtro De Arena*



**Nota.** La figura muestra la adaptación del tanque de filtración de arena para el tratamiento de aguas grises domésticas. En base a (Vishali et al., 2023)

**Figura 8***Filtro de arena barnizado*

**Nota.** La figura muestra el tanque de filtración de arena para el tratamiento de aguas grises domésticas. En base a (Vishali et al., 2023)

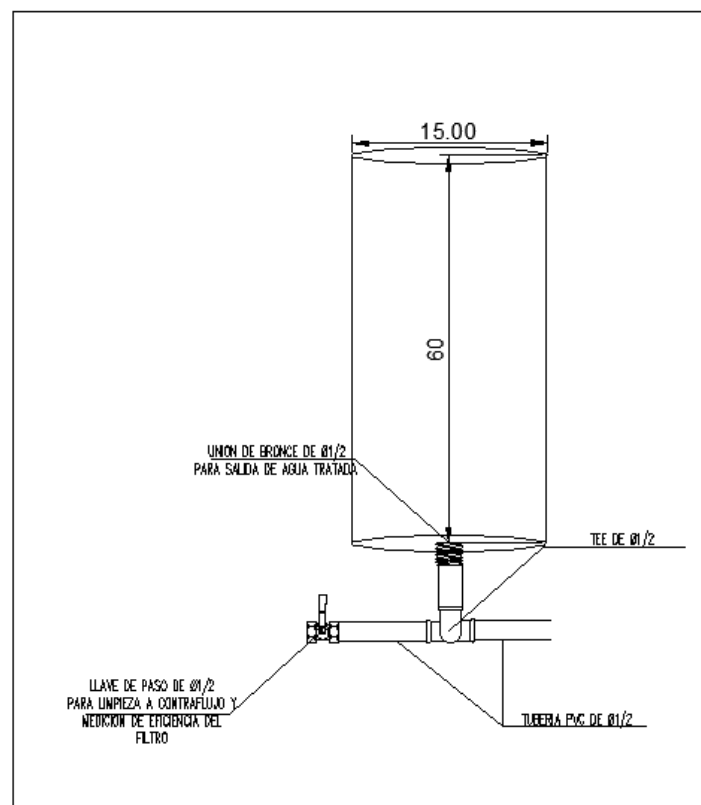
**3.5.2.4. Tanque de filtración de carbón**

El tanque de filtración de la cuarta etapa, fabricado en aluminio y soldado para prevenir fugas, está pintado con una capa especial para evitar la oxidación. Con un diámetro de 15 cm y una altura de 60 cm, este tanque está diseñado para reducir el pH elevado y disminuir los niveles de sulfatos en el agua tratada mediante el uso de carbón activado, conocido por su capacidad de adsorción gracias a su textura porosa. Además, en caso de presencia de metales, el filtro también ayuda a reducir su concentración en el agua gris tratada. El filtro está equipado

con una entrada en la parte inferior que permite realizar una limpieza a contracorriente, asegurando la eficacia continua del proceso. Durante la construcción, se añadió un soporte al tanque para crear el desnivel necesario para las siguientes fases. El filtro de carbón está compuesto por dos capas: una capa inferior de carbón que ocupa 30 cm del cilindro, y una capa superior que incluye 2 cm de carbón activado en polvo y 1 cm de arena fina. Durante las pruebas, se observó que en la segunda muestra el carbón en polvo se lavó parcialmente debido a la presión del agua, lo que alteró el color del agua filtrada y algunos otros parámetros.

## Figura 9

### *Dimensiones Del Filtro De Carbón*



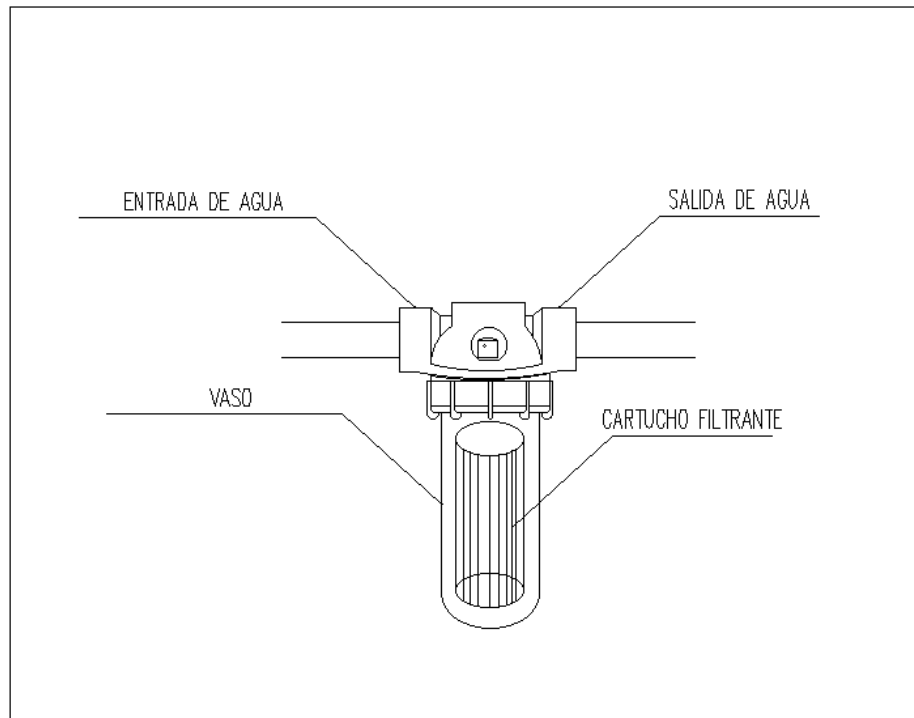
**Nota.** La figura muestra el tanque de filtración de carbón para el tratamiento de aguas grises domésticas. En base a (Vishali et al., 2023)

**Figura 10***Filtro de carbón barnizado*

**Nota.** La figura muestra el tanque de filtración de carbón para el tratamiento de aguas grises domésticas. En base a (Vishali et al., 2023)

### 3.5.2.5. Filtro de Rotoplas

El filtro de Rotoplas, fabricado en PVC, tiene una longitud de 18.3 cm y una altura de 30.9 cm. En esta quinta etapa, su función principal es eliminar cualquier residuo que los filtros anteriores no hayan capturado, asegurando así una mejor calidad del agua tratada. Este filtro se destaca por su facilidad de mantenimiento, proporcionando una solución eficiente y práctica para garantizar la pureza del agua procesada.

**Figura 11***Dimensiones del filtro de Rotoplas*

**Nota.** La figura muestra la adaptación del filtro de rotoplas para el tratamiento de aguas grises domésticas. En base a (Vishali et al., 2023)

### 3.6. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO PARA EL SEGUNDO OBJETIVO: COMPARAR LA EFECTIVIDAD DEL TRATAMIENTO FÍSICO- QUÍMICO, BASADO EN LA DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO (T1, T2, T3, T4, T5) Y PROCESOS DE FILTRACIÓN, EN LA MEJORA DE LA CALIDAD DEL AGUA GRIS DOMÉSTICA PARA SU REUTILIZACIÓN EN INODOROS, RIEGO DE PLANTAS ORNAMENTALES Y LAVADO DE AUTOS.

#### 3.6.1. Preparación de las Soluciones de Tratamiento

Concentración de Sulfato de Aluminio: Se preparo una solución de sulfato de aluminio con una concentración en porcentaje de 50% donde por formula:



$$C\% = \left( \frac{\text{Masa de sulfato de aluminio (g)}}{\text{Volumen de la solución (ml)}} \right) \times 100$$

- Masa de sulfato de aluminio = 500 g
- Volumen de la solución = 1000 ml (1 litro)

$$C\% = \left( \frac{500 \text{ g}}{1000 \text{ ml}} \right) \times 100 = 50\%$$

### 3.6.2. Aplicación de los Tratamientos

- **Mezcla de Sulfato de Aluminio con Agua Gris:** Cada lote de agua gris se mezclará la solución de sulfato de aluminio preparada a diferentes porcentajes. La mezcla se llevó a cabo en el reactor que permitió una agitación uniforme para asegurar que el sulfato de aluminio se distribuya homogéneamente en toda la muestra de agua.
- **Tiempo de Reacción:** Después de la adición de la solución de sulfato de aluminio, cada lote se dejará en reposo durante un tiempo predefinido, suficiente para permitir que el sulfato de aluminio reaccione con los contaminantes presentes en el agua gris. Durante este tiempo, se monitoreará el proceso de coagulación y floculación para observar la formación de flóculos, que son indicativos de la reacción del sulfato de aluminio con los sólidos suspendidos y otros contaminantes.
- **Decantación:** Tras el tiempo de reacción, se permitirá que los flóculos formados sedimenten. Luego, el agua tratada se separará cuidadosamente del lodo sedimentado, que contiene los flóculos y



los contaminantes removidos. Esta agua tratada será utilizada para los análisis postratamiento en la siguiente etapa.

### **3.6.3. Parámetros de calidad del agua gris doméstica**

Para llevar a cabo este proceso, se realizó una investigación exhaustiva sobre los parámetros necesarios para evaluar los tres tipos de usos propuestos en la investigación. Esto se debe a la ausencia de una normativa específica para el reúso de aguas grises domésticas. Según la revisión bibliográfica, se determinó que el agua tratada en el proyecto se utilizará exclusivamente para los siguientes usos:

#### **3.6.3.1. Lavado de autos**

La evaluación de varios parámetros fue fundamental para determinar la idoneidad del agua gris destinada al lavado de autos, ya que garantizó tanto la protección del vehículo como la preservación del entorno ambiental. Cada parámetro desempeñó un papel esencial en este proceso.

La temperatura del agua, por ejemplo, se erigió como un factor crítico debido a su capacidad para influir en la eficacia del detergente y la calidad general del lavado. El pH, por otro lado, desempeñó un papel dual al afectar tanto la eficacia del detergente como la susceptibilidad del vehículo a la corrosión.

La conductividad, otro parámetro clave, ofreció información sobre la posible presencia de sales disueltas, las cuales, de no haber sido controladas, podrían haber generado efectos perjudiciales tanto para el vehículo como para el entorno circundante. Por último, la turbidez se

reveló como un indicador crucial, ya que sugirió la existencia de sólidos suspendidos que, de no haber sido abordados, podrían haber ocasionado daños al vehículo y tenido consecuencias negativas para el medio ambiente.

En conclusión, la evaluación integral de estos parámetros no solo aseguró la eficiencia del proceso de lavado de autos, sino que también respaldó la adopción de prácticas ambientalmente responsables, garantizando que el agua gris utilizada fuera totalmente compatible con los estándares de sostenibilidad y cuidado del vehículo.

**Tabla 7**

*Parámetros para el reuso de agua gris en lavado de autos*

PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR LIMITE
Ph	unidades	5,0-9,0
Temperatura de muestra	°C	30
caudal	L/s	N.E
sólidos sedimentables	ML/L-h	2
sólidos suspendidos totales	mg/L	600
DBO <sub>5</sub>	mg/L O <sub>2</sub>	800
DQO	mg/L O <sub>2</sub>	1500
tensioactivos	mg/L LAS	10
grasas y aceites	mg/L	100
hidrocarburos totales	mg/L	20

**Nota.** La tabla muestra los parámetros que se usaron para comparar los resultados del tratamiento de agua gris doméstica en el reuso de lavado de autos. Tomada de: (Resolución 3957 de 2009 Secretaría Distrital de Ambiente, s. f.)

### 3.6.3.2. Riego de plantas ornamentales

La utilización de agua regenerada para el riego de cultivos no destinados a la alimentación ofrece una oportunidad limitada de exposición humana directa al agua. Esta circunstancia conlleva requisitos

de tratamiento y estándares de calidad del agua menos rigurosos en comparación con otras modalidades de reutilización.

**Tabla 8**

*Parámetros para el reusó de agua gris en riego de plantas ornamentales*

	Casos Prácticos				valor de las revisiones bibliográficas		rango o límites superiores recomendados para el riego
	Casa A	Casa B	Casa C	Casa D	Agua gris de lavandería	Agua gris de baño	
análisis de parámetros in situ							
pH	6.8-7.8	6.8-8.2	7.1-8.3	6.1-7.7	7.1-10	6.4-8.1	6.5-8.5 (a)
Conductividad Eléctrica (µS/cm)	117-800	116-1,150	300-630	100-790	190-1,400	82-250	950-1,900 (a)
TSS	88-110	78-163	68-86	49-120	68-280	7-207	115 (e)
TOS	74.88-512	74.24-736	192-403	64-505	590		
DQO	180-291	445-621	35-739	90-180	231-2,950	100-633	
DBO5	90-130	40-180	24-200	18-120	48-472	44-300	<MI (a). <SO (d) 90-290 (e)
Calcio (C.)	7.5-20	6-20	25-35	10-25	3.9-12	3.5-7.9	20-60 (e)
Magnesio (Mg)	2.1-9.8	2-5.2	1.4-2.5	1.9-6.7	1.1-2.9	1.4-2.3	10-25 (e)
Potasio (K)	0.05-1.5	0.85-2.5	21-30	10-18	1.1-17	1.5-5.2	5-20 (e)
Sodio (Na)	41-180	72-85	43-105	76-100	49-480	7.4-18	<230 (a) 150 (b) 29-230 (e)
Cloruro (Cl)	30-66	53-880	50-140	67-150	9-88	9.0-18	250 (b)
NO <sub>x</sub> as N	0.01-0.3	0.01-0.4	0.04-2.1	0.05-0.38	0.1-0.6	<0.05-0.20	
NH <sub>3</sub> as N	0.24-5.2	0.022-6.7	0.40-15	0.34-8.6	<0.1-1.9	<0.1-15	<1.0-25.4 (NH <sub>3</sub> )(e)
TKN as N	1.33-20	1.12-35	19-25	12-22	1-40	4.6-20	25-125 (a) 2.1-31.5 (e)
OP	<0.02-0.44	0.35-6.3	0.18-2.49	0.16-5.4	0.062-57	0.11-2.8	
TP	0.22-67	3-20	0.23-2.4	0.18-18	ND...;> 171	0.11->48.8	<12 (total) (a) 0.6-27.3 (e)
TN	5.3-30	10-38	24-32	12-31	1.1-40.3	3.6-19.4	
NO <sub>x</sub> +N01 Met11	0.008-0.13	<0.02-3.6	0.046-0.18	0.01-0.15			
Boro (mg/L)	0.07-0.62	0.09-1.78	0.03-0.23	0.08-6	0.31 ±0.06	<0.1-0.5	0.4 (b). 0.80 (d)
SAR	7.7-11.2	6.1-16.4	2.9-4.9	5.7-11.4	4.8-6		4.0 (a);5.0 (b)

**Nota** en base en (Christova-Boal et al., 1996),(F. Li et al., 2009),(Donner et al., 2010),(Christova-Boal et al., 1996), (F. Li et al., 2009),(Gross et al., 2008),(Donner et al., 2010)

### 3.6.3.3. Descarga de inodoros

En el caso de reutilización para inodoros, existen algunos parámetros los cuales deben cumplirse que su límite máximo permisible varía según el país como se muestra en la tabla 9

**Tabla 9**

*Parámetros para el reusó de agua gris en tanques de inodoro*



PARÁMETROS	UND	CHINA <sup>a</sup>	USA <sup>b</sup>	CANADA <sup>c</sup>	UK <sup>d</sup>	ITALY <sup>e</sup>	ISRAEL <sup>f</sup>
pH		6-Set	6-Set	-	5-9.5	6.9	-
OLOR		No desagradable	-	-	-	-	-
COLOR	Pt-Co	30	-	-	-	-	-
TURBIEDAD	NTU	5	2	5	10	-	-
TSS	(mg/L)	-	-	20	10	10	10
COD	(mg/L)	-	-	-	-	100	100
BOD	(mg/L)	10	10	20	-	20	10
NH3-N	(mg/L)	10					
TN	(mg/L)	-	-	-	-	15	-
TP	(mg/L)	-	-	-	-	2	-
E.COLI	(ECFU/ML)	300	-	-	-	100	-
COLIFORMES FECALES	(ECFU/ML)	-	ND	200	1000	-	-
COLORO RESIDUAL	(mg/L)	tras contacto 30 min, Cl <sub>2</sub> ≥1, Cl <sub>2</sub> del final de tubería ≥0,2	>1	>0.5	<2	-	-

**Nota.** La tabla muestra los parámetros que se usaron para comparar los resultados del tratamiento de agua gris doméstica en el reusó en tanques de inodoro. En base (*General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China (AQSIQ) Decree No.3 Laying down the Measures on the Administration of Inspection and Quarantine of Entry-Exit Express Deliveries.* | FAOLEX, s. f.) (Couto et al., 2015),(Oh et al., 2018),(Couto et al., 2015),(Oh et al., 2018),(Couto et al., 2015),(Oh et al., 2018),e(Oh et al., 2018),f(Oh et al., 2018)

### 3.6.3.4. Parámetros para la investigación

#### Tabla 10

#### *Parámetros para reusó de aguas grises domésticas*

Nota. La tabla muestra los parámetros que se usaron para comparar en los 3 tipos de reusos de aguas grises domésticas de la investigación. Elaborada basada en (Mohamed et al., 2013)<sup>a</sup>, (Ren et al., 2020)<sup>b</sup>, (Albarracín Heredia, 2018)<sup>c</sup>



N°	Parámetros para reuso de aguas grises domésticas	Unidad de medida	LMP para C1	LMP para C2	LMP para C3
1	PH		6–9 <sup>a</sup>	6.5–8.5 <sup>b</sup>	5-9 <sup>c</sup>
2	SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	(mg/L)	10–20 <sup>a</sup>	115 <sup>b</sup>	600 <sup>c</sup>
3	DBO5	(mg/L)	10–20 <sup>a</sup>	<40 <50 90–290 <sup>b</sup>	800 <sup>c</sup>
4	DQO	(mg/L)	100 <sup>a</sup>	-	1500 <sup>c</sup>
5	COLOR	Pt-Co	30 <sup>a</sup>	-	-
6	FOSFORO TOTAL	(mg/L)	2 <sup>a</sup>	<12 0.6–27.3 <sup>b</sup>	-
7	COLORO RESIDUAL	(mg/L)	>0.5<2 <sup>a</sup>	-	-
8	ELECTRO CONDUCTIVIDAD	(μS/cm)	-	950-1900 <sup>b</sup>	-
9	GRASAS Y ACEITES	mg/L	-	-	100 <sup>c</sup>



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se muestran los resultados del análisis sobre la influencia del tratamiento físico-químico en la calidad del agua gris doméstica. Se describen los cambios observados en los parámetros de calidad del agua gris antes y después del tratamiento, y se evalúa la eficacia del método empleado. Los resultados se dividen en secciones que abordan los distintos parámetros de calidad del agua, incluyendo turbidez, pH, DQO, DBO5, y la concentración de sólidos suspendidos totales (SST).

#### **4.1. RESULTADOS DEL OBJETIVO 1 EVALUAR LA EFECTIVIDAD DEL PROTOTIPO ADAPTADO, QUE INCORPORA PROCESOS DE COAGULACIÓN, SEDIMENTACIÓN Y FILTRACIÓN, EN LA MEJORA DE LA CALIDAD DEL AGUA GRIS DOMÉSTICA.**

##### **4.1.1. Uso del prototipo**

##### **4.1.1.1. Almacenamiento**

El tanque de almacenamiento funciono de manera correcta ya que almaceno de forma eficiente el agua gris, y puesto que este en la parte que se conecta con el reactor tiene una llave de paso se pudo controlar la presión con la que bajo el agua al reactor.

En esta etapa el agua gris a simple vista tenía un color oscuro y presentaba espuma debido a las fuentes de las que proviene, tenía un olor tolerable puesto que la muestra fue recolectada el mismo día del uso y tenía sólidos suspendidos provenientes de las diferentes fuentes de agua

### Figura 12

*Tanque de almacenamiento*



**Nota.** La figura muestra el tanque de almacenamiento.

#### 4.1.1.2. Reactor

La función del reactor al sacar la parte interna fue más eficiente y puesto que se controló la presión del agua se colocó de a pocos la solución de sulfato de aluminio que fue mezclada por gravedad y cuando el cilindro de la parte media se fue llenando tuvo un efecto de rebalse

cayendo en la parte externa del reactor bajando por el niple que se colocó con salida directa al filtro de arena y ya que la parte externa del reactor tiene una forma cóncava, en la parte de abajo por el proceso de sedimentación iban quedando los flocs formados pasando solo el agua ya tratada con el sulfato de aluminio

### Figura 13

*Mezcla de sulfato de aluminio con el agua gris doméstica*



**Nota.** La figura muestra la entrada de agua del reactor.

#### 4.1.1.3. Tanques de Filtración

En el caso del filtro de arena la presión que se redujo ayudo a que el proceso sea más eficiente ya que a un inicio se estaba desbordando, el agua que llego al filtro de arena era de un color más claro del que se vio

a un inicio en el tanque de almacenamiento y tenía menos sólidos suspendidos

El filtro de arena tuvo una buena función, pero durante la muestra 2 hubo un problema que no se mostró en pruebas iniciales ya que el carbón en polvo que se colocó afectó el color de la muestra por lo tanto para las muestras siguientes se tuvo que poner más arena en el filtro controlando este problema

### Figura 14

*Tanques de filtración de arena y carbón*



**Nota.** La figura muestra los tanques de filtración de arena y carbón en combinación.

#### 4.1.1.4. Filtro de Rotoplas

El filtro de Rotoplas tuvo un buen desempeño durante todo el tratamiento en las diferentes muestras

**Figura 15***Filtro de Rotoplas*

**Nota.** La figura muestra la salida de agua del filtro de Rotoplas.

#### **4.2. RESULTADOS DEL OBJETIVO 2: COMPARAR LA EFECTIVIDAD DEL TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO, BASADO EN LA DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO (T1,T2,T3,T4,T5) Y PROCESOS DE FILTRACIÓN, EN LA MEJORA DE LA CALIDAD DEL AGUA GRIS DOMÉSTICA PARA SU REUTILIZACIÓN EN INODOROS, RIEGO DE PLANTAS ORNAMENTALES Y LAVADO DE AUTOS.**

En la siguiente tabla se describe los resultados de cada muestra comparando los resultados obtenidos de acuerdo al porcentaje de sulfato de aluminio que se añadió en cada una de ellas



**Tabla 11**

*Resultado de las 5 muestras con sulfato de aluminio a diferentes porcentajes*

Parámetros	Unidad	To	T- 1	T- 2	T- 3	T- 4	T- 5
pH		8.48	7.01	7.1	7.29	7.27	7.08
Sólidos totales en suspensión	mg/L	836.2	925.6	628.4	724.5	587.4	125.8
Conductividad eléctrica	mS/cm	3.46	4.2	4.77	4.19	3.68	4.14
Color	Unid. Pt/Co	500	530	495	500	420	160
Fosforo total	mg/L	15.2	7.2	6.5	7	5.5	2.3
Cloro residual	mg/L	1.11	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Aceites y grasas	mg/L	13	9.3	5.4	5.7	4.8	1.28
Demanda química de oxígeno	mg/L	1245	524	1345	328.6	198.7	20.4

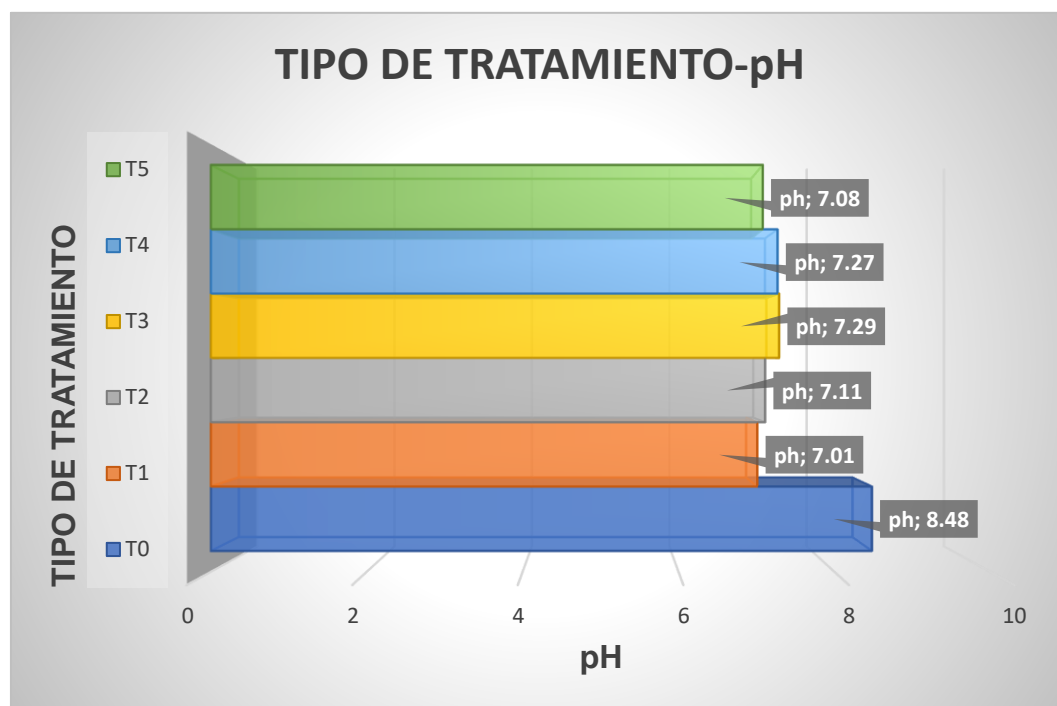
**Nota.** La tabla muestra los resultados de los análisis sin tratamiento y con tratamiento.

## 4.2.1. Resultados de ph

El grafico muestra la relación entre el porcentaje de sulfato de aluminio aplicado en el tratamiento físico químico. Los datos se presentan en un rango de 0% a 0.5% de coagulante.

**Figura 16**

*Sulfato de aluminio-ph*



El pH inicial del agua gris, de 8.48, disminuye gradualmente a medida que incrementa la concentración de coagulante, estabilizándose en un pH de 7.01 con un 0.5% de coagulante, lo que indica que el sulfato de aluminio reduce el pH del agua, llevándolo de ligeramente alcalino a casi neutro. La dosis de 100 mg/L es la más óptima para alcanzar un pH neutro en el tratamiento de aguas grises domésticas. Además, un valor de  $R^2$  de



0.5962 sugiere que el modelo de regresión utilizado para relacionar las concentraciones de sulfato de aluminio con la reducción del pH es relevante y proporciona una medida confiable de la capacidad predictiva del modelo.

**Discusión**

Según Vishali et al (2023) en su estudio titulado “La depuración de agua residual de lavandería doméstica en un sistema de tratamiento integrado consiste en un proceso de coagulación y ultrafiltración con membranas”, se investiga el tratamiento de aguas grises de lavandería mediante un proceso que incluye coagulación, filtración de arena, adsorción con carbón y ultrafiltración. En este estudio, también se analiza el parámetro de pH.

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos al usar dos tipos de coagulantes: C-1 (quitosano) y C-2 (poliamina).

**Tabla 12**

*Comparación de resultados del sistema de tratamiento integrado C-1 Quitosano C-2 Poliamina.*

---

CRUDO	COAGULACIÓN	FILTRACIÓN DE ARENA	ADSORCIÓN	ULTRAFILTRACIÓN	NORMAS DE AGUA POTABLE
-------	-------------	---------------------	-----------	-----------------	------------------------

---



	C-1	C-2	C-1	C-2	C-1	C-2	C-1	C-2	Límite deseable (Max.)	Límite admisible (max.)	
pH	808	651	648	664	545	663	642	683	602	6,5-8,5	Sin relajación

**Nota.** La tabla muestra los resultados del parámetro pH con 2 coagulantes naturales. Tomado de (Vishali et al., 2023)

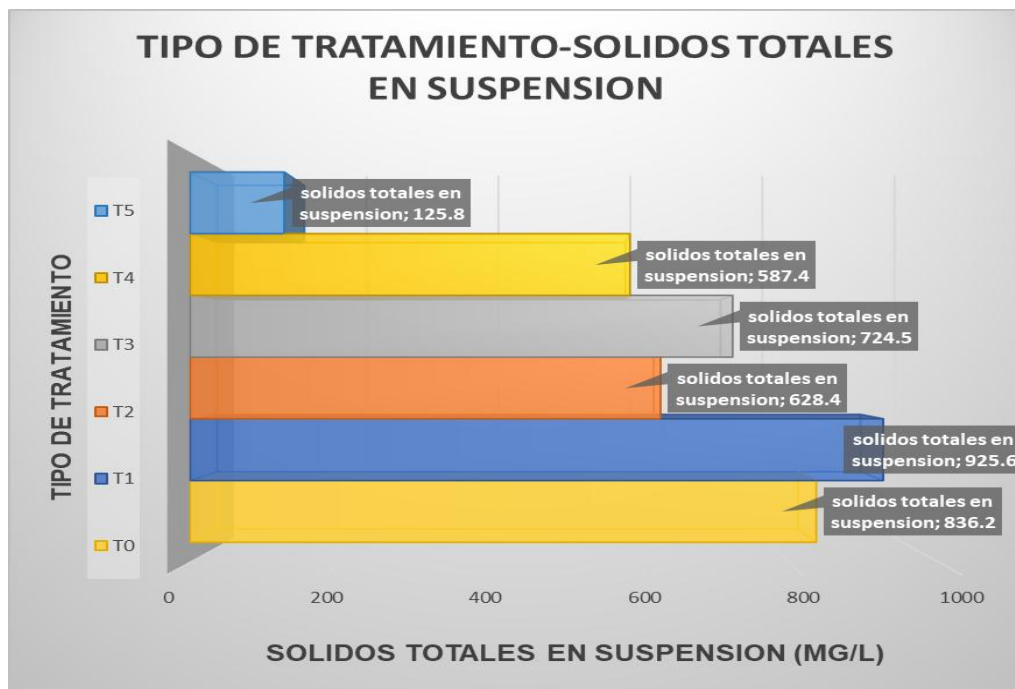
Al analizar la tabla anterior, se observa que el pH inicial de 8.08 se reduce a 6.83 con el uso del coagulante C-1 y a 6.02 con el coagulante C-2 después de pasar por el sistema propuesto por el investigador, lo que sugiere que C-1 produce un pH ligeramente ácido. Al comparar estos resultados con los obtenidos por (Vishali et al., 2023) se aprecia que ambas investigaciones muestran una reducción del pH hacia valores casi neutros, destacando la efectividad de los tratamientos en la corrección de la alcalinidad inicial del agua.

#### 4.2.2. Resultado de sólidos totales en suspensión

El gráfico muestra la relación entre el porcentaje de sulfato de aluminio aplicado en el tratamiento físico químico. Los datos se presentan en un rango de 0% a 0.5% de coagulante.

**Figura 17**

*Sulfato de aluminio-sólidos totales en suspensión*



Los STS inicial del agua gris es de 836.2 mg/L, disminuye gradualmente con el aumento del porcentaje de coagulante, a un 125.8 mg/L con un 0.5% de coagulante.

Los STS llega a un punto más bajo con la dosis de 500 mg/l siendo esta dosis la más óptima para la reducción de STS en el tratamiento de aguas grises domésticas.

R<sup>2</sup> de 0.981 que el modelo es altamente efectivo para explicar y predecir la reducción del pH del agua gris a partir de las concentraciones de sulfato de aluminio. Esto implica una correlación muy fuerte y un alto nivel de confianza en las predicciones del modelo.

## Discusión



Según Albarracín Heredia (2018) en su estudio titulado "SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL AUTOLAVADO SAMIWALL en su estudio titulado "Sistema de Tratamiento de Agua Residual en Autolavado Samiwall," se investiga el tratamiento del agua usada en un autolavado mediante un sistema que incluye un tanque de almacenamiento, un filtro de grava y arena, un filtro de diatomeas, un filtro de carbón, un proceso de cloración, y un segundo tanque de almacenamiento con recirculación constante y tratamiento con ozono.

En dicha investigación, se observa que los sólidos totales suspendidos (STS) afectan la transparencia del agua debido a su capacidad para mantenerse en suspensión por repulsión electrostática entre sus partículas, lo que genera turbidez. Esta turbidez influye negativamente en procesos de tratamiento como la filtración, donde puede obstruir filtros, y la desinfección, al esconder microorganismos. En el monitoreo ejecutado en la Caja de Inspección, se registró una concentración de STS de 128 mg/L, un valor moderado que se encuentra por debajo del límite de 600 mg/L establecido por la Resolución 3957 de 2009. Adicionalmente, se reportaron concentraciones bajas de sólidos sedimentables en las muestras, cumpliendo así con los parámetros normativos.

Al comparar estos hallazgos con los resultados de la actual investigación, se observa que, a pesar de utilizar un sistema de tratamiento algo diferente, ambos estudios muestran una disminución significativa de los sólidos totales suspendidos, aunque no se logra su eliminación completa. No

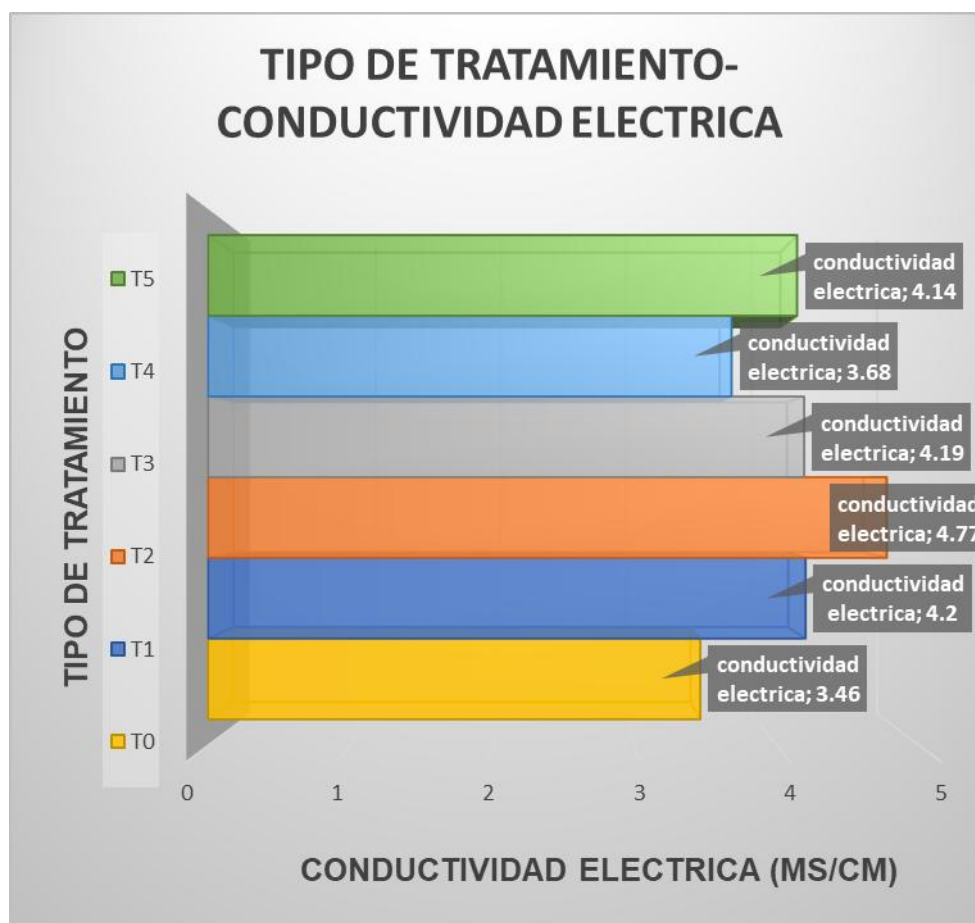
obstante, las concentraciones de STS en ambos casos se mantienen dentro de los límites permisibles establecidos por la normativa, lo que sugiere que los sistemas de tratamiento utilizados son efectivos para reducir la turbidez del agua a niveles aceptables.

### 4.2.3. Resultado de conductividad eléctrica

El grafico muestra la relación entre el porcentaje de sulfato de aluminio aplicado en el tratamiento físico químico. Los datos se presentan en un rango de 0% a 0.5% de coagulante.

**Figura 18**

*Sulfato de aluminio-conductividad eléctrica*





La conductividad inicial del agua gris es de 3.46 mS/cm y aumenta ligeramente con el tratamiento, alcanzando 4.14 mS/cm con un 0.5% de coagulante. El punto más bajo registrado durante el tratamiento es de 3.68 mS/cm, obtenido al aplicar 400 mg/L de solución de sulfato de aluminio en la muestra M-4. Un valor de  $R^2$  de 0.3013 sugiere que el modelo tiene una baja capacidad para explicar la relación entre las concentraciones de sulfato de aluminio y la reducción de la conductividad eléctrica del agua gris. Para mejorar la precisión del modelo, sería necesario considerar otras variables o factores adicionales que puedan estar influyendo en la conductividad, o mejorar la precisión de las mediciones y datos recolectados.

## Discusión

Según Mohamed et al. (2013) en su estudio titulado "A monitoring of environmental effects from household greywater reuse for garden irrigation" se investiga el tratamiento del agua gris utilizada en riego de plantas ornamentales ya que en Australia todas las casas poseen un sistema de tratamiento no es necesario implementar un tratamiento solo hacer la medición de parámetros de estas aguas .

En dicha investigación, se observa que la conductividad eléctrica es menor en las 4 casas que fueron estudiadas, aunque no todas tengan el mismo sistema de tratamiento.

**Tabla 13**

*Cuadro comparativo de aguas grises en las 4 casas con los parámetros recomendados para riego*

	Casos Prácticos				valor de las revisiones bibliográficas		rango o límites superiores recomendados para el riego
	Casa A	Casa B	Casa C	Casa D	Agua gris de lavandería	Agua gris de baño	
análisis de parámetros in situ							
Conductividad Eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	117-800	116-1,150	300-630	100-790	190-1,400	82-250	950-1,900 (a)

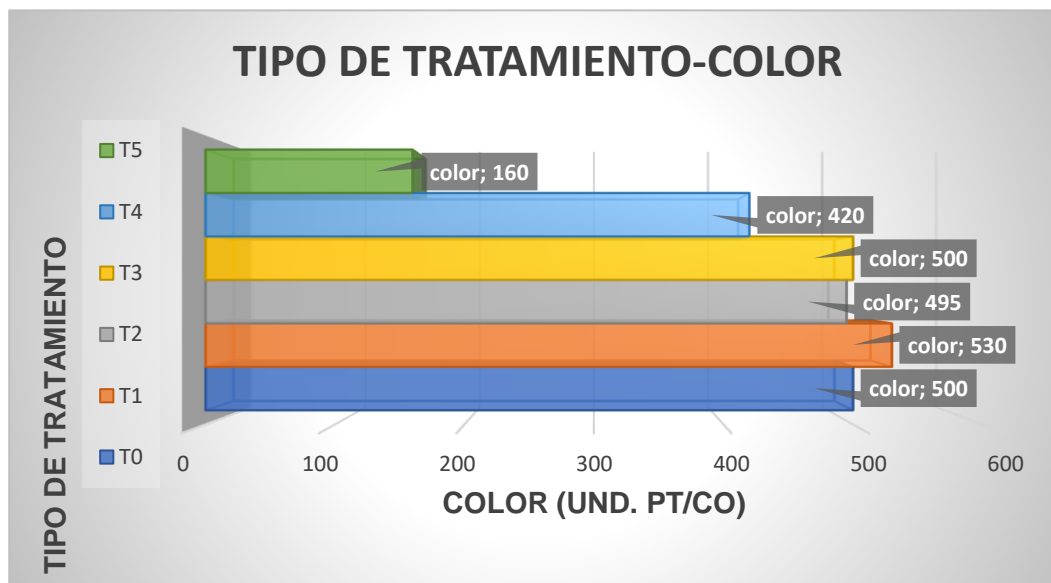
**Nota.** La tabla muestra los resultados de la conductividad eléctrica. En base en (Christova-Boal et al., 1996), (F. Li et al., 2009), (Donner et al., 2010), (Christova-Boal et al., 1996), (F. Li et al., 2009), (Gross et al., 2008), (Donner et al., 2010)

Como se ve en la figura anterior en las 4 casas el electro conductividad es menor a los límites recomendados.

Al comparar este parámetro con el estudio realizado encontramos que al analizar las 5 muestras estas también estaban dentro del rango y son aptas para usar en los 3 usos propuestos en la investigación

#### 4.2.4. Resultado de color

El gráfico muestra la relación entre el porcentaje de sulfato de aluminio aplicado en el tratamiento físico químico. Los datos se presentan en un rango de 0% a 0.5% de coagulante.

**Figura 19***Sulfato de aluminio-color*

El color inicial del agua gris, que era de 500 Unid. Pt/Co, disminuye gradualmente a medida que incrementa el porcentaje de coagulante, logrando 160 Unid. Pt/Co con un 0.5% de coagulante. El sulfato de aluminio demuestra ser eficaz en la reducción del color del agua, llevándolo a niveles muy bajos, con una dosis de 500 mg/L resultando ser la más óptima para este propósito en el tratamiento de aguas grises domésticas. Un valor de  $R^2$  de 0.9634 indica que el modelo utilizado para relacionar las concentraciones de sulfato de aluminio con la reducción del color del agua gris es altamente efectivo. Este valor sugiere que la mayor parte de la variabilidad en la reducción del color puede explicarse mediante el modelo, mostrando una correlación muy fuerte entre la concentración de sulfato de aluminio y la efectividad en la disminución del color, lo que lo hace confiable para predecir su impacto en el tratamiento del agua gris.



### Discusión

Según Vishali et al (2023) en su estudio titulado “La depuración de aguas residuales de lavandería doméstica en un sistema de tratamiento integrado consiste en un proceso de coagulación y ultrafiltración con membranas”, se investiga el tratamiento de aguas grises de lavandería mediante un proceso que incluye coagulación, filtración de arena, adsorción con carbón y ultrafiltración. En este estudio, también se analiza el parámetro de color.

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos al usar dos tipos de coagulantes: C-1 (quitosano) y C-2 (poliamina).

**Tabla 14**

*Comparación de resultados del sistema de tratamiento integrado C-1 Quitosano C-2 Poliamina.*

	CRUDO	COAGULACIÓN		FILTRACIÓN DE ARENA		ADSORCIÓN		ULTRA FILTRACIÓN		NORMAS DE AGUA POTABLE	
		C-1	C-2	C-1	C-2	C-1	C-2	C-1	C-2	Límite deseable (Max.)	Límite admisible (max.)
Color	1,213	0.295	0.396	0.034	0.3704	0.0276	0.2324	0.0218	0.144	5 Unid. Pt/Co	25 Unid. Pt/Co

**Nota.** Resultados del parámetro color. Tomado de (Vishali et al., 2023)

Al observar la tabla anterior, se observa que el color inicial es de 1.213. Después de pasar por el sistema propuesto por el investigador, se reduce a 0.0218 con C-1 y a 0.144 con C-2. Esto indica que con C-1 se obtiene un color casi cristalino.

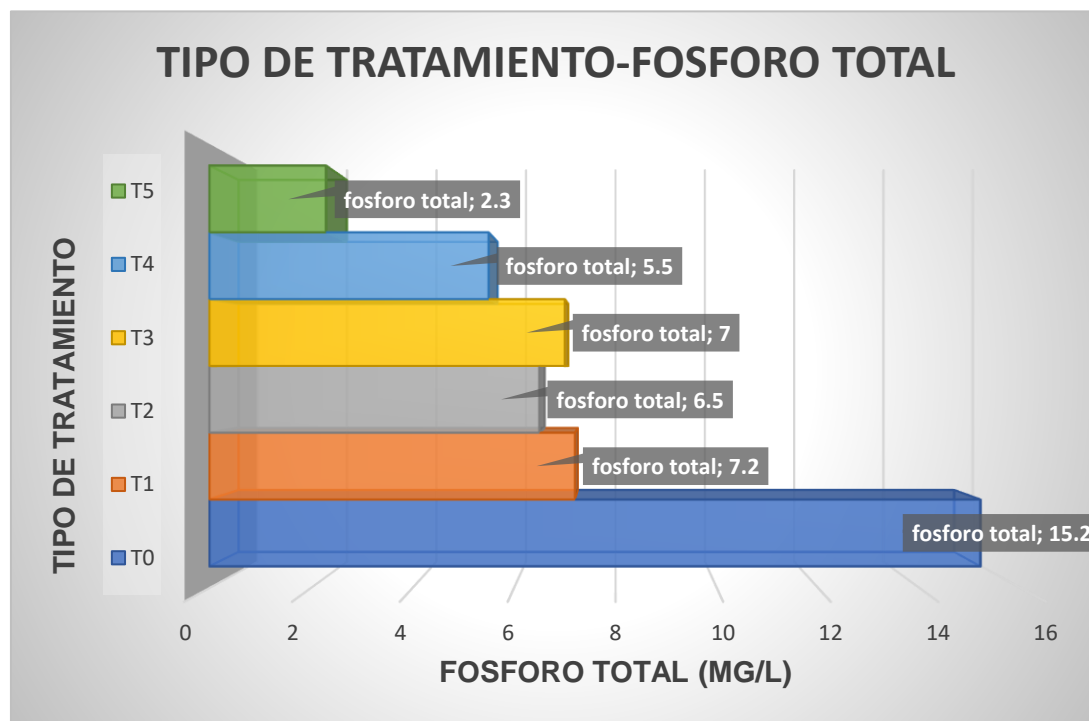
Comparando los resultados de esta investigación con los de Vishali, se observa que en ambas se registra una reducción del color, aunque en la presente investigación dicha reducción es menor que la observada en el estudio de Vishali.

#### 4.2.5. Resultado de fósforo total

El gráfico muestra la relación entre el porcentaje de sulfato de aluminio aplicado en el tratamiento físico químico. Los datos se presentan en un rango de 0% a 0.5% de coagulante.

**Figura 20**

*Sulfato de aluminio-fósforo total*





La concentración inicial de fósforo total en el agua gris es de 15.2 mg/L, y disminuye gradualmente a medida que se incrementa el porcentaje de coagulante, alcanzando 2.3 mg/L con un 0.5% de coagulante. El sulfato de aluminio es efectivo en reducir la concentración de fósforo total a niveles bajos, siendo una dosis de 500 mg/L la más óptima para este propósito en el tratamiento de aguas grises domésticas. Un valor de  $R^2$  de 0.8118 sugiere que el modelo utilizado para relacionar las concentraciones de sulfato de aluminio con la reducción del fósforo total en el agua gris es bastante sólido, explicando gran parte de la variabilidad en la reducción de fósforo total. Aunque el modelo es confiable, aún queda un pequeño porcentaje de variabilidad que no se explica, lo que podría mejorarse incluyendo variables adicionales o refinando el modelo actual.

## Discusión

Según X. Ren et al (2020) en su estudio titulado "Tecnologías de tratamiento de aguas grises y reutilización de agua recuperada para la descarga de inodoros", se investiga el tratamiento de aguas grises de lavandería mediante un proceso que incluye coagulación, filtración de arena, adsorción con carbón y ultrafiltración. En este estudio, también se analiza el parámetro de color.

**Tabla 15**

*Cuadro comparativo de aguas grises en las 4 casas con los parámetros recomendados para riego*

	Casos Prácticos				valor de las revisiones bibliográficas		rango o límites superiores recomendados para el riego
	Casa A	Casa B	Casa C	Casa D	Agua gris de lavandería	Agua gris de baño	
análisis de parámetros in situ							
FOSFORO	0.22-	3-20	0.23-	0.18-	ND...;>	0.11-	<12 (total) (a)
TOTAL	67		2.4	18	171	>48.8	0.6-27.3 (e)

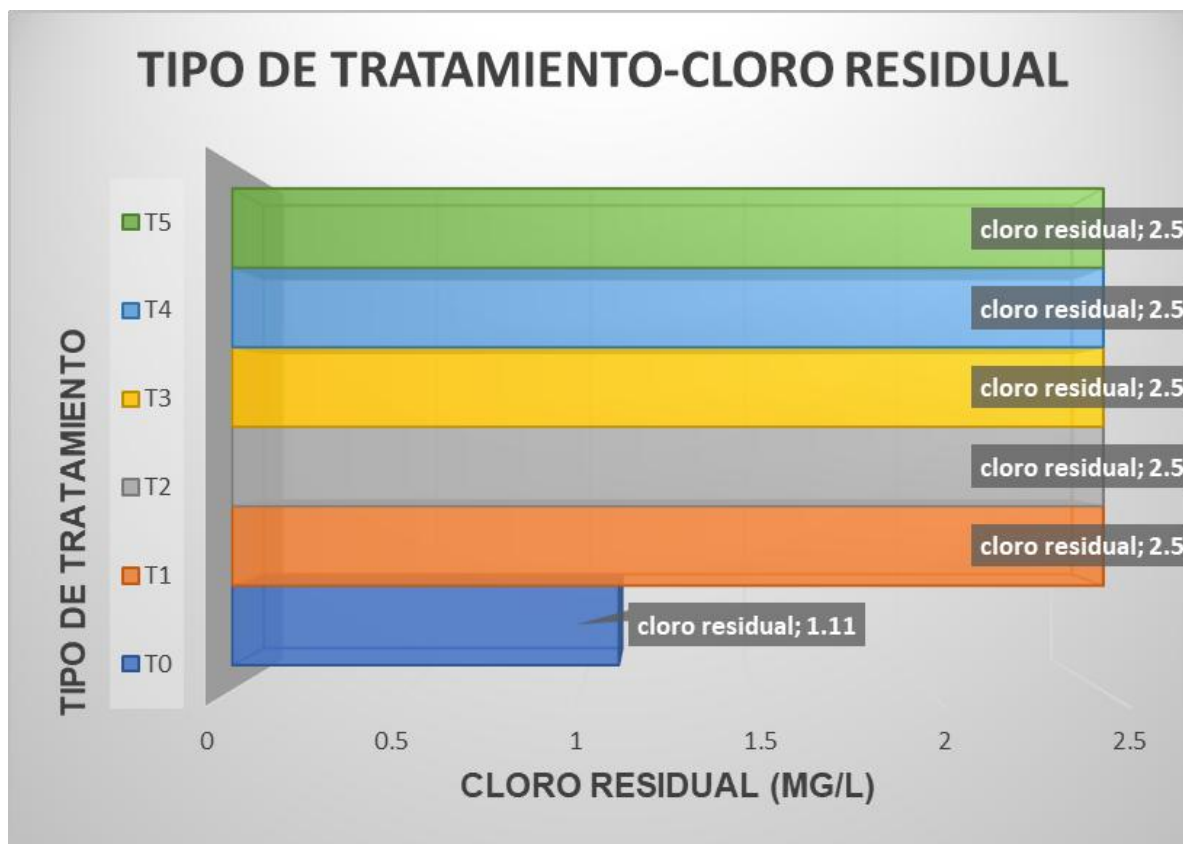
**Nota** .La tabla muestra el resultado del parámetro fosforo total .En base en (Christova-Boal et al., 1996),(F. Li et al., 2009),(Donner et al., 2010),(Christova-Boal et al., 1996), (F. Li et al., 2009),(Gross et al., 2008),(Donner et al., 2010)

Como se ve en la figura anterior en las 4 casas el fosforo total es menor a los limites recomendados.

Al comparar este parámetro con el estudio realizado encontramos que al analizar las 5 muestras estas también estaban dentro del rango y son aptas para usar en los 3 usos propuestos en la investigación

#### 4.2.6. Resultado de cloro residual

El grafico muestra la relación entre el porcentaje de sulfato de aluminio aplicado en el tratamiento físico químico. Los datos se presentan en un rango de 0% a 0.5% de coagulante.

**Figura 21***Sulfato de aluminio-cloro residual*

El cloro residual inicial en el agua gris es de 1.11 mg/L, y aumenta ligeramente hasta 2.5 mg/L con todos los porcentajes de tratamiento. El sulfato de aluminio incrementa el cloro residual del agua gris, llevándolo a niveles ligeramente más altos que los observados antes del tratamiento, alcanzando valores similares con los diferentes porcentajes de coagulante aplicados. Un valor de  $R^2$  de 0.7768 sugiere que el modelo utilizado para relacionar las concentraciones de sulfato de aluminio con los niveles de cloro residual en el agua gris tratada es bastante bueno, explicando una parte



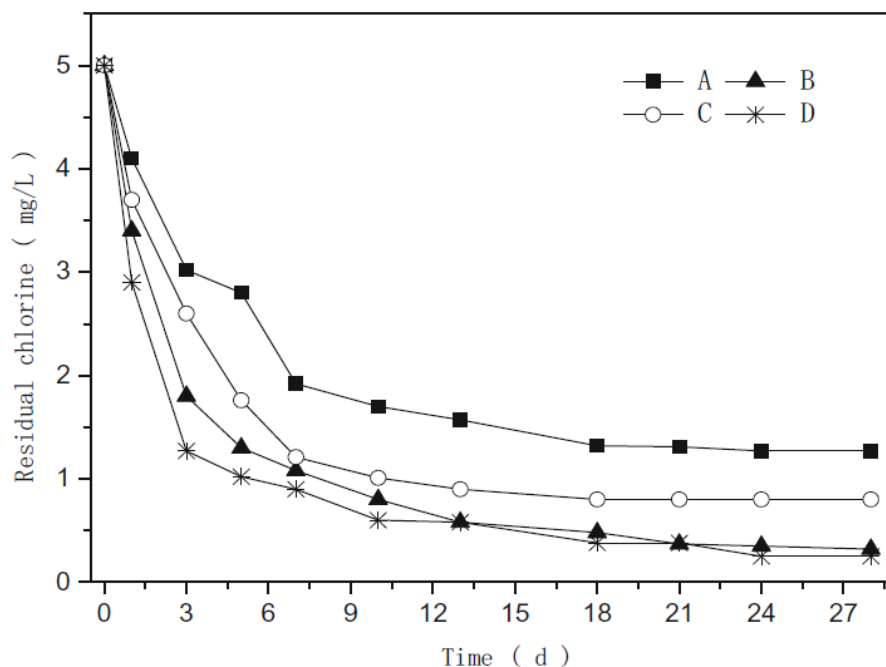
considerable de la variabilidad en el cloro residual. Aunque el modelo proporciona una base razonablemente sólida para predecir el impacto del sulfato de aluminio, aún queda una proporción significativa de variabilidad no explicada, lo que sugiere que podría mejorarse incluyendo variables adicionales o refinando el modelo actual.

## Discusión

Según X. Ren et a (2020) en su estudio titulado “Tecnologías de tratamiento de aguas grises y reutilización de agua recuperada para la descarga de inodoros”, se investiga el tratamiento de aguas grises mediante un biorreactor de membrana y un filtro biológico aireado en un experimento a escala de laboratorio de 1 año

Los niveles de cloro residual fueron 1,5, 0,6, 0,9 y 0,5 mg/L, respectivamente, después de 15 días. No se detectaron bacterias en ninguna de las aguas recuperadas después de 15 días. La calidad del agua del efluente de AG tratada con MBR fue mejor que la de las aguas residuales mixtas. Los resultados muestran que es viable utilizar AG purificada por MBR para la descarga de inodoros. Este estudio proporciona una base científica para la popularización y aplicación del agua recuperada para la descarga de inodoros.

Figura 22

*Reducción del cloro residual*

**Nota.** La figura muestra la reducción del parámetro cloro residual. Tomado de (Ren et al., 2020)

El cloro residual es un índice importante que afecta la estabilidad biológica del agua recuperada. Después de la adición de 5 mg/L de NaClO, el cloro residual en el balde A (tratamiento MBR) fue superior a 1,5 mg/L después de 15 días a 28 °C, mientras que los niveles de cloro residual en los baldes B (BAF + UF), C (BAF) y D (aguas residuales mixtas purificadas) fueron 0,6, 0,9 y 0,5 mg/L, respectivamente. Como se muestra en la Fig. 8, la concentración inicial de cloro residual en el agua recuperada purificada a partir de AG fue mayor que la del efluente purificado a partir de aguas residuales mixtas porque las aguas residuales mixtas contenían más

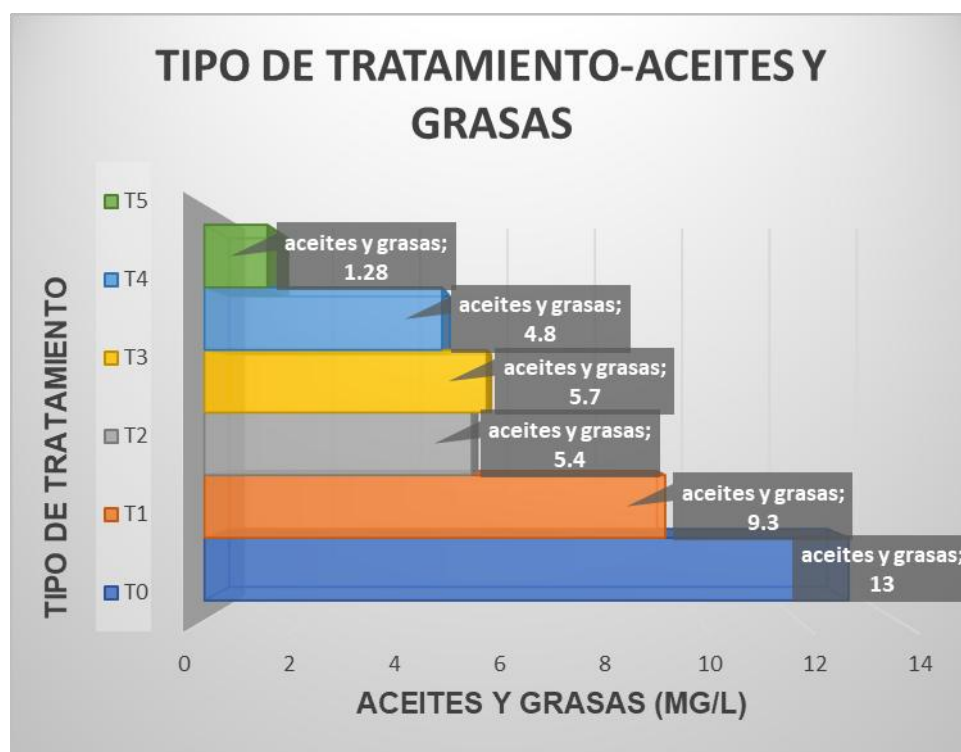
sustancias redox que consumían cloro residual. La materia orgánica puede acelerar el consumo de cloro residual.

#### 4.2.7. Resultado de aceites y grasas

El gráfico muestra la relación entre el porcentaje de sulfato de aluminio aplicado en el tratamiento físico químico. Los datos se presentan en un rango de 0% a 0.5% de coagulante.

**Figura 23**

*Sulfato de aluminio-aceites y grasas*



La concentración inicial de aceites y grasas en el agua gris es de 13 mg/L, y disminuye gradualmente a medida que se incrementa el % de



coagulante, alcanzando 1.28 mg/L con un 0.5% de coagulante. El sulfato de aluminio reduce significativamente la concentración de aceites y grasas en el agua, llevándola a niveles casi neutros. Con una dosis de 500 mg/L, se logra la concentración más baja, siendo esta la dosis más óptima para la reducción de aceites y grasas en el tratamiento de aguas grises domésticas. Un valor de  $R^2$  de 0.9703 indica que el modelo utilizado para relacionar las concentraciones de sulfato de aluminio con la disminución de aceites y grasas en el agua gris tratada es altamente efectivo, explicando casi toda la variabilidad en la reducción de estos contaminantes. Este valor alto de  $R^2$  sugiere que el modelo es confiable y puede ser utilizado con un alto grado de confianza para predecir la efectividad del sulfato de aluminio en la remoción de aceites y grasas del agua gris.

## Discusión

Según Albarracín Heredia (2018) en su estudio titulado "SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL AUTOLAVADO SAMIWALL", se investiga el tratamiento de agua usado en un autolavado mediante un sistema que consta de un tanque de almacenamiento, filtro de grava y arena, filtro de diatomeas, filtro de carbón, un proceso de cloración y un segundo tanque de almacenamiento el cual está en constante recirculación y recibe ozono.



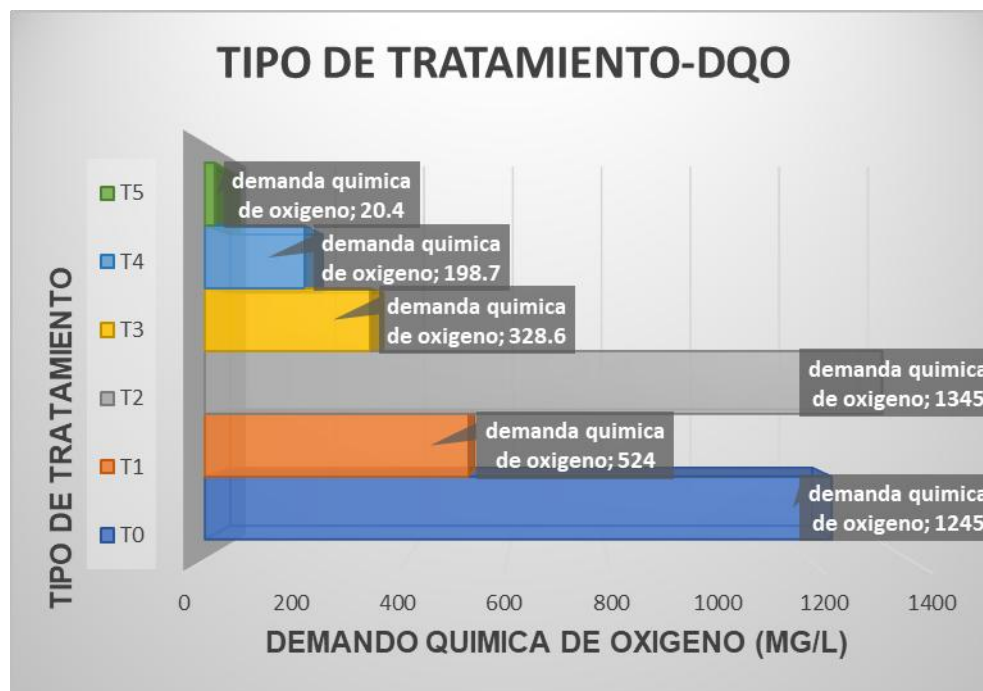
En esta investigación se analizarán sedimentos asociados a aceites y combustibles que generan iridiscencia en dichas aguas, las cuales son vertidas al alcantarillado y que deben ser analizadas para cumplir con los parámetros exigidos por el Decreto 631 de 2015 Resolución 3956, 3957 de 2009. Esto se realizará en 4 fases donde se evaluarán los resultados de cada fase. Las concentraciones de aceites y grasas reportadas en el primer caso son bajas en comparación con el límite máximo permitido por la ley, mientras que el valor reportado para hidrocarburos arroja un contenido medio. Sin embargo, se cumple con la Resolución en cuanto al contenido para estos parámetros en la muestra de ARI analizada.

Al igual que a la investigación analizada anteriormente y comparando la presente investigación se encuentra resultados similares pese a usar un sistema algo diferente la eliminación de los sólidos totales suspendidos no se llega a un 100 % pero si están dentro del rango de los Imp propuestos

#### **4.2.8. Resultado de DQO**

El grafico muestra la relación entre el porcentaje de sulfato de aluminio aplicado en el tratamiento físico químico. Los datos se presentan en un rango de 0% a 0.5% de coagulante.

Figura 24

*Sulfato de aluminio-DQO*

El DQO inicial del agua gris es de 1245.0 mg/L, y disminuye gradualmente con el aumento del porcentaje de coagulante, alcanzando 20.4 mg/L con un 0.5% de coagulante. El sulfato de aluminio reduce notablemente el DQO del agua, y la dosis de 500 mg/L resulta ser la más óptima para alcanzar los niveles más bajos en el tratamiento de aguas grises domésticas. Un valor de  $R^2$  de 0.8459 indica que el modelo utilizado para relacionar las concentraciones de sulfato de aluminio con la disminución de la DQO en el agua gris tratada es bastante sólido, explicando una parte considerable de la variabilidad en la reducción de DQO. Sin embargo, aún queda una proporción significativa de la variabilidad que no se explica por el

modelo, lo que sugiere que podría mejorarse mediante la inclusión de variables adicionales o el refinamiento del modelo actual.

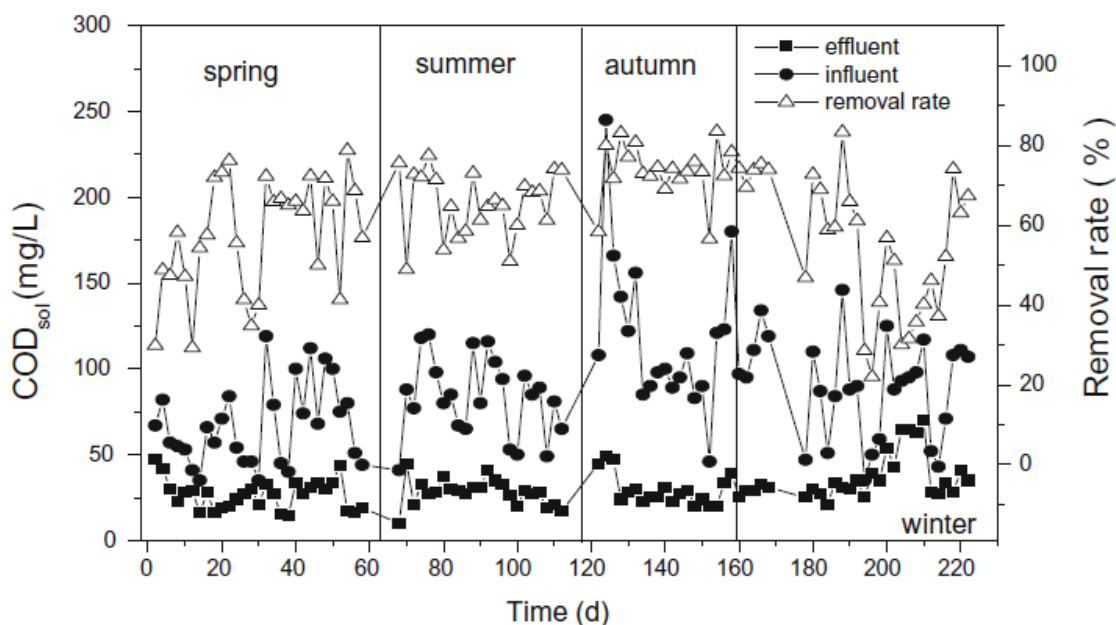
## Discusión

Según X. Ren et a (2020) en su estudio titulado “Tecnologías de tratamiento de aguas grises y reutilización de agua recuperada para la descarga de inodoros”, se investiga el tratamiento de aguas grises mediante un biorreactor de membrana y un filtro biológico aireado en un experimento a escala de laboratorio de 1 año

Demostraron que la DQO promedio disminuyó de 130–322 a 18 mg/L,

**Figura 25**

*Reducción de DQO*



**Nota.** La figura muestra la reducción del parámetro DQO .Tomado de (Ren et al., 2020)



Como se muestra en la figura, el rango de DQO en el influente fue de 40 a 150 mg/L. La DQO en el efluente MBR fue inferior a 40 mg/L, y la reducción fue de alrededor del 80%. En invierno, la DQO del efluente MBR fluctuó mucho, de 10 a 40 mg/L, y la reducción fue del 60 al 90%. La DQO del efluente MBR fue de 7 a 15 mg/L en primavera (media 13,7 mg/L), 10 a 20 mg/L en verano (media 12,9 mg/L) y 10 a 25 mg/L en otoño (media 17,3 mg/L). Aunque el TRH del MBR fue más corto en verano y otoño, y la concentración de lodos fue menor que en invierno, la reducción de la DQO fue mejor, principalmente debido al cambio en la actividad enzimática microbiana en el lodo activado asociado con el aumento de la temperatura del agua, que mejoró la degradación de contaminantes. Obsérvese que la temperatura del AG en el pequeño dispositivo de prueba fue inferior a 10 °C en invierno, lo que resultó en un efecto de tratamiento deficiente. En la vida real, debido a que el AG se recicla cerca de donde se recoge y debido a que el agua de baño es cálida, la temperatura del AG es generalmente superior a 12 °C incluso en invierno, por lo que el proceso MBR no se ve muy afectado por la estación. Además de la reducción de la DQO causada por la degradación biológica en el reactor MBR, las membranas de ultrafiltración eliminan la materia orgánica a través de la intercepción obligatoria, lo que garantiza un efluente estable y de alta calidad. Por lo tanto, la DQO del efluente MBR cumplió con el estándar para la reutilización del agua para la descarga del inodoro.

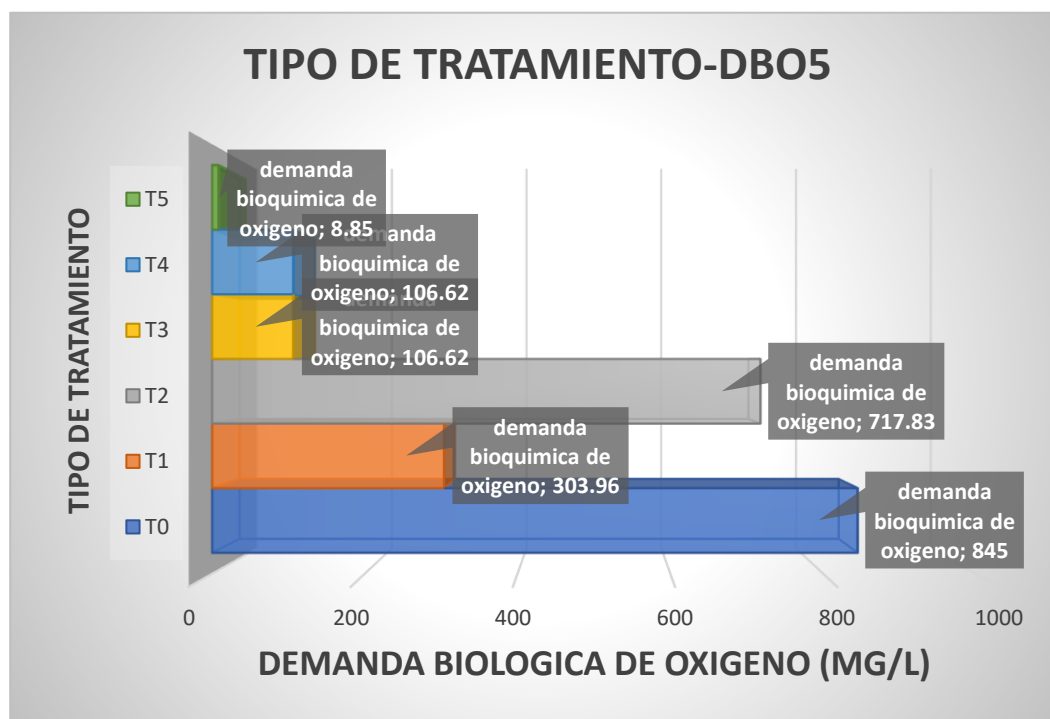
Al analizar ambos estudios se encontró que ambos tienen una buena disminución de DQO pese a usar tratamientos diferentes sin embargo en esta investigación no se realizó análisis en diferentes temporadas.

#### 4.2.9. Resultado de DBO5

El grafico muestra la relación entre el porcentaje de sulfato de aluminio aplicado en el tratamiento físico químico. Los datos se presentan en un rango de 0% a 0.5% de coagulante.

**Figura 26**

*Sulfato de aluminio-DBO5*



El DBO5 inicial del agua gris es de 845.0 mg/L y disminuye gradualmente a medida que aumenta el porcentaje de coagulante, alcanzando 8.85 mg/L con un 0.5% de coagulante. El sulfato de aluminio es



efectivo en reducir el DBO5 a niveles bajos, siendo la dosis de 500 mg/L la más óptima para la reducción de DBO5 en el tratamiento de aguas grises domésticas. Un valor de  $R^2$  de 0.7826 indica que el modelo utilizado para relacionar las concentraciones de sulfato de aluminio con la reducción del DBO5 del agua gris explica aproximadamente el 78.26% de la variabilidad observada. Esto sugiere que el modelo es bastante sólido y puede predecir de manera precisa cómo las concentraciones de sulfato de aluminio afectarán el DBO5 del agua gris.

## Discusión

Según Albarracín Heredia (2018) en su estudio titulado "SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL AUTOLAVADO SAMIWALL", se investiga el tratamiento de agua usado en un autolavado mediante un sistema que consta de un tanque de almacenamiento, filtro de grava y arena, filtro de diatomáceas, filtro de carbón, un proceso de cloración y un segundo tanque de almacenamiento el cual está en constante recirculación y recibe ozono.

En esta investigación, la concentración obtenida a la salida de la Caja de Inspección fue de 95 mg/L O<sub>2</sub>, valor que nos permite evidenciar la existencia de cantidades insignificantes de carga orgánica.

La DBO5 disminuyó en la muestra 2 gracias a los filtros de grava y arena, ya que retienen las partículas de DBO5. Este parámetro cumple con la norma en los niveles máximos permisibles.



Al igual que en la investigación la reducción de DBO5 fue significativa para el proyecto

#### **4.3. COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON LMP PROPUESTOS**

Una vez obtenidos los resultados de las mediciones de cada muestra, se procedió a una comparación exhaustiva con los Límites Máximos Permisibles (LMP) determinados para los tres usos propuestos en esta investigación: lavado de autos, riego de plantas ornamentales, uso en inodoros. Estos límites, previamente investigados y documentados, sirvieron como criterios de referencia para evaluar la adecuación del agua gris tratada en cada contexto



**Tabla 16**

*Comparación de datos para lavado de autos*

Parámetro	Unidad	Lmp para lavado de autos	T – 1	T – 2	T – 3	T – 4	T – 5
pH		6-9	7.01	7.11	7.29	7.27	7.08
Sólidos totales en suspensión	mg/L	10-20	925.6	628.4	724.5	587.4	125.8
Conductividad eléctrica	mS/cm	-	4.20	4.77	4.19	3.68	4.14
Color	Unid. Pt/Co	30	530	495	500	420	160
Fosforo total	mg/L	2	7.2	6.5	7.0	5.5	2.3
Cloro residual	mg/L	>0.5<2	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Aceites y grasas	mg/L	-	9.3	5.4	5.7	4.8	1.28
Demanda química de oxígeno	mg/L	100	524.0	1345.0	328.6	198.7	20.4
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	10-20	303.96	717.83	106.62	106.62	8.85

**Nota.** La tabla muestra la comparación de los parámetros con cada uno de los tratamientos para su reusó en lavado de autos



En el análisis de pH, se determinó que todas las muestras, incluyendo la inicial, son aptas para el reusó en el lavado de autos. Sin embargo, en cuanto a sólidos totales en suspensión, ninguna de las muestras, tratadas o no, cumple con los LMP para este uso. Respecto a la conductividad eléctrica, el lavado de autos no tiene un LMP específico, lo que implica que este parámetro no es una limitación. En cuanto al color, ninguna de las muestras cumple con el LMP requerido para el lavado de autos. En el caso del fósforo total, la muestra M-5, tratada con 500 mg/L de sulfato de aluminio, es la que más se aproxima al LMP, con un valor de 2.3 mg/L. En lo referente al cloro residual, todas las muestras exceden el LMP por un margen de 0.5 mg/L. Para los parámetros de aceites y grasas, no existe un LMP establecido para el lavado de autos, lo que también aplica para la conductividad eléctrica. Finalmente, en los parámetros de DQO y DBO5, la muestra T-5 cumple con los LMP establecidos, presentando valores de 20.4 mg/L para DQO y 8.85 mg/L para DBO5, ambos dentro del rango permitido para su uso en el lavado de autos.



**TABLA 17**

*Comparación de datos para plantas ornamentales*

Parámetro	Unidad	Lmp para río de plantas ornamentales	T – 1	T – 2	T – 3	T – 4	T – 5
pH		6.5-8.5	7.01	7.11	7.29	7.27	7.08
Solidos totales en suspensión	mg/L	115	925.6	628.4	724.5	587.4	125.8
Conductividad eléctrica	mS/cm	950-1900	4.20	4.77	4.19	3.68	4.14
Color	Unid. Pt/Co	-	530	495	500	420	160
Fosforo total	mg/L	0.6-27.3	7.2	6.5	7.0	5.5	2.3
Cloro residual	mg/L	-	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Aceites y grasas	mg/L	-	9.3	5.4	5.7	4.8	1.28
Demanda química de oxígeno	mg/L		524.0	1345.0	328.6	198.7	20.4
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	<40<50 90-290	303.96	717.83	106.62	106.62	8.85

**Nota.** La tabla muestra la comparación de los parámetros con cada uno de los tratamientos para riego a plantas ornamentales



En cuanto al pH, todas las muestras, incluyendo la inicial, son aptas para el uso de riego en plantas ornamentales. En lo referente a sólidos totales en suspensión, la muestra T-5 es la más adecuada para este propósito, mientras que las demás muestras presentan valores demasiado altos. En el parámetro de conductividad eléctrica, todos los resultados de las cinco muestras están muy por debajo de los LMP para el riego de plantas ornamentales. En cuanto al color, no existen LMP establecidos para este uso. Respecto al fósforo total, todas las muestras están dentro del rango permitido por los LMP para riego en plantas ornamentales. Para el cloro residual, aceites y grasas, y DQO, no existen LMP específicos aplicables a este tipo de riego. Finalmente, en el caso del DBO5, la muestra T-5 cumple con los LMP, manteniéndose dentro del rango indicado para su uso en el riego de plantas ornamentales.



**TABLA 18**

*Comparación de datos para uso en inodoros*

Parámetro	Unidad	Lmp uso en inodoros	M – 1	M – 2	M – 3	M – 4	M – 5
pH		5-9	7.01	7.11	7.29	7.27	7.08
Sólidos totales en suspensión	mg/L	600	925.6	628.4	724.5	587.4	125.8
Conductividad eléctrica	mS/cm	-	4.20	4.77	4.19	3.68	4.14
Color	Unid. Pt/Co	-	530	495	500	420	160
Fosforo total	mg/L	-	7.2	6.5	7.0	5.5	2.3
Cloro residual	mg/L	-	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Aceites y grasas	mg/L	100	9.3	5.4	5.7	4.8	1.28
Demanda química de oxígeno	mg/L	1500	524.0	1345.0	328.6	198.7	20.4
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	800	303.96	717.83	106.62	106.62	8.85

**Nota.** La tabla muestra la comparación de los parámetros con cada uno de los tratamientos para descarga en inodoro



En cuanto al pH, todas las muestras, incluida la inicial, son aptas para el reuso en inodoros. La muestra M-5 es la única que presenta sólidos totales en suspensión dentro del rango permitido por el límite máximo permisible (LMP) para este uso. Respecto a la conductividad eléctrica, color, fósforo total, cloro residual, y aceites y grasas, no existen LMP específicos para el uso en inodoros; sin embargo, todas las muestras tienen niveles de aceites y grasas muy por debajo de los LMP comparativos. En cuanto a la DQO y DBO5, los resultados de las cinco muestras se hallan por debajo de los LMP, cumpliendo con los rangos requeridos para su uso en inodoros.



## CONCLUSIONES

- Primera.** - El tratamiento físico-químico aplicado, utilizando sulfato de aluminio como coagulante, demostró ser altamente efectivo en la mejora de la calidad del agua gris doméstica. Este proceso redujo significativamente los contaminantes clave, como la DQO, DBO, sólidos totales suspendidos, fósforo total y aceites y grasas, mejorando los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua. Los resultados respaldan que este enfoque es viable para transformar las aguas grises en un recurso reutilizable, contribuyendo a la sostenibilidad y conservación de los recursos hídricos.
- Segunda.** - El prototipo diseñado e implementado, que combina procesos de coagulación, sedimentación e filtración, mostró un desempeño óptimo en la reducción de contaminantes presentes en las aguas grises domésticas. Logró disminuir parámetros como el color, la DBO y los sólidos suspendidos, alcanzando niveles que cumplen con estándares de calidad para ciertos usos no potables. Esto demuestra que el prototipo es una herramienta eficiente para el tratamiento de este tipo de aguas en un entorno controlado.
- Tercera.** - Entre las diferentes dosificaciones evaluadas, el tratamiento con 500 mg/L de sulfato de aluminio resultó ser el más efectivo para mejorar la calidad del agua gris doméstica. Este tratamiento logró las mayores reducciones en parámetros como el fósforo total, los aceites y grasas, y la DQO. Sin embargo, algunos parámetros como la conductividad



eléctrica no alcanzaron valores óptimos para todos los fines de reutilización. Los hallazgos indican que la selección adecuada de la dosis es crucial para optimizar el tratamiento según el uso previsto, como riego, lavado de autos o descarga de inodoros.



## RECOMENDACIONES

- Primera.** - Para comprender mejor el funcionamiento del tratamiento físico-químico en la mejora de la calidad del agua gris doméstica, se recomienda realizar una caracterización previa del agua gris que se va a tratar. Esto es importante, ya que las aguas grises presentan características físicas y químicas variables, dependiendo del lugar de muestreo y las actividades domésticas que las generen. Además, para asegurar un tratamiento eficiente, es fundamental que el hogar cuente con un sistema de separación de aguas residuales, donde el agua gris tenga una salida independiente, evitando que se mezcle con las aguas negras. De esta manera, se obtiene una muestra representativa para el tratamiento, lo que optimiza los resultados y garantiza una gestión adecuada del recurso.
- Segunda.** - Para evaluar de manera adecuada la efectividad de la adaptación del prototipo utilizado, se recomienda realizar una prueba de jarra previa, lo que permitirá determinar la dosis óptima del coagulante que se empleará durante la etapa de coagulación. Además, se sugiere explorar el uso de diferentes tipos de coagulantes, tanto naturales como químicos, para medir su eficiencia y comparar su rendimiento. También es recomendable considerar otros tratamientos físicos y químicos adicionales para obtener mejores resultados en la mejora de la calidad del agua gris. Para disminuir los riesgos asociados al manejo de aguas grises, se recomienda complementar estos procesos



con un tratamiento biológico, que puede contribuir a la eliminación de patógenos y la reducción de la carga orgánica. Este enfoque integral permitirá no solo mejorar la calidad del agua tratada, sino también garantizar su seguridad y minimizar los impactos negativos en el medio ambiente, optimizando así el proceso de tratamiento y contribuyendo a una gestión más sostenible de los recursos hídricos.

**Tercera. -** Para el uso del agua gris doméstica tratada, se recomienda evaluar e investigar otros parámetros que puedan estar alterados, como la concentración de patógenos, metales pesados, y nutrientes que podrían afectar la seguridad y calidad del agua. Es importante tener en cuenta el uso específico que se le dará al agua tratada, ya que aún se conoce poco sobre este tema y no existen reglamentos claros para su reutilización, especialmente en el contexto de Perú. En el país, donde muchas regiones carecen de plantas de tratamiento de aguas, el uso de agua gris tratada podría ser una alternativa viable para reemplazar el agua potable en algunos usos domésticos e industriales, como el riego, lavado de autos o para procesos industriales no sensibles. Este enfoque podría aliviar la presión sobre las fuentes de agua potable y promover la sostenibilidad hídrica, pero debe ir acompañado de normativas claras y estándares de calidad para garantizar su seguridad y efectividad.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A review on greywater reuse: Quality, risks, barriers and global scenarios | Reviews in Environmental Science and Bio/Technology. (s. f.). Recuperado 7 de noviembre de 2023, de [https://link.springer.com/article/10.1007/s11157-018-9487-9?sv1=affiliate&sv\\_campaign\\_id=1018583&awc=26429\\_1699372549\\_f00280f959668dd62de89589f89eef87&utm\\_medium=affiliate&utm\\_source=awin&utm\\_campaign=CONR\\_BOOKS\\_ECOM\\_DE\\_PHSS\\_ALWYS\\_DEEPLINK&utm\\_content=textlink&utm\\_term=1018583](https://link.springer.com/article/10.1007/s11157-018-9487-9?sv1=affiliate&sv_campaign_id=1018583&awc=26429_1699372549_f00280f959668dd62de89589f89eef87&utm_medium=affiliate&utm_source=awin&utm_campaign=CONR_BOOKS_ECOM_DE_PHSS_ALWYS_DEEPLINK&utm_content=textlink&utm_term=1018583)
- Abu-Zreig, M., Rudra, R. P., & Dickinson, W. T. (2003). Effect of Application of Surfactants on Hydraulic Properties of Soils. *Biosystems Engineering*, 84(3), 363-372. [https://doi.org/10.1016/S1537-5110\(02\)00244-1](https://doi.org/10.1016/S1537-5110(02)00244-1)
- Al<sub>2</sub>(SO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> Sulfato de aluminio: Usos, Propiedades y Precauciones. (2024, febrero 22). <https://quimicaly.com/al2so33-sulfato-de-aluminio/>
- Albalawneh, A., Chang, T.-K., & Chou, C.-S. (2016). Impacts on soil quality from long-term irrigation with treated greywater. *Paddy and Water Environment*, 14(2), 289-297. <https://doi.org/10.1007/s10333-015-0499-6>
- Albarracín Heredia, E. O. (2018). Sistema de tratamiento autolavado samiwall. <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/13135>
- Al-Hamaiedeh, H., & Bino, M. (2010). Effect of treated grey water reuse in irrigation on soil and plants. *Desalination*, 256(1), 115-119. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.02.004>



- Al-Jayyousi, O. R. (2003). Greywater reuse: Towards sustainable water management. *Desalination*, 156(1), 181-192. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(03\)00340-0](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(03)00340-0)
- Aonghusa, C. N., & Gray, N. F. (2002). Laundry detergents as a source of heavy metals in Irish domestic wastewater. *Journal of Environmental Science and Health. Part A, Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*, 37(1), 1-6. <https://doi.org/10.1081/ese-100108477>
- Ariffin, M., Hassan, M., Li, T., & Zainon Noor, Z. (2009). Coagulation and Flocculation Treatment of Wastewater in Textile Industry Using Chitosan. *Journal of Chemical and Natural Resources Engineering*, 4, 43-53.
- Asslouj, J., Kholtei, S., El Amrani, N., & Hilali, A. (2007). The impact of anthropogenic activities on the quality of groundwater of the Mzamza community (Chaouia, Morocco). *Revue des Sciences de l'Eau*, 20, 309-321.
- Bering, S., Mazur, J., Tarnowski, K., & Janus, M. (2020). Removal of organic pollutants and surfactants from laundry wastewater in moving bed biofilm reactor technology. *DESALINATION AND WATER TREATMENT*, 199, 434-440. <https://doi.org/10.5004/dwt.2020.26329>
- Borah, S. J., Monika, Ram, R., Kumar, V., & Dubey, K. K. (2023). Leakage of surfactants in greywater: Environmental impact, mitigation, and their circular economy. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(5), 110715. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.110715>
- Boyjoo, Y., Pareek, V. K., & Ang, M. (2013). A review of greywater characteristics and treatment processes. *Water Science and Technology*, 67(7), 1403-1424. <https://doi.org/10.2166/wst.2013.675>



- Christova-Boal, D., Eden, R. E., & McFarlane, S. (1996). An investigation into greywater reuse for urban residential properties. *Desalination*, 106(1), 391-397. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(96\)00134-8](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(96)00134-8)
- Chu, J., Chen, J., Wang, C., & Fu, P. (2004). Wastewater reuse potential analysis: Implications for China's water resources management. *Water Research*, 38(11), 2746-2756. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.04.002>
- Clarificación y Sedimentación. (s. f.). Okiana Spanish. Recuperado 26 de octubre de 2023, de <https://okiana.com/esp/clarificacion-y-sedimentacion/>
- COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN DEL AGUA Degremont—PDF Free Download. (s. f.). Recuperado 19 de junio de 2023, de <https://docplayer.es/44469340-Coagulacion-y-floculacion-del-agua-degremont.html>
- Coagulación y Floculación en el tratamiento de agua | LMI Pumps. (s. f.). lmi-pumps. Recuperado 26 de octubre de 2023, de <https://www.lmipumps.com/es-mx/technologies/coagulation-and-flocculation-in-water-treatment>
- Collivignarelli, M. C., Abbà, A., Benigna, I., Sorlini, S., & Torretta, V. (2018). Overview of the Main Disinfection Processes for Wastewater and Drinking Water Treatment Plants. *Sustainability*, 10(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/su10010086>
- Color of water. (2023). En Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Color\\_of\\_water&oldid=1170991720](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Color_of_water&oldid=1170991720)
- Connor, N. (2023, septiembre 18). Sulfato de aluminio | Fórmula, propiedades y aplicación. Material Properties. <https://material-properties.org/es/sulfato-de-aluminio/>



Crini, G., & Lichtfouse, E. (2019). Advantages and disadvantages of techniques used for wastewater treatment. *Environmental Chemistry Letters*, 17(1), 145-155. <https://doi.org/10.1007/s10311-018-0785-9>

¿Cuáles son las unidades de conductividad? (2020, julio 8). Labprocess | Productos de laboratorio y control de procesos. <https://www.labprocess.es/cuales-son-las-unidades-de-conductividad>

Dalahmeh, S. S., Pell, M., Vinnerås, B., Hylander, L. D., Öborn, I., & Jönsson, H. (2012). Efficiency of Bark, Activated Charcoal, Foam and Sand Filters in Reducing Pollutants from Greywater. *Water, Air, & Soil Pollution*, 223(7), 3657-3671. <https://doi.org/10.1007/s11270-012-1139-z>

de Gois, E. H. B., Rios, C. A. S., & Costanzi, R. N. (2015). Evaluation of water conservation and reuse: A case study of a shopping mall in southern Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 96, 263-271. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.097>

Dhiman, V. K., Singh, J., Kanoungo, A., Goyal, A., & Singh, Y. (2022). Reuse of grey water generated from high rise educational building. *Materials Today: Proceedings*, 69, 372-377. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.09.053>

Disinfection Methods for Treating Low TOC, Light Graywater to California Title 22 Water Reuse Standards | *Journal of Environmental Engineering* | Vol 139, No 9. (s. f.). Recuperado 7 de noviembre de 2023, de [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0000738](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000738)

Domènech, L., March, H., Vallès, M., & Saurí, D. (2015). Learning processes during regime shifts: Empirical evidence from the diffusion of greywater recycling in



- Spain. Environmental Innovation and Societal Transitions, 15, 26-41.  
<https://doi.org/10.1016/j.eist.2014.01.001>
- Donner, E., Eriksson, E., Revitt, DM., Scholes, L., Lützhøft, H.-C. H., & Ledin, A. (2010). Presence and fate of priority substances in domestic greywater treatment and reuse systems. Science of The Total Environment, 408(12), 2444-2451. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.02.033>
- Dotto, J., Fagundes-Klen, M. R., Veit, M. T., Palácio, S. M., & Bergamasco, R. (2019). Performance of different coagulants in the coagulation/flocculation process of textile wastewater. Journal of Cleaner Production, 208, 656-665. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.112>
- Dubey, K. K., Rajput, D., Baldia, A., Kumar, A., Kumar, V., Yadav, A., Rao, S., & Mishra, Y. K. (2023). Current scenario and challenges in recycling of human urine generated at source in rail coaches as resource. Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry, 43, 100854. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2023.100854>
- Eaton, A. D. (2005). Standard methods for the examination of water and wastewater (21st ed). APHA-AWWA-WEF.
- Edwin, G. A., Gopalsamy, P., & Muthu, N. (2014). Characterization of domestic gray water from point source to determine the potential for urban residential reuse: A short review. Applied Water Science, 4(1), 39-49. <https://doi.org/10.1007/s13201-013-0128-8>
- El tratamiento de fósforo en aguas residuales | Formación de ingenieros. (s. f.). Recuperado 24 de junio de 2024, de <https://www.tecpa.es/fosforo-aguas-residuales/>



- Ercin, A. E., & Hoekstra, A. Y. (2014). Water footprint scenarios for 2050: A global analysis. *Environment International*, 64, 71-82. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.11.019>
- Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M., & Ledin, A. (2002). Characteristics of grey wastewater. *Urban Water*, 4(1), 85-104. [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(01\)00064-4](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(01)00064-4)
- Eriksson, E., Sriririsetty, S., & Eilersen, A. M. (2010). Organic matter and heavy metals in grey-water sludge. *Water SA*, 36(1), Article 1. <https://doi.org/10.4314/wsa.v36i1.50921>
- Fatta-Kassinos, D., Kalavrouziotis, I. K., Koukoulakis, P. H., & Vasquez, M. I. (2011a). The risks associated with wastewater reuse and xenobiotics in the agroecological environment. *Science of The Total Environment*, 409(19), 3555-3563. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.03.036>
- Filali, H., Barsan, N., Souguir, D., Nedeff, V., Tomozei, C., & Hachicha, M. (2022). Greywater as an Alternative Solution for a Sustainable Management of Water Resources—A Review. *Sustainability*, 14(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/su14020665>
- G, J. (1987). Detergents and Textile Washing. VCH GmbH. <https://cir.nii.ac.jp/crid/1571980074411532416>
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China (AQSIQ) Decree No.3 Laying down the Measures on the Administration of Inspection and Quarantine of Entry-Exit Express Deliveries. | FAOLEX. (s. f.). Recuperado 28 de mayo de 2024, de <https://www.fao.org/faolex/results/details/fr/c/LEX-FAOC161062/>



- Ghaitidak, D. M., & Yadav, K. D. (2015). Reuse of greywater: Effect of coagulant. Desalination and Water Treatment, 54(9), 2410-2421. <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.902335>
- Gleick, P. H., & Cooley, H. (2009). The World's Water 2008-2009: The Biennial Report on Freshwater Resources. Island Press.
- Glob, V., Vinder, A., & Simonič, M. (2005). Efficiency of the coagulation/flocculation method for the treatment of dyebath effluents. Dyes and Pigments, 67(2), 93-97. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2004.11.003>
- Graywater Reuse in Other Countries. (s. f.). Center for the Study of the Built Environment. Recuperado 26 de octubre de 2023, de <https://www.csbe.org/greywater-reuse-in-other-countries>
- Gross, A., Shmueli, O., Ronen, Z., & Raveh, E. (2007). Recycled vertical flow constructed wetland (RVFCW)—A novel method of recycling greywater for irrigation in small communities and households. Chemosphere, 66(5), 916-923. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.06.006>
- Gross, A., Wiel-Shafran, A., Bondarenko, N., & Ronen, Z. (2008). Reliability of small scale greywater treatment systems and the impact of its effluent on soil properties. International Journal of Environmental Studies, 65(1), 41-50. <https://doi.org/10.1080/00207230701832762>
- Halalsheh, M., Dalahmeh, S., Sayed, M., Suleiman, W., Shareef, M., Mansour, M., & Safi, M. (2008). Grey water characteristics and treatment options for rural areas in Jordan. Bioresource Technology, 99(14), 6635-6641. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.12.029>



- Heshammuddin, Nurul. A., Al-Gheethi, A., Saphira Radin Mohamed, R. M., & Bin Khamidun, M. H. (2023). Eliminating xenobiotics organic compounds from greywater through green synthetic nanoparticles. *Environmental Research*, 222, 115316. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115316>
- Higgins, J., Warnken, J., Sherman, P. P., & Teasdale, P. R. (2002). Survey of users and providers of recycled water: Quality concerns and directions for applied research. *Water Research*, 36(20), 5045-5056. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(02\)00158-6](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00158-6)
- Iqbal, M. J., & Ashiq, M. N. (2007). Adsorption of dyes from aqueous solutions on activated charcoal. *Journal of Hazardous Materials*, 139(1), 57-66. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.06.007>
- Jacinto, J. (s. f.). INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES TRATAMIENTO, VERTIDO Y REUTILIZACION Volumen II Metcalf y Eddie. Recuperado 6 de noviembre de 2023, de [https://www.academia.edu/45529169/INGENIERIA\\_DE\\_AGUAS\\_RESIDUALES\\_TRATAMIENTO\\_VERTIDO\\_Y\\_REUTILIZACION\\_Volumen\\_II\\_Metcalf\\_y\\_Eddie](https://www.academia.edu/45529169/INGENIERIA_DE_AGUAS_RESIDUALES_TRATAMIENTO_VERTIDO_Y_REUTILIZACION_Volumen_II_Metcalf_y_Eddie)
- Jefferson, B., Laine, A., Parsons, S., Stephenson, T., & Judd, S. (2000). Technologies for domestic wastewater recycling. *Urban Water*, 1(4), 285-292. [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(00\)00030-3](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(00)00030-3)
- Joy, M. K., Rankin, D. A., Wöhler, L., Boyce, P., Canning, A., Foote, K. J., & McNie, P. M. (2022). The grey water footprint of milk due to nitrate leaching from dairy farms in Canterbury, New Zealand. *Australasian Journal of Environmental*



Management, 29(2), 177-199.

<https://doi.org/10.1080/14486563.2022.2068685>

Kaykhaii, M., Sasani, M., & Marghzari, S. (2018). Removal of Dyes from the Environment by Adsorption Process. *Chemical and Materials Engineering*, 6(2), 31-35. <https://doi.org/10.13189/cme.2018.060201>

Khajvand, M., Mostafazadeh, A. K., Drogui, P., Tyagi, R. D., & Brien, E. (2022). Greywater characteristics, impacts, treatment, and reclamation using adsorption processes towards the circular economy. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(8), 10966-11003. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16480-z>

La coagulación en el tratamiento de aguas | Cropaia. (2018a, septiembre 12). <https://cropaia.com/es/blog/la-coagulacion-en-el-tratamiento-de-aguas/>

La coagulación en el tratamiento de aguas | Cropaia. (2018b, septiembre 12). <https://cropaia.com/es/blog/la-coagulacion-en-el-tratamiento-de-aguas/>

Lange, K. R. (s. f.). *Detergents and cleaners: A handbook for formulators*. (No Title). Recuperado 25 de octubre de 2023, de <https://cir.nii.ac.jp/crid/1130282269599009536>

Le-Minh, N., Khan, S. J., Drewes, J. E., & Stuetz, R. M. (2010). Fate of antibiotics during municipal water recycling treatment processes. *Water Research*, 44(15), 4295-4323. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.06.020>

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. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.02.004>



- Li, Z., Boyle, F., & Reynolds, A. (2010). Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application in Ireland. *Desalination*, 260(1), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.05.035>
- Maimon, A., Tal, A., Friedler, E., & Gross, A. (2010). Safe on-Site Reuse of Greywater for Irrigation—A Critical Review of Current Guidelines. *Environmental Science & Technology*, 44(9), 3213-3220. <https://doi.org/10.1021/es902646g>
- Manippady, S. R., Singh, A., Basavaraja, B. M., Samal, A. K., Srivastava, S., & Saxena, M. (2020). Iron–Carbon Hybrid Magnetic Nanosheets for Adsorption-Removal of Organic Dyes and 4-Nitrophenol from Aqueous Solution. *ACS Applied Nano Materials*, 3(2), 1571-1582. <https://doi.org/10.1021/acsnm.9b02348>
- Matos, C., Pereira, S., Amorim, E. V., Bentes, I., & Briga-Sá, A. (2014). Wastewater and greywater reuse on irrigation in centralized and decentralized systems—An integrated approach on water quality, energy consumption and CO2 emissions. *Science of The Total Environment*, 493, 463-471. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.129>
- Metodología de la Investigación Sampieri La Propuesta by Octavio Siliceo—Issuu. (2017, septiembre 2). [https://issuu.com/octaviosiliceo/docs/04\\_met-inv-sampieri\\_propuesta\\_a](https://issuu.com/octaviosiliceo/docs/04_met-inv-sampieri_propuesta_a)
- Mohamed, R. M. S. R., Kassim, A. H. M., Anda, M., & Dallas, S. (2013). A monitoring of environmental effects from household greywater reuse for garden irrigation. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(10), 8473-8488. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3189-0>



- Mohammadi, A., & Veisi, P. (2018). High adsorption performance of  $\beta$ -cyclodextrin-functionalized multi-walled carbon nanotubes for the removal of organic dyes from water and industrial wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(4), 4634-4643. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.07.002>
- Nolde, E. (2000). Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings – over ten years experience in Berlin. *Urban Water*, 1(4), 275-284. [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(00\)00023-6](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(00)00023-6)
- Oh, K. S., Leong, J. Y. C., Poh, P. E., Chong, M. N., & Lau, E. V. (2018). A review of greywater recycling related issues: Challenges and future prospects in Malaysia. *Journal of Cleaner Production*, 171, 17-29. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.267>
- Ormerod, K. J., & Scott, C. A. (2013). Drinking Wastewater: Public Trust in Potable Reuse. *Science, Technology, & Human Values*, 38(3), 351-373. <https://doi.org/10.1177/0162243912444736>
- Oron, G., Adel, M., Agmon, V., Friedler, E., Halperin, R., Leshem, E., & Weinberg, D. (2014). Greywater use in Israel and worldwide: Standards and prospects. *Water Research*, 58, 92-101. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.03.032>
- Oteng-Peprah, M., de Vries, N. K., & Acheampong, M. A. (2018). Greywater characterization and generation rates in a peri urban municipality of a developing country. *Journal of Environmental Management*, 206, 498-506. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.10.068>
- Otero-Ortega, A. (2018). ENFOQUES DE INVESTIGACIÓN.
- Palmquist, H., & Hanæus, J. (2005). Hazardous substances in separately collected grey- and blackwater from ordinary Swedish households. *Science of The*



Total Environment, 348(1), 151-163.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.12.052>

Performance of grey water treatment plant by economical way for Indian rural development. (s. f.). Recuperado 25 de octubre de 2023, de <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20123021432>

Pham, T. T. N., Ngo, H. H., Guo, W., Dang, H. P. D., Mainali, B., Johnston, A., & Listowski, A. (2011). Responses of community to the possible use of recycled water for washing machines: A case study in Sydney, Australia. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(5), 535-540. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.01.004>

Pinto, U., & Maheshwari, B. L. (2010). Reuse of greywater for irrigation around homes in Australia: Understanding community views, issues and practices. *Urban Water Journal*, 7(2), 141-153. <https://doi.org/10.1080/15730620903447639>

¿Qué es la conductividad en el agua? (s. f.). Carbotecnia. Recuperado 26 de octubre de 2023, de <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/quimica-del-agua/que-es-la-conductividad-en-el-agua/>

Qué es la sedimentación del agua potable. (s. f.). *ecologiaverde.com*. Recuperado 26 de octubre de 2023, de <https://www.ecologiaverde.com/que-es-la-sedimentacion-del-agua-potable-1507.html>

Rana, M., & Chowdhury, P. (2019). L-glutathione capped CdSeS/ZnS quantum dot sensor for the detection of environmentally hazardous metal ions. *Journal of Luminescence*, 206, 105-112. <https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2018.10.060>



- Ranade, V. V., & Bhandari, V. M. (2014). Industrial Wastewater Treatment, Recycling and Reuse. Butterworth-Heinemann.
- Ren, X., Zhang, Y., & Chen, H. (2020). Graywater treatment technologies and reuse of reclaimed water for toilet flushing. *Environmental Science and Pollution Research International*, 27(28), 34653-34663.  
<https://doi.org/10.1007/s11356-019-05154-6>
- Resolución 3957 de 2009 Secretaría Distrital de Ambiente. (s. f.). Recuperado 29 de mayo de 2024, de <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=37051>
- Revitt, D. M., Eriksson, E., & Donner, E. (2011). The implications of household greywater treatment and reuse for municipal wastewater flows and micropollutant loads. *Water Research*, 45(4), 1549-1560.  
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.11.027>
- Rivadavia Huamaní, E. L. (2018). Evaluación de recirculación de agua gris a nivel domiciliario para abastecimiento de descarga de inodoros en una construcción a escala real, ubicada en la ciudad de Juliaca—2017Autor: Universidad Peruana Unión.  
<https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1150>
- Rodrigues, C. S. D., Madeira, L. M., & Boaventura, R. A. R. (2013). Treatment of textile dye wastewaters using ferrous sulphate in a chemical coagulation/flocculation process. *Environmental Technology*, 34(6), 719-729.  
<https://doi.org/10.1080/09593330.2012.715679>



- Samayamanthula, D. R., Sabarathinam, C., & Bhandary, H. (2019). Treatment and effective utilization of greywater. *Applied Water Science*, 9(4), 90. <https://doi.org/10.1007/s13201-019-0966-0>
- Samer, M. (2015). *Wastewater Treatment Engineering*. BoD – Books on Demand.
- Samsami, S., Mohamadizani, M., Sarrafzadeh, M.-H., Rene, E. R., & Firoozbahr, M. (2020). Recent advances in the treatment of dye-containing wastewater from textile industries: Overview and perspectives. *Process Safety and Environmental Protection*, 143, 138-163. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.05.034>
- Santos, C., Matos, C., & Taveira-Pinto, F. (2013). A comparative study of greywater from domestic and public buildings. *Water Supply*, 14(1), 135-141. <https://doi.org/10.2166/ws.2013.181>
- Shi, B., Li, G., Wang, D., Feng, C., & Tang, H. (2007). Removal of direct dyes by coagulation: The performance of preformed polymeric aluminum species. *Journal of Hazardous Materials*, 143(1), 567-574. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.09.076>
- Sólidos totales y disueltos (TSS y TDS)—Parámetros de calidad del agua | Hach. (s. f.). Recuperado 26 de octubre de 2023, de <https://es.hach.com/parameters/solids>
- Sulfato de aluminio: Qué es, estructura, usos, producción, tipos, toxicidad. (2022, enero 19). Lifeder. <https://www.lifeder.com/sulfato-de-aluminio/>
- Syme, G. J., & Williams, K. D. (1993). The psychology of drinking water quality: An exploratory study. *Water Resources Research*, 29(12), 4003-4010. <https://doi.org/10.1029/93WR01933>



- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., Stensel, H. D., & Inc, M. & E. (2003). Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. McGraw-Hill Education.
- Teoría de Sedimentación – Tratamiento del Agua. (2015, junio 23).  
<https://www.tratamientodelagua.com.mx/teoria-de-sedimentacion/>
- Tratamientos físicos en las tecnologías de depuración de aguas residuales. (s. f.). Ingeoexpert. Recuperado 5 de octubre de 2023, de  
<https://ingeoexpert.com/articulo/tratamientos-fisicos-las-tecnologias-depuracion-aguas-residuales/>
- Turner, R. D. R., Will, G. D., Dawes, L. A., Gardner, E. A., & Lyons, D. J. (2013). Phosphorus as a limiting factor on sustainable greywater irrigation. Science of The Total Environment, 456-457, 287-298.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.02.061>
- Ullah, N., Mansha, M., Khan, I., & Qurashi, A. (2018). Nanomaterial-based optical chemical sensors for the detection of heavy metals in water: Recent advances and challenges. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 100, 155-166.  
<https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.01.002>
- Vishali, S., Poonguzhali, E., Banerjee, I., George, S. S., & Srinivasan, P. (2023). Purification of domestic laundry wastewater in an integrated treatment system consists of coagulation and ultrafiltration membrane process. Chemosphere, 314, 137662. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137662>
- Water and Wastewater Engineering: Design Principles and Practice (First edition). (2010). McGraw-Hill Education.  
<https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071713849>



Water Color | U.S. Geological Survey. (s. f.). Recuperado 26 de octubre de 2023, de <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/water-color>

Wiel-Shafran, A., Ronen, Z., Weisbrod, N., Adar, E., & Gross, A. (2006). Potential changes in soil properties following irrigation with surfactant-rich greywater. *Ecological Engineering*, 26(4), 348-354. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2005.12.008>

Winter, K. (2015). Effects of irrigation water quality on vegetables Part 1: Yield and aesthetical appeal. *South African Journal of Plant and Soil*, 32(1), 27-31. <https://doi.org/10.1080/02571862.2014.973068>

Zheng, W., Wang, L.-P., Kuang, X., Jin, Y., & Shen, C. (2022). Opposing Surfactant and Gel Effects of Soil Borne-Hydrogels on Soil Water Retention. *Water Resources Research*, 58(11), e2022WR032845. <https://doi.org/10.1029/2022WR032845>

Zuma, B. M., Tandlich, R., Whittington-Jones, K. J., & Burgess, J. E. (2009). Mulch tower treatment system Part I: Overall performance in greywater treatment. *Desalination*, 242(1), 38-56. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.03.030>



# ANEXOS



### MATRIZ DE CONSISTENCIA

#### ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO FÍSICO QUÍMICO EN LA CALIDAD DEL AGUA GRIS DOMÉSTICA

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN	HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	OPERACIÓN DE VARIABLES		
			VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
<b>PROBLEMA GENERAL</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>HIPÓTESIS GENERAL</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>¿Cómo influye el tratamiento físico químico en la calidad del agua gris doméstica?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Explicar la influencia del tratamiento físico-químico en la calidad de las aguas grises domésticas.</li> </ul>	<p>El tratamiento físico-químico de las aguas grises domésticas mejorará la calidad del agua al remover contaminantes, reducir la carga bacteriana y ajustar las propiedades físicas y químicas dentro de los límites aceptables para su reutilización o descarga segura</p>	<b>Variable independiente</b> • Tratamiento físico químico (1)	1.1. Prototipo  1.2. Sulfato de Aluminio	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tratamiento Coagulación</li> <li>Tratamiento Filtración</li> <li>Tratamiento 1,2,3,4,5</li> </ul>
<b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>HIPÓTESIS ESPECIFICOS</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>¿Cómo influyen los procesos de coagulación, sedimentación y filtración del prototipo adaptado en la reducción de contaminantes y mejora de la calidad del agua gris doméstica?</li> <li>¿Cuál de las variantes del tratamiento físico-químico (T1, T2, T3, T4, T5), basado en diferentes dosificaciones de sulfato de aluminio y procesos de filtración, es más efectiva para mejorar la calidad del agua gris doméstica destinada a la reutilización en inodoros, riego de plantas ornamentales y lavado de autos?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Evaluar la efectividad del prototipo adaptado, que incorpora procesos de coagulación, sedimentación y filtración, en la mejora de la calidad del agua gris doméstica.</li> <li>Comparar la efectividad del tratamiento físico-químico, basado en la dosificación de sulfato de aluminio (T1, T2, T3, T4, T5) y procesos de filtración, en la mejora de la calidad del agua gris doméstica para su reutilización en inodoros, riego de plantas ornamentales y lavado de autos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El prototipo adaptado que incorpora procesos de coagulación, sedimentación y filtración mejora significativamente la calidad del agua gris doméstica.</li> <li>Entre las variantes del tratamiento físico-químico, la dosificación específica de sulfato de aluminio y el proceso de filtración correspondiente en T3 ofrecerán la mayor efectividad en la mejora de la calidad del agua gris doméstica, haciéndola adecuada para su reutilización en inodoros, riego de plantas ornamentales y lavado de autos.</li> </ul>	<b>Variable dependiente</b> Calidad de agua gris doméstica (2)	2.1. Parámetros  2.2. tipos de reusó de aguas grises	<ul style="list-style-type: none"> <li>pH</li> <li>Sólidos Totales en Suspensión</li> <li>Conductividad Eléctrica,</li> <li>Color</li> <li>Fosforo total</li> <li>Cloro Residual,</li> <li>Aceites y Grasas,</li> <li>Demanda Química de Oxígeno,</li> <li>Demanda Bioquímica de Oxígeno</li> </ul>



## INSTRUMENTOS



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL  
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL

### RESULTADO DE ANALISIS - AGUAS

#### INFORME N° LCA045 - 2024

#### I. DATOS DEL SERVICIO

- 1.1. **Solicitante** : Karen Villavicencio Zapana  
1.2. **Proyecto** : ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO FÍSICO QUÍMICO EN LA CALIDAD DEL AGUA GRIS DOMÉSTICA

#### II. DATOS DEL ENSAYO

- 2.1. **Producto** : Aguas  
2.2. **Numero de muestras** : 01  
2.3. **Muestreado por** : Karen Villavicencio Zapana  
2.4. **Fecha de ensayo** : 24/05/2024  
2.5. **Departamento** : Puno  
2.6. **Provincia** : San Román  
2.7. **Distrito** : Juliaca  
2.8. **Código, ubicación, fecha y hora de muestreo**

Código	Coordenadas	Fecha	Hora
M - I	N: 8284911.40 E: 379501.40	23/05/2024	8:20

#### III. RESULTADOS

Parámetro	Unidad	M - I
Temperatura en laboratorio	°C	14.8
pH		8.48
Sólidos totales en suspensión	mg/L	836.2
Conductividad eléctrica	mS/cm	3.46
Color	Unid. Pt/Cu	500
Fosforo total	mg/L	15.2
Cloro residual	mg/L	1.11
Aceites y grasas	mg/L	13
Demanda química de oxígeno	mg/L	1245.0
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	845.0

#### IV. MÉTODO DE ENSAYO

Los parámetros fueron analizados de acuerdo a las recomendaciones de los Métodos normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWW.WEF.21th ed. 2005

UNIVERSIDAD ANDINA  
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
Mgtr. Ing. Milton Quispe Huanca  
CIP. 47790  
LABORATORIO CALIDAD AMBIENTAL FICP

Juliaca, 04 de junio del 2024

N°B.E.: 00290995

1



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELASQUEZ  
FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL  
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL

### RESULTADO DE ANALISIS - AGUAS

#### INFORME N° LCA045 - 2024

#### I. DATOS DEL SERVICIO

- 1.1. **Solicitante** : Karen Villavicencio Zapana
- 1.2. **Proyecto** : ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO FÍSICO QUÍMICO EN LA CALIDAD DEL AGUA GRIS DOMÉSTICA

#### II. DATOS DEL ENSAYO

- 2.1. **Producto** : Aguas
- 2.2. **Numero de muestras** : 05
- 2.3. **Muestreado por** : Karen Villavicencio Zapana
- 2.4. **Fecha de ensayo** : 24/05/2024
- 2.5. **Departamento** : Puno
- 2.6. **Provincia** : San Román
- 2.7. **Distrito** : Juliaca
- 2.8. **Código, ubicación, fecha y hora de muestreo**

Código	Coordenadas	Fecha	Hora
M - 1	N: 8284911.40 E: 379501.40	23/05/2024	8:40
M - 2	N: 8284911.40 E: 379501.40	23/05/2024	9:00
M - 3	N: 8284911.40 E: 379501.40	23/05/2024	9:20
M - 4	N: 8284911.40 E: 379501.40	23/05/2024	9:40
M - 5	N: 8284911.40 E: 379501.40	23/05/2024	10:13



N°B.E.: 00290995

2



### III.RESULTADOS

Parámetro	Unidad	M – 1
Temperatura	°C	15.0
pH		7.01
Solidos totales en suspensión	mg/L	925.6
Conductividad eléctrica	mS/cm	4.20
Color	Unid. Pt/Cu	530
Fosforo total	mg/L	7.2
Cloro residual	mg/L	2.5
Aceites y grasas	mg/L	9.3
Demanda química de oxígeno	mg/L	524.0
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	303.96

Parámetro	Unidad	M – 2
Temperatura	°C	15.5
pH		7.11
Solidos totales en suspensión	mg/L	628.4
Conductividad eléctrica	mS/cm	4.77
Color	Unid. Pt/Cu	495
Fosforo total	mg/L	6.5
Cloro residual	mg/L	2.5
Aceites y grasas	mg/L	5.4
Demanda química de oxígeno	mg/L	1345.0
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	717.83

Parámetro	Unidad	M – 3
Temperatura	°C	15.2
pH		7.29
Solidos totales en suspensión	mg/L	724.5
Conductividad eléctrica	mS/cm	4.19
Color	Unid. Pt/Cu	500
Fosforo total	mg/L	7.0
Cloro residual	mg/L	2.5
Aceites y grasas	mg/L	5.7
Demanda química de oxígeno	mg/L	328.6
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	106.62





Parámetro	Unidad	M - 4
Temperatura	°C	15.0
pH		7.27
Sólidos totales en suspensión	mg/L	587.4
Conductividad eléctrica	mS/cm	3.68
Color	Unid. Pt/Cu	420
Fosforo total	mg/L	5.5
Cloro residual	mg/L	2.5
Aceites y grasas	mg/L	4.8
Demanda química de oxígeno	mg/L	198.7
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	106.62

Parámetro	Unidad	M - 5
Temperatura	°C	15.3
pH		7.08
Sólidos totales en suspensión	mg/L	125.8
Conductividad eléctrica	mS/cm	4.14
Color	Unid. Pt/Cu	160
Fosforo total	mg/L	2.3
Cloro residual	mg/L	2.5
Aceites y grasas	mg/L	1.28
Demanda química de oxígeno	mg/L	20.4
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	8.85

#### IV. MÉTODO DE ENSAYO

Los parámetros fueron analizados de acuerdo a las recomendaciones de los Métodos normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWW.WEF.21th ed. 2005

Juliaca, 04 de junio del 2024

UNIVERSIDAD ANDINA  
 NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
 Mgr. Ing. Milton Quispe Huancá  
 CIP. 47790  
 JEFE LABORATORIO CALIDAD AMBIENTAL

N°B.E.: 00290995



**ANEXO N 01: Panel fotográfico**



**Fotografía 1. Etapa de construcción del reactor donde se muestra el material con el que se construye**



**Fotografía 2. Etapa de pintado de los 3 tanques externa e internamente**



**Fotografía 3. Etapa de instalacion del sistema de tratamiento fisico quimico**



**Fotografía 4. Selección de gravas para el filtro de arena**



**Fotografía 5. Materiales para la preparación de solución de sulfato de aluminio**



**Fotografía 6. Muestreo del agua gris doméstica tratada**



ANEXO 1  
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS  
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN  
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital

Fecha de entrega: 10-12-2024

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: Karen Villavicencia Zapana  
Dirección: Jr. Progreso 1288  
DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 70109460  
Teléfono: 907863929 email: villavicenciaKaren6@gmail.com  
Nombres y Apellidos: \_\_\_\_\_  
Dirección: \_\_\_\_\_  
DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: \_\_\_\_\_  
Teléfono: \_\_\_\_\_ email: \_\_\_\_\_  
Facultad y/o Escuela de Posgrado: Ingeniería y Ciencias Puras  
Escuela Profesional o Mención: Ingeniería Sanitaria y Ambiental  
Título o Grado Académico a optar: Ingeniero Sanitario y Ambiental  
Asesor: Ing. Wilfredo David Supo Pacori  
Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:  
Trabajo de Investigación  Tesis  Trabajo de Suficiencia Profesional  Trabajo Académico   
Título: Análisis de la Influencia del Tratamiento  
Físico Químico en la Calidad del Agua  
Grises Doméstica  
Palabras claves, (3 a 5 términos): Tratamiento físico-químico, Aguas grises domésticas, Sulfato de Aluminio  
¿Esta obra se desarrolló en la UANCV <sup>1,2</sup>?  
1

<sup>1</sup> Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entre otros relacionados.  
<sup>2</sup> Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

Bachiller  Titulo  2da Especialidad  Maestría  Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X)

- Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
- Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): \_\_\_\_\_
- No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

Sí: significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

- Sí autorizo
- No autorizo



**Jurisdicción de su Licencia**

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción “internacional” o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción “internacional” emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, **la opción “internacional” goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral.** Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

Internacional

Nacional

Línea de investigación: Saneamiento Ambiental - P22

Firma de Autor



huella digital

10 de diciembre 2024

Fecha