

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

**FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS
NATURALES**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE
RECURSOS NATURALES**



**“TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES MEDIANTE UN
SISTEMA DE PAREDES VERDES CON LAS ESPECIES
APTENIA CORDIFOLIA Y *NEPHROLEPIS OBLITERATA*”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y
DE RECURSOS NATURALES**

LAZÓN ZAMORA, JHON EDUARDO

MENDOZA GUEVARA, JULIA GIANELLA

Callao, 2022

PERÚ

HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN

- Msc. MARÍA TERESA VALDERRAMA ROJAS PRESIDENTA
- Mtro. ABNER JOSUÉ VIGO ROLDÁN SECRETARIO
- Mtra. JANET MAMANI RAMOS VOCAL
- Ing. GABRIEL EDUARDO ESCUDERO CORNEJO SUPLENTE

ASESOR: Dr. MÁXIMO FIDEL BACA NEGLIA

No. de Libro: 01

No. de Folio: 49

No. de Acta: 009-2022-JST-FIARN-UNAC

Fecha de Sustentación: 30 de Setiembre 2022

Resolución de Decanato: 041-2022-D-FIARN

DEDICATORIA

A Dios: Por guiar nuestros pasos y bendecirnos con la oportunidad de poder aportar nuestro granito de arena en beneficio del ambiente.

A nuestros padres: Por ser el motor que nos alienta a mejorar cada día y acompañarnos en cada paso que damos.

A nuestros seres especiales: Por ser nuestro soporte en los momentos más difíciles e impulsarnos a seguir adelante.

A las futuras generaciones: Por ser nuestra inspiración para construir un mundo mejor, con la esperanza de que puedan vivir en una sociedad en armonía con su entorno.

AGRADECIMIENTO

A quienes nos brindaron sus conocimientos y experiencias en cada etapa de este proceso que no culmina con la obtención de nuestro título profesional, sino que va más allá, con el afán de seguir construyendo la sociedad que anhelamos para las futuras generaciones.

ÍNDICE

ÍNDICE	IV
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.1 Descripción de la realidad problemática	5
1.2 Formulación del problema	7
1.2.1 Problema General	7
1.2.2 Problema Específico.....	7
1.3 Objetivos	7
1.3.1 Objetivo General	7
1.3.2 Objetivo Específico.....	7
1.4 Limitantes de la investigación.....	7
1.4.1 Limitante teórica	7
1.4.2 Limitante temporal	8
1.4.3 Limitante espacial.....	8
1.4.4 Limitante económica.....	9
1.4.5 Limitante legal	9
II. MARCO TEÓRICO	10
2.1 Antecedentes	10
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	10
2.1.2 Antecedentes nacionales.....	13
2.2 Bases teóricas.....	14
2.2.1 Aguas residuales	14
2.2.2 Aguas Residuales Domésticas	16
2.2.3 Aguas Grises.....	18
2.2.4 Tratamiento de Aguas Residuales.....	21
2.2.5 Tecnologías de tratamiento biológico de aguas residuales.....	24

2.2.6	Infraestructura Verde.....	29
2.2.7	Paredes Verdes.....	29
2.2.8	Sistema de Paredes Verdes	39
2.2.9	Especies de plantas ornamentales en un Sistema de Paredes Verdes ..	39
2.2.10	Tratamiento de Aguas grises en un Sistema de Paredes Verdes	42
2.3	Conceptual.....	43
2.3.1	Aguas grises.....	43
2.3.2	Especies de plantas ornamentales en un Sistema de Paredes Verdes ..	44
2.3.3	Sustrato utilizado en un Sistema de Paredes Verdes	44
2.4	Definición de términos básicos	45
2.4.1.	Aguas grises.....	45
2.4.2.	Aptenia cordifolia.....	45
2.4.3.	Fibra de coco.....	45
2.4.4.	Nephrolepis obliterata.....	45
2.4.5.	Perlita	46
2.4.6.	Sistema de Paredes Verdes	46
2.4.7.	Tratamiento de aguas grises	46
III.	HIPÓTESIS Y VARIABLES	47
3.1	Hipótesis	47
3.1.1	Hipótesis General.....	47
3.1.2	Hipótesis Específica	47
3.2	Definición conceptual de variables	47
3.2.1	Variable Independiente: Especies de plantas ornamentales (Aptenia cordifolia y Nephrolepis obliterata) en un Sistema de Paredes Verdes ..	47
3.2.2	Variable Dependiente: Aguas grises.....	47
3.3	Operacionalización de variables	48
IV.	DISEÑO METODOLÓGICO	49
4.1	Tipo y diseño de la investigación.....	49
4.1.1	Tipo de investigación.....	49
4.1.2	Diseño de la investigación	49

4.2	Método de investigación	66
4.3	Población y muestra	66
4.3.1	Población	66
4.3.2	Muestra	67
4.4	Lugar de estudio y periodo desarrollado	67
4.4.1	Lugar de estudio	67
4.4.2	Periodo desarrollado	67
4.5	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información	69
4.5.1	Método colorimétrico para el análisis de pH	69
4.5.2	Método nefelométrico para el análisis de Turbidez	69
4.5.3	Método analítico luminiscente para el análisis de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	70
4.5.4	Técnica de filtración por tubos múltiples para el análisis de coliformes fecales (C.F.)	70
4.6	Análisis y procesamiento de datos	72
V.	RESULTADOS	74
5.1	Resultados Descriptivos	74
5.1.1	Resultados de laboratorio de las AGST (afluente)	74
5.1.2	Concentraciones finales en las configuraciones de tratamiento propuestas	76
5.1.3	Comparativa de las configuraciones de tratamiento por parámetro	79
5.2	Resultados Inferenciales	82
5.2.1	Análisis Comparativo de los Coliformes Fecales (CF)	83
5.2.2	Análisis Comparativo de la DBO ₅	85
5.2.3	Análisis Comparativo de la Turbiedad	88
5.2.4	Análisis Comparativo de pH	91
5.2.5	Eficiencias de remoción por configuración de tratamiento	94
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	97
6.1	Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados	97
6.1.1	Coliformes Fecales (CF)	97
6.1.2	DBO ₅	98

6.1.3	Turbiedad	99
6.1.4	pH	100
6.2	Contrastación de los resultados con otros estudios similares	100
6.3	Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes	102
	CONCLUSIONES	103
	RECOMENDACIONES	104
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
	ANEXOS	117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Composición del agua residual doméstica	17
Tabla 2.2. Principales parámetros de las aguas grises	20
Tabla 2.3. Caracterizaciones de Aguas Grises en Diversos Países.....	22
Tabla 2.4. Principales Tratamientos Aplicados a la Depuración de Aguas Residuales	23
Tabla 2.5. Especies de plantas ornamentales y sus estudios relacionados en el tratamiento de AG a través de un Sistema de Paredes Verdes	41
Tabla 3.1. Operacionalización de variables	48
Tabla 4.1. Características del diseño del Sistema de Paredes Verdes	51
Tabla 4.2. Características del procedimiento experimental	52
Tabla 4.3. Programa de Monitoreo	53
Tabla 4.4. Plantas ornamentales más utilizadas para construir jardines verticales en el Perú	56
Tabla 4.5. Parámetros de análisis seleccionados	57
Tabla 4.6. Dosis de dióxido de cloro (ClO ₂) al 0.1 % de concentración por cada muestra de agua tratada	61
Tabla 4.7. Puntos de generación de AG y volumen de AG recolectadas	62
Tabla 4.8. Coordenadas del lugar de estudio	67
Tabla 4.9. Requisitos para la toma de muestras de agua	71
Tabla 4.10. Equipos y métodos a emplear	72
Tabla 5.1. Resultados de laboratorio del análisis de AGST	75
Tabla 5.2. Resultados de laboratorio del análisis de las AGT-S	77
Tabla 5.3. Resultados de laboratorio del análisis de las AGT-A	77
Tabla 5.4. Resultados de laboratorio del análisis de las AGT-N	79
Tabla 5.5. Prueba de Normalidad Shapiro Wilk	83
Tabla 5.6. Resumen de la de la Prueba de Kruskal-Wallis	85
Tabla 5.7. Prueba de Normalidad Shapiro Wilk	85
Tabla 5.8. Prueba de homogeneidad de varianzas	86
Tabla 5.9. Análisis de Varianza ANOVA	88

Tabla 5.10. Prueba de Normalidad Shapiro Wilk	88
Tabla 5.11. Prueba de homogeneidad de varianzas	89
Tabla 5.12. Análisis de Varianza ANOVA	91
Tabla 5.13. Prueba de Normalidad Shapiro Wilk	91
Tabla 5.14. Resumen de la Prueba de Kruskal-Wallis	93
Tabla 5.15. Eficiencia de Remoción de las Configuraciones de Tratamiento Propuestas por Parámetros Establecidos	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Cantidad de producción de aguas grises en diferentes partes del mundo.....	19
Figura 2.2. Cantidad de producción de aguas grises en diferentes partes del mundo.....	19
Figura 2.3. Constituyentes de las aguas grises basados en diferentes fuentes	21
Figura 2.4. Diagrama de Bloques de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales típica	25
Figura 2.5. Diagramas esquemáticos de fachadas verdes	31
Figura 2.6. Diagramas esquemáticos de muros verdes.....	33
Figura 2.7. Múltiples Funciones del Sistema de Paredes Verdes en el Desarrollo Urbano.....	34
Figura 4.1. Diseño de las configuraciones del Sistema de Paredes Verdes	54
Figura 4.2. Componentes del Sistema de Paredes Verdes para el tratamiento de aguas grises	55
Figura 4.3. Procedimiento de monitoreo semanal para la caracterización de las aguas grises	63
Figura 4.4. Procedimiento de monitoreo semanal para la caracterización de las aguas tratadas	65
Figura 4.5. Ubicación del lugar de estudio	68
Figura 4.6. Secuencia lógica del análisis estadístico aplicado debido al comportamiento de los datos medidos.....	72
Figura 5.1. Comparativa de los Coliformes Fecales en el Tiempo por Configuración de Tratamiento	80
Figura 5.2. Comparativa de la DBO5 en el Tiempo por Configuración de Tratamiento.....	80
Figura 5.3. Comparativa de la Turbiedad en el Tiempo por Configuración de Tratamiento.....	81
Figura 5.4. Comparativa del pH en el Tiempo por Configuración de Tratamiento	82
Figura 5.5. Diagrama de Cajas de la Prueba de Kruskal-Wallis	84
Figura 5.6. Diagrama de Cajas de comparación de medias	87
Figura 5.7. Diagrama de Cajas de comparación de medias	90

Figura 5.8. Diagrama de Cajas de la Prueba de Kruskal-Wallis	93
Figura 5.9. Gráfico de Nodos para la Comparación entre Parejas.....	94
Figura 5.10. Comparativa de los promedios de las eficiencias de remoción (%) por cada configuración de tratamiento propuesto	96

RESUMEN

En la presente investigación se evaluó la efectividad de las especies *Aptenia cordifolia* y *Nephrolepis obliterated* para el tratamiento de aguas grises mediante un Sistema de Paredes Verdes, implementado a escala piloto en una vivienda del AA.HH. San Martín, en el distrito de Los Olivos, del departamento de Lima, Perú. Las aguas grises se recolectaron de 6 puntos de captación dentro de la vivienda, de forma diaria, para abastecer al Sistema las 24 horas del día, durante 5 días a la semana, por el periodo de 14 semanas, entre las épocas de primavera y verano, de los años 2021 y 2022. Se evaluó los parámetros de pH, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Turbiedad y Coliformes Fecales, antes y después del tratamiento, a fin de determinar las eficiencias de remoción de cada contaminante. Asimismo, la evaluación de la calidad de las aguas tratadas se realizó individualmente por cada una de las 3 configuraciones de tratamiento estudiadas: *Aptenia cordifolia* (AGT-A), *Nephrolepis obliterated* (AGT-N) y sin especie (AGT-S), que fue el control de análisis. Los resultados mostraron que las tres configuraciones de tratamiento propuestas en el Sistema de Paredes Verdes (AGT-A, AGT-N y AGT-S) cumplen con la calidad requerida por la US EPA para el riego de parques, campos deportivos, zonas verdes y otros usos, para los parámetros de estudio establecidos; siendo así que, en las tres configuraciones de tratamiento propuestas, se obtuvo eficiencias de remoción del 100% para Coliformes Fecales, así como eficiencias de remoción mayores al 96,1% para la DBO₅ y 96,4% para la Turbiedad. En cuanto al pH, las tres configuraciones presentaron valores entre 7,4 – 8,0 considerados dentro del rango óptimo para el tratamiento de aguas residuales; de lo cual se concluye, para la presente investigación, que las especies *Aptenia cordifolia* y *Nephrolepis obliterated*, en un Sistema de Paredes Verdes, son efectivas para el tratamiento de aguas grises.

Palabras claves: Tratamiento de aguas grises, Sistema de Paredes Verdes, *Aptenia cordifolia*, *Nephrolepis obliterated*.

ABSTRACT

In the present investigation, the efficacy of the species *Aptenia cordifolia* and *Nephrolepis oblitterata* was evaluated for the treatment of grey water through a Green Walls System, a pilot scale was implemented in a house of the AA.HH. San Martín, in the district of Los Olivos, in the department of Lima, Peru. Grey water was collected from 6 collection points inside the house, daily during, to supply the System 24 hours a day, 5 days a week, for a period of 14 weeks, between the spring and summer seasons, for the years 2021 and 2022. The parameters of pH, Biochemical Oxygen Demand, Turbidity and Fecal Coliforms were evaluated before and after treatment, in order to determine the removal efficiencies of each contaminant. Likewise, the evaluation of the quality of the treated water was carried out individually for each of the 3 treatment configurations studied: *Aptenia cordifolia* (AGT-A), *Nephrolepis oblitterata* (AGT-N) and without species (AGT-S), which was the analytical control. The results showed that the three treatment configurations proposed in the Green Walls System (AGT-A, AGT-N and AGT-S) comply with the quality required by the US EPA for the irrigation of parks, sports fields, green areas and other uses, for the established study parameters; thus, in the three proposed treatment configurations, removal efficiencies of 100% were obtained for Fecal Coliforms, as well as removal efficiencies greater than 96.1% for BOD₅ and 96.4% for Turbidity. As for pH, the three configurations presented values between 7.4 - 8.0, considered within the optimal range for wastewater treatment; from which it is concluded, for the present investigation, that the species *Aptenia cordifolia* and *Nephrolepis oblitterata*, in a Green Walls System, are effective for the treatment of grey water.

Keywords: Grey water treatment, Green Walls System, *Aptenia cordifolia*, *Nephrolepis oblitterata*.

INTRODUCCIÓN

Una de las soluciones más atractivas para el tratamiento de aguas grises (AG) es la conformada por estructuras instaladas en los muros de edificios o viviendas, conocidas como Sistema de Paredes Verdes (SPV), que se distinguen por la estética y los grandes beneficios que proporcionan, como la mejora de la calidad ambiental, así como la eliminación de los contaminantes presentes en las AG, mediante su tratamiento empleando plantas ornamentales (PO) de gran rendimiento (Prodanovic et al., 2019). En ese sentido, existen diversos estudios relacionados al tratamiento de AG aplicando un SPV, en los que se han obtenido resultados exitosos. Estos estudios se han desarrollado en países de los continentes de Europa, Oceanía y recientemente en Colombia, perteneciente al continente americano (Boano et al., 2021; Convers Contreras, 2019; Fowdar et al., 2017; Lakho et al., 2022; Prodanovic et al., 2019; Tavera Oliveros, 2019); sin embargo, en el Perú aún no se han realizado investigaciones de este tipo, lo cual evidencia la necesidad de estudiar especies que se adecúen a nuestras condiciones, tanto en distribución geográfica, disponibilidad comercial y adaptabilidad climática.

Por tal motivo, la presente investigación tiene por objetivo probar si las especies de PO *Aptenia cordifolia* y *Nephrolepis obliterata*, son efectivas para el tratamiento de aguas grises mediante un Sistema de Paredes Verdes (SPV), el cual fue adaptado a nuestras condiciones geográficas y climáticas, desarrollando la investigación en una vivienda ubicada en el distrito de Los Olivos, Lima, Perú. El procedimiento del tratamiento de aguas grises mediante un SPV inició con la implementación del Sistema, el cual estuvo conformado por 3 configuraciones de tratamiento: *Aptenia cordifolia* (AGT-A), *Nephrolepis obliterata* (AGT-N) y sin especie (AGT-S). Posteriormente, se realizó la recolección diaria de las AG generadas en la vivienda para alimentar el SPV y tratar dichas aguas durante 24 horas, de las cuales se extrajeron muestras de las aguas tratadas por cada una de las 3 configuraciones de tratamiento, así como de las AG sin tratamiento. Asimismo, al finalizar cada semana de tratamiento de AG en el SPV, se procedió a realizar el monitoreo de las AG y de las aguas tratadas, que fueron previamente desinfectadas mediante cloración a fin de cumplir con el valor de cloro libre

residual (ClO_2) establecido por la US EPA para el riego de parques, campos deportivos, zonas verdes y otros usos. Finalmente, durante la etapa de tratamiento, se enviaron las muestras de las AG y de las aguas tratadas al laboratorio encargado del análisis correspondiente.

Los resultados del análisis de los parámetros establecidos (pH, DBO_5 , Turbiedad y Coliformes Fecales), fueron procesados mediante el software estadístico IBM SPSS Statistics 25. En base a los resultados analizados, se concluye para la presente investigación, que las especies *Aptenia cordifolia* y *Nephrolepis obliterata*, en un Sistema de Paredes Verdes, son efectivas para el tratamiento de aguas grises; asimismo, cumplen con la calidad requerida por la US EPA para el riego de parques, campos deportivos, zonas verdes y otros usos. Finalmente, en la presente investigación, se recomienda evaluar el grado de influencia de la cloración sobre la remoción de coliformes fecales en el tratamiento de aguas grises, utilizando las especies *Aptenia cordifolia* y *Nephrolepis obliterata* en un SPV, así como analizar el efecto de remoción de contaminantes en diferentes estaciones del año y en periodos de tiempo más prolongados; asimismo, se recomienda probar diferentes proporciones de perlita y fibra de coco, como sustrato para las especies *Aptenia cordifolia* y *Nephrolepis obliterata*.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

Según los datos de la WWDR (2015), en el mundo, dos tercios de la población vive en regiones donde al menos una vez al año, sufre de escasez de agua; situación que no es ajena a nuestra realidad nacional, dado que el 66% de la población peruana habita en zonas costeras, en las que se produce apenas el 2% de las disponibilidades hídricas del país, por lo que se realizan trasvases de una cuenca a otra para intentar satisfacer las necesidades de las más grandes urbes de nuestro territorio (ANA, 2018). La situación es más crítica aún, dado que casi todas las actividades humanas que requieren agua producen, como consecuencia de su ejecución, aguas residuales (AR) (WWAP, 2017); por lo tanto, conforme aumenta la población y con ello la demanda del recurso hídrico, se incrementa también el volumen generado de AR (ONU, 2019) y a su vez, la concentración de los contaminantes presentes en ellas.

A nivel mundial, el 80 % de las AR es vertida a los cuerpos receptores sin realizar un tratamiento previo (WWAP, 2017), realidad que no es distinta a lo que sucede en nuestro país, dado que de los 2 217 946 m³ de AR que se producen al día, sólo el 32% recibe tratamiento antes de su vertimiento (OEFA, 2014). Ante dicha situación y, teniendo en cuenta el constante aumento en la demanda de agua (WWAP, 2019), así como el uso muchas veces irracional que se le da a este recurso, además de la continua generación de aguas residuales, es que estas últimas han cobrado un nuevo paradigma, al dejar de verlas como un problema y empezar a considerarlas como parte de la solución a la problemática del agua, ya que al ser tratadas estas pueden utilizarse en diferentes actividades que no requieren de una calidad elevada para su uso (WWAP, 2017).

En ese sentido, se tiene que las AR con el potencial más alto para ser reutilizadas, luego de su tratamiento, son las aguas grises (AG); ya que estas presentan niveles más bajos de contaminación, su tratamiento resulta

ser más factible y su reutilización no implica un riesgo elevado, a diferencia de las aguas negras (AN) (Oviedo-Ocaña, Dominguez, Ward, Rivera-Sanchez, & Zaraza-Peña, 2018).

La reutilización de las AG se puede realizar empleando diferentes tipos de tratamiento que incluyen sistemas físicos, químicos y biológicos; sin embargo, muchos de ellos requieren extensas áreas horizontales, gran consumo de energía y costos elevados de operación y mantenimiento, lo cual dificulta su aplicación en el lugar de generación, más aún en ciudades donde se carece de espacio horizontal suficiente (Fowdar et al., 2017).

Ante dichas limitaciones, surge la alternativa de los sistemas de biofiltración, que operan bajo principios similares a los sistemas de humedales, pero que requieren menores áreas horizontales, menores costos operativos y de mantenimiento, así como un menor uso de la energía; por lo cual, se les considera como el tipo de tratamiento más adecuado para su uso *in situ*, en ciudades urbanizadas como las nuestras (Garzón-Zúñiga et al., 2012).

Dentro de los sistemas de biofiltración, los más prometedores son las Paredes Verdes, una tecnología urbana verde emergente que puede emplearse para tratar aguas grises, teniendo como componente principal a especies de plantas ornamentales que se distribuyen verticalmente a lo largo del sistema y cumplen un rol fundamental al momento de eliminar los contaminantes (Prodanovic et al., 2017).

A la fecha se han realizado estudios sobre la aplicabilidad de las Paredes Verdes en el tratamiento de AG, obteniendo resultados exitosos (Boano et al., 2021; Convers Contreras, 2019; Fowdar et al., 2017; Lakho et al., 2022; Prodanovic et al., 2017; Tavera Oliveros, 2019); sin embargo, estos estudios se han desarrollado en países de Europa, Oceanía y recientemente a nivel regional en Colombia, pero ninguno en Perú; lo cual hace evidente la necesidad de investigar especies que se adecúen a nuestras condiciones ya que las previamente investigadas no

necesariamente se pueden emplear en nuestro país, debido a su distribución geográfica, disponibilidad comercial y adaptabilidad climática.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema General

¿Serán las especies *Aptenia cordifolia* y *Nephrolepis obliterata* efectivas para el tratamiento de aguas grises mediante un Sistema de Paredes Verdes?

1.2.2 Problema Específico

¿Será la especie *Aptenia cordifolia* más efectiva, en el tratamiento de aguas grises, que la especie *Nephrolepis obliterata*?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Probar si las especies *Aptenia cordifolia* y *Nephrolepis obliterata* son efectivas para el tratamiento de aguas grises mediante un Sistema de Paredes Verdes.

1.3.2 Objetivo Específico

Determinar si la especie *Aptenia cordifolia* es más efectiva en el tratamiento de aguas grises, que la especie *Nephrolepis obliterata*.

1.4 Limitantes de la investigación

1.4.1 Limitante teórica

La presente investigación se centró en comparar dos especies de plantas ornamentales a fin de determinar cuál de ellas es más efectiva en el tratamiento de aguas grises empleando un Sistema de Paredes Verdes, a nivel domiciliario y a escala piloto. Para ello se aplicó los siguientes conocimientos, enmarcados dentro del área de la Ingeniería Ambiental:

- Tratamiento de aguas residuales domésticas.
- Aguas grises y sus características.
- Tratamiento de aguas grises.
- Especies ornamentales en el tratamiento de aguas grises.
- Sistema de Paredes Verdes.
- Calidad de aguas grises para su reutilización.

En la investigación se emplearon las especies ornamentales *Aptenia cordifolia* y *Nephrolepis obliterata*, cuyos criterios de selección se detallan en el sub capítulo 4.1 Tipo y diseño de la investigación.

1.4.2 Limitante temporal

La etapa experimental de la investigación se llevó a cabo durante el periodo comprendido entre octubre del 2021 y enero del 2022 (16 semanas), donde las 2 primeras semanas correspondieron a la adaptación de las especies al Sistema de Paredes Verdes, las 2 semanas siguientes correspondieron a la puesta en marcha del Sistema de Paredes Verdes y las últimas 12 semanas comprendieron el tratamiento de las aguas grises. El monitoreo de las aguas grises y las aguas tratadas, se realizó durante la etapa de tratamiento de las mismas y fue interrumpido por 2 semanas, correspondientes a las festividades de navidad y año nuevo, lo cual se sustenta a mayor detalle en el sub capítulo 4.1 Tipo y diseño de la investigación.

1.4.3 Limitante espacial

La investigación se realizó dentro de una vivienda ubicada en el AA. HH. San Martín, distrito de Los Olivos, departamento de Lima, Perú. Los espacios comprendidos dentro de la vivienda para la instalación piloto del Sistema de Paredes Verdes se establecieron de acuerdo a las condiciones físicas y tiempo atmosférico óptimos para tal fin, de

modo que la etapa experimental de la investigación se desarrolle con éxito.

1.4.4 Limitante económica

Debido a la factibilidad económica de los autores, se realizó sólo los análisis mínimos necesarios para poder contrastar la hipótesis de la investigación.

1.4.5 Limitante legal

Para efectos de la presente investigación se ha utilizado la normativa de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (en adelante US EPA) para el Riego de Parques, Campos Deportivos, Zonas Verdes y otros usos (US EPA, 2012), al ser esta la norma idónea para comparar los resultados del análisis de los parámetros de calidad, de los efluentes obtenidos del tratamiento de las aguas grises con fines de reutilización.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Para el desarrollo de la presente investigación se realizó el análisis bibliográfico, a nivel internacional y nacional, relacionado al tratamiento de aguas grises mediante tecnologías no convencionales donde se empleen plantas ornamentales en espacios verticales.

2.1.1 Antecedentes internacionales

Lakho et al. (2022), evaluaron el desempeño de una pared verde con altas tasas de carga de aguas grises y el impacto de la evaluación del ciclo de vida (ECV) en una casa adosada en Gent (Bélgica). Se instaló un sistema de muros verdes de 14,4 m² denominado “Total Value Wall” (TVW) para tratar AG y reutilizar el efluente para la descarga del inodoro. Se obtuvo que el sustrato contenido en bolsas de geotextil, no soportó las tasas de carga hidráulica más altas debido a que se produjeron fugas excesivas. A pesar de esto, las tasas más altas de carga de contaminantes dieron como resultado una calidad aceptable del efluente con 15 mg.L⁻¹ de SST (90%), 85 mg.L⁻¹ de DQO (82%) y 15 mg.L⁻¹ de DBO 5(95%). Se eliminaron amonio, E. coli y coliformes totales con tasas de eliminación del 98%, 63% (0,4 unidades logarítmicas) y 36% (0,2 unidades logarítmicas), respectivamente. Los impactos de la ECV mostraron que la sustitución del agua del grifo, los fertilizantes químicos por AG y la reutilización de los efluentes tienen un impacto positivo.

Boano et al. (2021), realizaron una investigación en Italia donde se evaluó la influencia de cuatro aditivos (compost, biocarbón, carbón activado granular, poliacrilato) mezclados con un medio filtrante a base de fibra de coco y perlita, en el desempeño de una pared verde alimentada en modo discontinuo con AG sintéticas. El muro verde se operó con una alta tasa de carga hidráulica de AG (740,8 L/m²/día) en condiciones invernales al aire libre (3,5–15 °C medidos para AG)

entre enero y abril. Se evaluó cada 1-2 semanas los parámetros fisicoquímicos y biológicos (pH, conductividad eléctrica, sólidos suspendidos totales, oxígeno disuelto, DBO5, DQO, compuestos de nitrógeno y fósforo, cloruros y sulfatos, aniónicos tensioactivos y E. coli). Los rendimientos de eliminación fueron excelentes para DBO5 (>95 %) y E.coli(>98%) para todos los aditivos. En comparación con el medio base, el biocarbón fue el aditivo con mejor desempeño en el mayor número de parámetros, logrando remociones equivalentes al 51% para DQO, 47% para TKN y nitrógeno nítrico y 71 % para tensioactivos aniónicos.

Ángel Palomino (2019), en su investigación evaluó las eficiencias de tratamiento del AG en un SPV piloto conformado por 2 sustratos orgánicos y 2 especies vegetales en Colombia. Se realizó tres monitoreos en el efluente y afluente durante dos meses. Se obtuvo una adaptación correcta en las plantas, además de remociones de 80%, 90% y 90% para la DQO, DBO5 y turbiedad, respectivamente. Se concluyó que la combinación de *Asplenium nidus* junto al musgo *sphagnum* obtuvo la mayor tasa de remoción de parámetros; sin embargo, la calidad del efluente tratado no cumplió con los dos estándares (NFS y OMS) para reúso del AG.

Convers Contreras (2019), en su investigación realizó la evaluación de la eficiencia de tratamiento de AG originadas por una lavadora, mediante *Canna indica*, *Cyperus rufus* y *Asplenium nidus* con el musgo *sphagnum* y la fibra de coco y perlita (3:1) como sustrato. Se analizó SST, DBO5, DQO, Fósforo Total (PT) y Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK) en 4 monitoreos. Se obtuvo que la combinación de *Canna indica* con el musgo *sphagnum* fue la más óptima para la remoción de DBO5, SST y turbiedad; siendo la mayor en remover la DQO, NT y PT la combinación de *Asplenium nidus* y el musgo. Se concluye que los SPV poseen potencial remediador de AG, pudiendo cumplir la calidad recomendada por la OMS para riego.

Tavera Oliveros (2019), en su investigación analizó el tratamiento de AG a través de un SPV piloto, empleando la especie nativa *Cyperus rufus* junto con la perlita & fibra de coco como sustrato, en relaciones de 2:1, 3:1, 4:1. Se analizó parámetros de calidad físicos y químicos, obteniendo eficiencias significativas de remoción para los parámetros de DQO (50.3%), SST (64%), turbiedad (57.2%) y DBO₅ (65.7%); sin embargo, no se logró remover el color, el cual fue otorgado por el propio sustrato. Se concluyó que la configuración de *Cyperus Rufus* y el sustrato en relación 3:1 fue la más óptima, obteniendo resultados acordes a la calidad para irrigar plantas ornamentales establecidos por la OMS.

Prodanovic et al. (2018), evaluaron el rendimiento de eliminación hidráulica y de contaminantes de seis diferentes mezclas de medios de coco y perlita en un experimento de columna no vegetada. Los resultados sugirieron que hay un punto entre las proporciones de perlita a fibra de coco entre 2:1 y 3:1 donde la tasa de infiltración aumentaba significativamente, como resultado de la dominancia de la perlita, afectando negativamente el rendimiento de la remoción de contaminantes, al no haber tiempo suficiente para que los procesos biológicos importantes surtan efecto. De la investigación se concluyó que las mezclas hidráulicamente más lentas, es decir con más fibra de coco que perlita, tienen un buen potencial para el tratamiento de Sólidos Totales Suspendidos, nitrógeno, DQO y E. coli presentes en las aguas grises. Asimismo, se concluyó que la proporción de los sustratos a utilizar depende de la dinámica del flujo de entrada, recomendando para tasas de carga hidráulica de hasta 10 L/h (para una sola columna vertical de pared verde), utilizar una mayor proporción de medios de coco en la mezcla (perlita a fibra de coco de 1:3 o 1:2), a fin de mejorar el rendimiento de eliminación de contaminantes y para tasas de carga mayores a 10 L/h, usar una porción más alta de perlita (perlita a de fibra de coco de 3:1 o 4:1), lo cual extenderá la vida operativa del sistema.

Prodanovic et al. (2019), realizaron una nueva investigación en la cual se examinó la influencia de la variación en los espacios de las plantas y las condiciones operativas (tasa de carga hidráulica, concentraciones de entrada y secado intermitente) en la remoción de nutrientes de las AG claras. Para ello, llevaron a cabo un experimento durante 12 meses en una pared verde piloto a gran escala, obteniéndose como resultados que las especies de plantas ornamentales podían adaptarse exitosamente al régimen de riego de aguas grises y desempeñar un papel importante en la absorción de N y P. Asimismo, se obtuvo que las plantas de mayor rendimiento fueron *M. parvifolium*, *C. appressa*, *N. obliterata*, y *L. muscari*. Se concluyó que las paredes verdes podrían usarse como un sistema robusto y estéticamente atractivo para el tratamiento de aguas grises.

Fowdar et al. (2017), diseñaron un sistema eficaz y fiable para mantener simultáneamente una pared verde y tratar aguas grises *in situ* en Melbourne-Australia, a fin de poder reutilizarlas posteriormente. Para ello, realizaron un estudio de columnas a gran escala, en las que investigaron factores de diseño y operación del sistema propuesto, tales como especies de plantas, diseño de zonas saturadas, período de descanso, tasa de carga hidráulica y concentración de contaminantes. Se obtuvo que el uso de especies ornamentales puede contribuir a la eliminación de contaminantes, teniendo a los lirios como la especie que presentó los mejores resultados en la remoción de nitrógeno (> 80%). Se concluyó que con estos sistemas se puede obtener excelentes eficiencias de eliminación de compuestos orgánicos y de sólidos en suspensión, demostrándose que los Sistema de Paredes Verdes pueden ser diseñados para el tratamiento de AG a escala doméstica.

2.1.2 Antecedentes nacionales

A nivel nacional no se identificaron investigaciones específicas sobre

el tratamiento de AG mediante un Sistema de Paredes Verdes; sin embargo, se identificaron investigaciones en tratamiento de AG con otras tecnologías no convencionales, como las de humedales artificiales.

Vargas Rubio (2021), evaluó la eficacia de un humedal artificial (HA) de flujo vertical (FV) en el tratamiento de AG utilizando *Chrysopogon zizanioides* (vetiver) en una vivienda del Callao. Analizó en 7 tiempos diferentes 3 muestras con repeticiones por triplicado. El diseño de HA FV fue de 2 m, 1,6 m y 50 cm para el largo, ancho y altura, respectivamente; con 13 días de tiempo del tratamiento. Se obtuvo eficiencias de 98,8%; 97,8%; 99,4%; 99,4% y 99,9% en la remoción de DBO₅, DQO, SST, turbidez y detergentes. Se pudo concluir que el tratamiento aplicado es eficiente para el tratamiento de AG, además cumplió con el ECA de Agua para riego.

Torres Callupe (2018), en su investigación evaluó la eficacia de tratamiento de AG en un HA sub superficial con *Typha dominguensis* (Totorá), en Carabayllo. Para ello se implementó 2 HA con 3 tipos de sustrato (confitillo, arena gruesa y fina), y la planta fue recogida de los pantanos de Ventanilla. Las dimensiones de los HA fue de 100 cm, 50 cm y 40 cm para el largo, ancho y la altura, respectivamente. Se obtuvo remociones de 99,9%; 99,8%; 99,6%; 99,4% y 99,9% para la DBO₅, DQO, SST, turbiedad y P Total. Se concluyó que el tratamiento propuesto cumple con la categoría 3 de riego del ECA - Agua y la norma de la FAO.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Aguas residuales

Las aguas residuales son todas las aguas donde sus propiedades originales se han transformado producto de la actividad humana y necesitan tratamiento antes de reusarse, descargarse en un cuerpo de agua natural o ser vertidas al alcantarillado (OEFA, 2014). Estas

aguas pueden contener sustancias altamente tóxicas para la vida acuática y las poblaciones humanas (Vallero, 2019).

a) Composición

La composición de las aguas residuales es muy heterogénea y variable según su origen y se puede caracterizar según tres criterios: propiedades físicas, propiedades químicas y propiedades biológicas. Las propiedades físicas consisten en parámetros como el olor, el color, la turbidez y la temperatura. Las propiedades químicas son más amplias y se pueden subdividir en constituyentes inorgánicos, orgánicos y gaseosos.

Los componentes inorgánicos incluyen parámetros como el pH, la alcalinidad, los metales pesados, los cloruros, el nitrógeno, el fósforo y el azufre.

Los constituyentes orgánicos comprenden parámetros tales como fenoles, pesticidas, carbohidratos, proteínas, grasas, aceites, sólidos en suspensión, sólidos filtrados, compuestos orgánicos volátiles, tensioactivos y otros contaminantes relacionados. Por último, los componentes gaseosos incluyen sulfuro de hidrógeno, metano, oxígeno, dióxido de carbono, nitrógeno y amoníaco.

Por otro lado, las propiedades biológicas de las aguas residuales dependen de la disponibilidad de macro y microbiota como plantas, animales, eubacterias, arqueobacterias y virus en la corriente de aguas residuales (Hodaifa, Paladino, Malvis, Seyedsalehi, & Neviani, 2019).

b) Clasificación

Para Henze et al. (2008), las aguas residuales pueden clasificarse según su origen en la sociedad en: aguas residuales domésticas, de instituciones, industriales, de infiltración a alcantarillas, pluviales, lixiviados y de fosas sépticas.

Bendicho y Lavilla (2017), además manifiestan que las aguas residuales domésticas suelen tener características bastante uniformes a pesar de ser de naturaleza heterogénea; es decir, desechos de inodoros, lavatorios y baños; mientras que los efluentes industriales muestran una diversidad más amplia debido a las variaciones entre industrias y dentro de la industria alimentaria, química, metalúrgica, etc.

Entre los diferentes tipos de aguas residuales, las domésticas y las industriales son especialmente difíciles de tratar de forma eficiente, debido a los grandes volúmenes que se generan y a la gran diversidad de contaminantes que contienen estas aguas residuales (Hodaifa et al., 2019).

2.2.2 Aguas Residuales Domésticas

Las aguas residuales domésticas son los efluentes producidos por las actividades humanas diarias en los hogares (WANG, WANG, & YU, 2022).

Para Mahmoudi, Mousavi, & Darvishi (2021), estas aguas se dividen en tres tipos: aguas negras (AN), aguas grises (AG) y aguas claras.

Generalmente, las AN se refieren a las aguas residuales generadas por el agua del inodoro doméstico, que contiene coliformes fecales y altas concentraciones de materia orgánica (Brain, Lynch, & Kopp, 2015). Sin embargo, en algunas partes del mundo, los fregaderos de cocina y los efluentes de lavavajillas también se conocen como aguas negras (Noutsopoulos et al., 2018).

Las AG pueden tener definiciones ligeramente diferentes en todo el mundo, por lo general se refieren a las aguas residuales producidas por usos domésticos como bañarse y lavar la ropa.

Muchos estudios previos han señalado que las aguas grises contienen todas las aguas residuales producidas en el hogar, excepto el agua del inodoro (Mahmoudi et al., 2021). El efluente

producido por las fuentes mencionadas se denomina agua gris porque si se almacena por períodos cortos se ve como gris (Saumya, Akansha, Rinaldo, Jayasri, & Suthindhiran, 2015).

Las aguas claras son otra fuente de aguas residuales que se producen en edificios comerciales y viviendas (De Ville, Le, Schmidt, & Verbanck, 2017). Este tipo de aguas residuales contiene agua generada a partir de diferentes fuentes, como el goteo del compresor del refrigerador, el agua no utilizada mientras se espera que se caliente el agua del grifo, el enfriador de agua y el 'sudor' del aire acondicionado, entre otras (Brain et al., 2015).

Tabla 2.1.

Composición del agua residual doméstica

Componente			Intervalo de concentraciones		
			Alta	Media	Baja
Materia sólida, mg/L	Materia disuelta total, mg/L	Inorgánica	525	300	145
		Orgánica	325	200	105
	Materia en suspensión, mg/L	Inorgánica	75	55	20
		Orgánica	275	165	80
Sólidos decantables, ml/L		20	10	5	
DBO ₅ a 20°C, mg/L		400	220	110	
Carbono orgánico total, mg/L		290	160	80	
DQO, mg/L		1000	500	250	
	Orgánico	35	15	8	
Nitrógeno, mg/L, total	Amoniaco	50	25	12	
	Nitritos	0	0	0	
	Nitratos	0	0	0	
Fósforo, mg/L P, total	Orgánico	5	3	1	
	Inorgánico	10	5	3	
Cloruros		100	50	30	
Alcalinidad, mg/L de CaCO ₃		200	100	50	
Grasa, mg/L		150	100	50	

Nota. Adaptado de Metcalfy (1995)

En la Tabla 2.1 se presentan los valores representativos de las características de las aguas residuales domésticas, presentando

tres posibles escenarios de concentración de contaminantes para los siguientes parámetros: materia sólida, sólidos decantables, DBO₅, carbono orgánico total, DQO, nitrógeno total, fósforo total, cloruros, alcalinidad de CaCO₃ y grasas. Asimismo, se puede apreciar que los valores de concentración más altos se dan en los parámetros de DQO, materia sólida inorgánica y DBO₅.

2.2.3 Aguas Grises

Son las aguas residuales domésticas que provienen de duchas, lavatorios, baños, lavadoras y de la cocina (Ding et al., 2017). En algunos estudios, las aguas grises se dividen en dos categorías según el tipo de fuente, incluidas las aguas grises ligeras (baja carga de contaminantes; agua recolectada de las duchas, bañeras y lavatorios), que tienen un alto potencial de tratamiento y reutilización (Fowdar et al., 2017), y aguas grises oscuras (alta carga contaminante; agua recolectada de cocina y lavandería) (Allen, Christian-Smith, & Palaniappan, 2010).

A continuación, se describe las características de cantidad y calidad de las aguas grises, según diferentes autores:

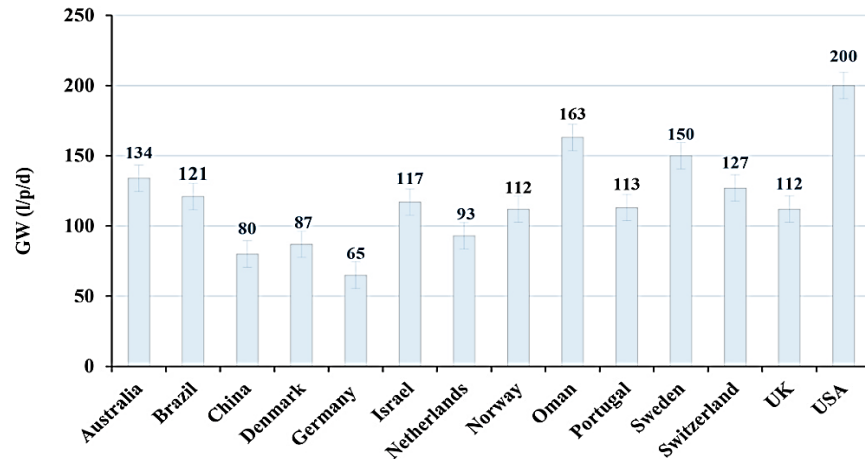
La **cantidad** de AG producidas depende de muchos factores, como el estilo de vida, el nivel de vida, la estructura de la población (edad, sexo), la ubicación, el nivel socioeconómico, las costumbres, la disponibilidad de agua municipal y las condiciones climáticas (Mahmoudi et al., 2021).

El volumen de AG generadas en los países en desarrollo es de 20 a 30 L por persona por día (lpd); mientras que en los países desarrollados, el volumen producido de AG alcanza más de 100 lpd (Benami, Gillor, & Gross, 2016). En promedio, la ducha en los hogares constituye el 49% de las aguas grises (Selimli & Eljetlawi, 2021).

En la Figura 2.1 se puede apreciar la cantidad de producción de aguas grises en diferentes partes del mundo y en la Figura 2.2, la composición de las mismas según su origen.

Figura 2.1.

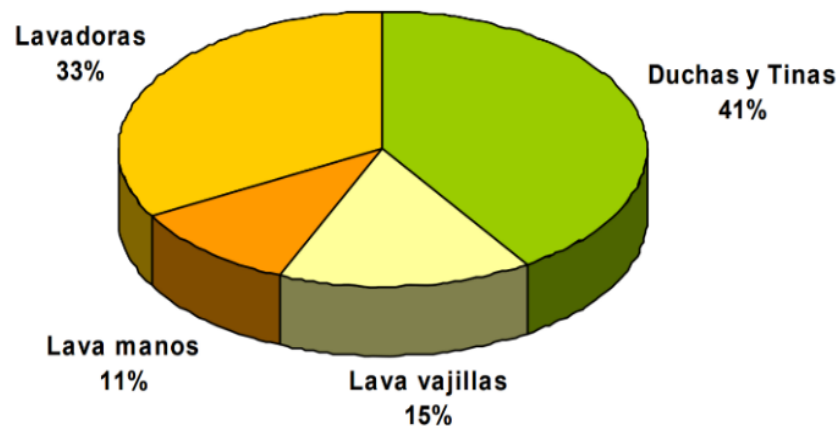
Cantidad de producción de aguas grises en diferentes partes del mundo



Nota. Tomado de Fountoulakis, Markakis, Petousi, & Manios (2016)

Figura 2.2.

Cantidad de producción de aguas grises en diferentes partes del mundo



Nota. Tomado de Franco Alvarado (2007)

Las características de **calidad** de AG, al igual que su cantidad, están influenciadas por factores como las fuentes de AG (comerciales o domésticas), la disponibilidad de agua (Alsulaili & Hamoda, 2015), las tasas de ocupación y el estilo de vida (Noutsopoulos et al., 2018),

sistemas de tuberías (Spychała, Nieć, Zawadzki, Matz, & Nguyen, 2019), ingresos económicos (Chrispim & Nolasco, 2017), número de habitantes en un hogar (Bakare, Mtsweni, & Rathilal, 2017), ubicación geográfica y demografía (Al-Jayyousi, 2003).

Generalmente, las aguas grises contienen jabón, champú, cabello, suciedad, grasas, pasta de dientes, detergente para ropa, pelusa, aceite corporal, crema de afeitar, productos químicos y orina (Priyanka, Behera, & Neelancherry, 2020; Spychała et al., 2019).

En la Tabla 2.2 se detalla los principales parámetros de las aguas grises. En la Figura 2.3 se muestra los constituyentes de las aguas grises basados en diferentes fuentes, y en la Tabla 2.3 se presenta las caracterizaciones de las aguas grises en diversos países.

Tabla 2.2.

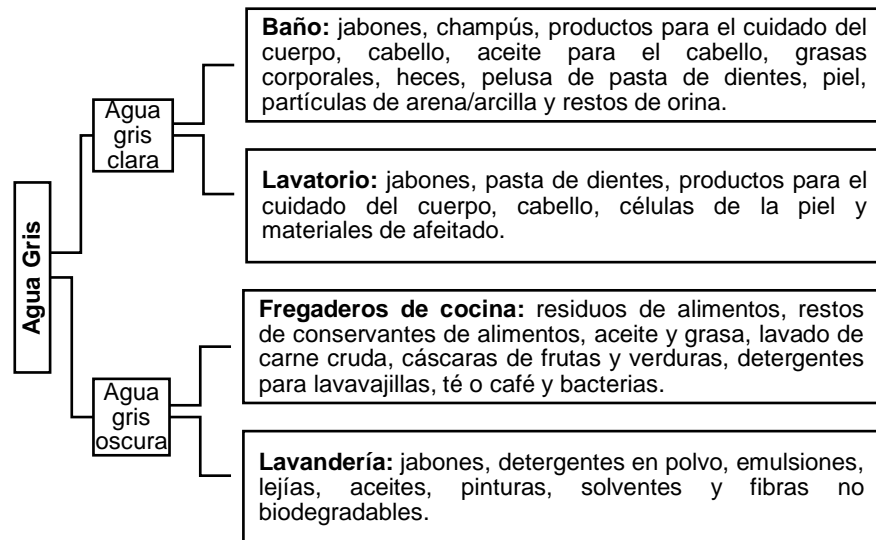
Principales parámetros de las aguas grises

Físico		Químico	
Parámetro	Unidad	Parámetro	Unidad
Temperatura	°C	pH	Unidad
Turbiedad	NTU	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L
Solidos totales	mg/L	Demanda Química de Oxígeno	mg/L
Solidos suspendidos totales	mg/L	Carbono Orgánico Total	mg/L
Sólidos disueltos totales	mg/L	Carbono Orgánico Disuelto	mg/L
Biológico		Nitrato	mg/L
Parámetro	Unidad	Amonio	mg/L
Coliformes Totales	NMP/100 mL	Nitrógeno oxidado	mg/L
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	Nitrógeno Total	mg/L
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL	Fósforo Total	mg/L
Bacteriófago de ARN-F	NMP/100 mL	Fosfato	mg/L
<i>Clostridium perfringens</i>	NMP/100 mL	Metales Pesados	mg/L
Bacteroidales	NMP/100 mL	Compuestos Orgánicos Xenobióticos	mg/L

Nota. Adaptado de Mahmoudi et al. (2021)

Figura 2.3.

Constituyentes de las aguas grises basados en diferentes fuentes



Nota. Adaptado de Mahmoudi et al. (2021)

2.2.4 Tratamiento de Aguas Residuales

Existe una gran variedad de tratamientos para la depuración de aguas residuales, clasificándose según su naturaleza en físicos, químicos o biológicos. En el tratamiento físico intervienen procesos de eliminación de sólidos, en el químico se desarrollan modificaciones en la estructura química de los contaminantes, para facilitar la degradación o separación total. En algunos casos se utilizan altas temperaturas (oxidación húmeda, incineración, etc.) para la descomposición de los contaminantes, pero normalmente implican altos costes, por lo que se utilizan principalmente para sustancias refractarias, difíciles de eliminar mediante otros tratamientos (Bendicho & Lavilla, 2017).

En el tratamiento biológico, comúnmente se aplican procesos biológicos microbianos, para eliminar los coloides y compuestos orgánicos disueltos, microorganismos aerobios, descomponer sustancias orgánicas complejas en productos inorgánicos simples como CO₂ y agua (Hodaifa et al., 2019).

Tabla 2.3.

Caracterizaciones de Aguas Grises en Diversos Países

País	pH Min-Max (prom)	STT (mg/L) Min-Max (prom)	DBO5 (mg/L) Min-Max (prom)	DQO (mg/L) Min-Max (prom)	NT (mg/L) Min-Max (prom)	PT (mg/L) Min-Max (prom)	CT (NMP /100 mL) Min-Max (prom)	CF (NMP/100 mL) Min-Max (prom)	E. coli (NMP/100 mL) Min-Max (prom)
Australia	-	74	104	-	5.3	3	-	-	-
Canadá	6.7-7.6	-	-	278-435	-	0.24-1.02	-	4.7E+04-8.3E+05	-
Egipto	6.05-7.96	70-202	220-375	301-557	-	8.4-12.1	-	-	-
Francia	6.46-7.48	23-80	85-155	176-323	-	-	1,7E + 08-1,4E+ 09	4.0E+03-5.7E+06	-
Alemania	7.6	-	59	109	15.2	1.6	-	1.4E + 05	-
Ghana	5.00-9.00	192-414	87-301	207-1299	-	1-3	2,5E+06-4,9E+06	0-6.9E + 06	-
India	5.90-8.34	53.80- 788.00	17.10-290.00	43.90-733.00	17.00-28.82	0.01-3.84	-	5.0E+01-1.2E+02	-
Indonesia	6.85	18.00	8.50	15.00	-	-	-	-	-
Israel	6.3-8.2	30-298	74-890	840-1340	10-34.3	1.9-48	-	3.5E+04-4.0E+06	5.0E + 04
Jordania	6.4-9	23-845	36-1240	58-2263	6.44-61	0.69-51.58	250-1.0E + 07	1.3E+01-3.0E+05	2.0E + 05
Malasia	6.5-7.2	19-175	1.1-309	16-1103	-	4.5	-	0-1.9E+06	0-6.7E+03
Noruega	7.1	39	129	241	10.61	1.03	6.8E+06	-	4.9E+06
Omán	6.7-8.5	11-505	25-562	58-486	-	-	2.0E+02-3.5E+03	2.0E + 02	2.0E + 02
Palestina	5.8-8.26	304-4952	407-512	863-1240	111-322	5.8-15.16	-	-	-
España	7.39	336.09	130.32	151-177	10.00-11.00	-	-	1.0E + 03	1.0E + 03
Suecia	7.8	-	425	890	75	4.2	-	1.7E+05	-
Taiwán	6.5-7.5	29	23	55	-	-	5.1E+03	-	-
Túnez	7.5	33	97	102	8.1	-	-	-	-
Turquía	-	54	91	190-350	7.6	7.2	-	1.1E+04	-
EEUU	6.4	17	86	-	13.5	4	-	-	5.4E + 02
Yemen	6	511	518	2000	-	-	-	1.9E+07	-

Nota. E, “10 elevado a un número”; STT, sólidos suspendidos totales; DBO₅, demanda bioquímica de oxígeno; DQO, demanda química de oxígeno; NT, nitrógeno total; PT, fósforo total; CT, carbono total; CF, coliformes fecales. *Adaptado de Boano et al. (2020)*

Los tratamientos típicos para depurar las aguas residuales, tanto a nivel físico, químico como biológico, se muestran en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4.

Principales Tratamientos Aplicados a la Depuración de Aguas Residuales

Físico	Químico	Biológico
Cribado	Coagulación-floculación	Filtros biológicos
Sedimentación	Precipitación	Lodos activados
Flotación	Oxidación	Biodiscos
Micro/ultrafiltración	Electrólisis	Biopelículas
Evaporación	Intercambio iónico	Degradación anaeróbica
Adsorción	Osmosis inversa	Biorreactores
Desorción	Oxidación con agua supercrítica	Lagunas
Extracción	Oxidación húmeda	
Centrifugación	Incineración	
Nanofiltración	Foto oxidación	
	Ozonización	

Nota: Adaptado de Bendicho & Lavilla (2017)

Bendicho & Lavilla (2017), proponen una clasificación común de los tratamientos de aguas residuales según la fase originalmente presente en las aguas residuales, los divide en las siguientes categorías: pretratamiento y/o tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario.

El mismo autor explica que durante el pretratamiento y/o tratamiento primario se eliminan las partículas sólidas, interviniendo mayoritariamente los procedimientos físicos. El término pretratamiento se utiliza para sólidos mayores de 6 mm de diámetro.

El tratamiento primario de las aguas residuales consiste en la eliminación de la materia insoluble, como la arena, la grasa y la escoria del agua. El tratamiento secundario de aguas residuales está diseñado para eliminar la DBO, pero también implica la eliminación de nitrógeno mediante la desnitrificación, generalmente aprovechando el mismo tipo de procesos biológicos que de otro modo consumirían oxígeno en el agua que recibe las aguas residuales.

El tratamiento terciario de desechos es un término que se utiliza para describir una variedad de procesos realizados en el efluente del tratamiento secundario de desechos. Los contaminantes eliminados por el tratamiento terciario se clasifican en las categorías generales: (1) sólidos en suspensión, (2) compuestos orgánicos disueltos y (3) materiales inorgánicos disueltos, incluida la clase importante de nutrientes de algas. Además de estos contaminantes químicos, los efluentes de aguas residuales secundarias a menudo contienen una serie de microorganismos causantes de enfermedades, que requieren desinfección en los casos en que los seres humanos puedan entrar en contacto con el agua más adelante.

Recientemente, se ha acuñado el término “tratamiento cuaternario” para referirse a diferentes procesos avanzados para eliminar microcontaminantes persistentes y obtener agua de muy alta calidad. Estos tratamientos no se están aplicando regularmente (Bendicho & Lavilla, 2017).

La Figura 2.4 muestra un diagrama de bloques de una planta de tratamiento de aguas residuales típica.

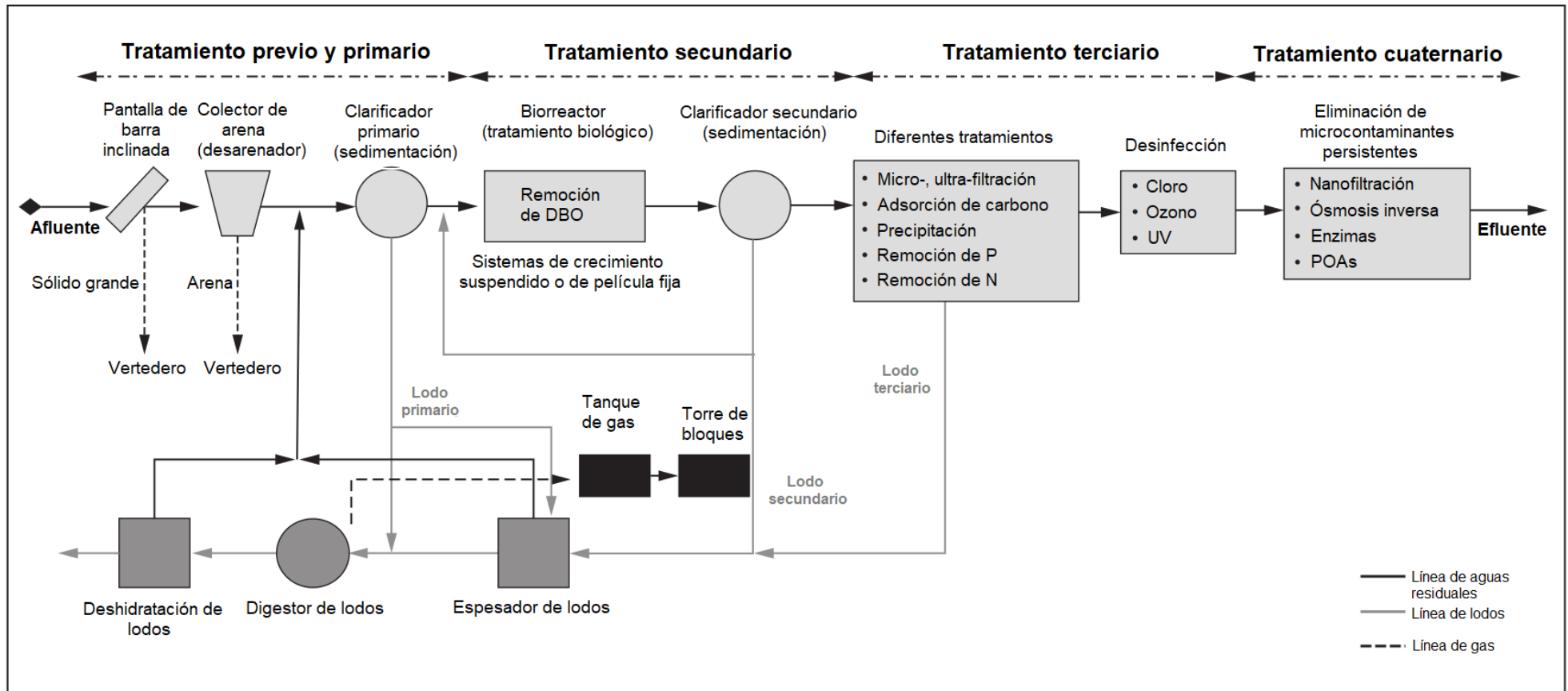
2.2.5 Tecnologías de tratamiento biológico de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales se puede categorizar en cuatro técnicas fundamentales; físicos, mecánicos, biológicos (Vuppala, Bavasso, Stoller, Di Palma, & Vilardi, 2019) y químicos (Vilardi, 2020).

En el tratamiento biológico, los microorganismos se aplican a las aguas residuales para la degradación de compuestos orgánicos y la formación de flóculos biológicos que se pueden separar fácilmente (Bendicho & Lavilla, 2017). Existen varias tecnologías y técnicas de tratamiento biológico, como la biorremediación, fitorremediación y la biofiltración.

Figura 2.4.

Diagrama de Bloques de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales típica



Nota. DBO, demanda bioquímica de oxígeno; AOPs, procesos de oxidación avanzada. Adaptado de Bendicho & Lavilla (2017)

a) Biorremediación

Las tecnologías de biorremediación aplican el potencial catabólico de los microorganismos para reducir, transformar o mineralizar los contaminantes presentes en las matrices contaminadas (p. ej., agua, suelos, sedimentos y aire) (Macaya et al., 2019).

Las tecnologías de biorremediación se pueden dividir ampliamente en categorías *in situ* y *ex situ*. La naturaleza de los microorganismos involucrados en estas tecnologías podría ser aeróbica, anaeróbica o ambas, según la naturaleza del contaminante y los microorganismos.

Las tecnologías de tratamiento *ex situ* involucran la remoción física del material contaminado desde su lugar original a otra área para su tratamiento. Los ejemplos de tecnologías *ex situ* incluyen biorreactores, cultivo en tierra, compostaje y tratamientos en fase sólida.

Una tecnología de tratamiento *in situ* implica el tratamiento del material contaminado en el lugar. Ejemplos de tecnologías *in situ* incluyen bioestimulación, bioaumento y bioventilación. Claramente, la biorremediación tiene varias ventajas sobre las tecnologías de remediación fisicoquímicas convencionales (bombeo y tratamiento, relleno sanitario, etc.) (Megharaj, Venkateswarlu, & Naidu, 2014).

b) Fitorremediación

La fitorremediación (remediación verde o botánica) es una parte de la biorremediación, que se lleva a cabo con la ayuda de las plantas. “Fito” significa plantas y “remediación” significa restauración (Shukla & Srivastava, 2019). Consiste en tecnologías que se aplican sobre plantas e interacciones planta-microbio, para reducir la concentración, o transformar,

contaminantes orgánicos e inorgánicos tóxicos (Pilon-Smits, 2005).

A diferencia de los métodos físicos y químicos, la fitorremediación es adecuada para sitios contaminados extremadamente grandes, ya que se requieren bajos costos de instalación y mantenimiento (Pilon-Smits, 2005).

Existe un proceso bioquímico que ayuda a determinar si un tratamiento biológico se da por biorremediación o fitorremediación. Este proceso se le conoce como glucosilación o glicosilación, el cual ocurre en plantas y hongos saprofitos, pero no en bacterias, secuestrando moléculas contaminantes mediante la adición de un grupo glucosilo para formar una glucoproteína que las células vegetales pueden transportar y almacenar o transformar fácilmente. No todas las aplicaciones de la fitorremediación involucran glicoproteínas, pero la ocurrencia de glicosilación en las transformaciones de contaminantes distingue si el metabolismo de los contaminantes orgánicos o la transformación de otros contaminantes es biorremediación o fitorremediación. En la práctica, las distinciones entre fito y biorremediación solo son importantes para algunos contaminantes específicos en diferentes sitios (McCutcheon & Jørgensen, 2008).

c) Biofiltración

Se ha demostrado que la biofiltración es un componente esencial del proceso de tratamiento de las aguas residuales, el aire y el agua sin tratar de origen natural. Un biofiltro se puede definir como cualquier tipo de medio filtrante con una comunidad microbiana adherida a la superficie en forma de biopelícula que realiza al menos una función esencial del proceso de tratamiento. Sin embargo, algunos estudios se refirieron a los medios filtrantes como biofiltros sin confirmar el papel de los

microorganismos autóctonos o la biopelícula en la eliminación de contaminantes y patógenos (Maurya, Singh, & Kumar, 2020). Lewandowski & Boltz (2011) expresan que la biofiltración se introdujo en las plantas de tratamiento de aguas residuales como filtro percolador donde el medio filtrante era escoria o roca. Hoy en día, se han aplicado con éxito varios tipos de medios filtrantes, como rocas, grava, arena, el carbón activado granular o medios plásticos sintéticos, para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales. La función principal del biofiltro es eliminar la materia orgánica biodegradable, la secundaria es reducir la carga patógena. La eliminación de contaminantes en el biofiltro perjudica el crecimiento microbiano patógeno.

Los organismos presentes en la biopelícula del filtro absorben y utilizan la mayoría de los compuestos orgánicos para cumplir con sus requisitos de nutrición y energía (Lewandowski & Boltz, 2011).

En un inicio la plantación de hierbas, salvas y pequeños arbustos, etc., se realizaba en un sistema de biorretención con fines estéticos. Las raíces de las plantas obtienen nutrición de los componentes orgánicos e inorgánicos del sistema y, simultáneamente, influyen en los procesos del suelo, como el ciclo de nutrientes, la disponibilidad de nutrientes, la estructura del suelo, el contenido de humedad y la estabilidad. Además, la vegetación afecta el microbioma del suelo, el crecimiento de biopelículas, la porosidad y el tiempo de retención hidráulica al crear rutas de flujo preferenciales, lo que a su vez influye en la eliminación de patógenos. Los exudados de la rizosfera influyen en la diversidad y abundancia de la fauna del suelo o sustrato (macro, meso y microfauna) (Peng, Cao, Rippey, Afroz, & Grant, 2016).

2.2.6 Infraestructura Verde

La infraestructura verde se refiere a todo espacio verde y características ambientales, que a través de diferentes escalas espaciales, entregan bienes y servicios asociados con el sustento de los seres humanos (Adegun, Ikudayisi, Morakinyo, & Olusoga, 2021).

Esta incluye paredes verdes y techos verdes, además es la forma de arquitectura más deseada en los últimos tiempos, debido a que se puede aprovechar los beneficios sostenibles y compensar algunos beneficios ambientales perdidos a través del desarrollo urbano (Besir & Cuce, 2018).

2.2.7 Paredes Verdes

Se refieren a todos los sistemas que permiten el apoyo de cualquier tipo de vegetación en una pared o superficie no horizontal de un edificio con especies vegetales seleccionadas (Meral et al., 2018). En comparación con los techos verdes, las paredes verdes son más ventajosas para el ambiente, ya que ofrecen más área para la cubierta vegetal, especialmente en edificios altos de estilo moderno (Ragheb, El-Shimy, & Ragheb, 2016).

La clasificación de las paredes verdes está representada por varios términos en la literatura, como pared viva (Loh, 2008), jardines verticales (Timur & Karaca, 2013), sistema de vegetación vertical (Radić et al., 2019), etc. Sin embargo; se caracterizan principalmente según el método de construcción y características tales como tipos de medios de cultivo y ubicación del sistema de raíces de la planta. Según sus métodos de construcción, los muros verdes se clasifican en fachadas verdes y paredes vivas (Besir & Cuce, 2018). Estas dos clasificaciones principales se dividen a su vez en subclases según módulos de diseño específicos (Addo-Bankas et al., 2021).

a) Fachadas Verdes

Las fachadas verdes son muros verdes que implican la aplicación de plantas trepadoras o colgantes directamente contra la pared o con la ayuda de un sistema de soporte indirecto a lo largo de la pared. En las fachadas verdes, las plantas pueden crecer para cubrir las paredes de forma natural, ya sea creciendo hacia abajo o hacia arriba de la superficie vertical (Timur & Karaca, 2013). Este tipo de pared verde requiere una selección específica de plantas. Las plantas que pueden permanecer verdes todo el año suelen ser más adecuadas para no afectar el rendimiento y la estética de la pared verde durante las temporadas de invierno (Perini, Ottelé, Haas, & Raiteri, 2011).

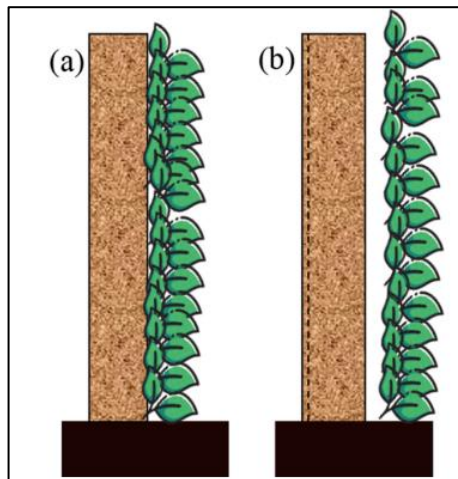
Las fachadas verdes directas son un tipo de fachadas verdes que consisten en plantas trepadoras que crecen para cubrir directamente la superficie de la pared vertical sin una estructura de soporte de hormigas, estas generalmente consisten en trepadoras autoadherentes (Ottelé, Perini, Fraaij, Haas, & Raiteri, 2011).

Las fachadas verdes se clasifican además en tipos directos e indirectos, como se muestra en la Figura 2.5.

Las fachadas verdes indirectas, por otro lado, consisten en plantas que están enraizadas directamente en el suelo o en jardineras. La distinción clave es que las plantas crecen y se desarrollan a lo largo de la estructura de soporte. Estos sistemas se pueden combinar con maceteros que soportan las raíces de las plantas (Perini et al., 2011). La estructura de soporte puede ser un sistema de soporte continuo compuesto por una sola estructura o un sistema de soporte modular que comprende jardineras y varias alturas de fachada (Manoso & Castro-Gomes, 2015).

Figura 2.5.

Diagramas esquemáticos de fachadas verdes



Nota. (a) fachada verde directa; (b) fachada verde indirecta.
Adaptado de Addo-Bankas et al. (2021)

Las fachadas verdes son los tipos más baratos de paredes verdes. Sin embargo, un inconveniente importante es que las plantas tardan mucho en cubrir la pared por completo, a menudo más de una década (Radić et al., 2019).

b) Muro verde (Paredes Vivas)

Se caracterizan por la vegetación que crece en un sistema estructural separado que puede ser independiente o adherido al muro (Loh, 2008). La principal distinción entre las fachadas verdes y los muros verdes es que los muros verdes son paredes verdes autosuficientes que se adhieren al exterior o al interior de un edificio, mientras que las fachadas verdes tienen la raíz de las plantas en un soporte estructural que se sujeta a la pared misma directamente o con la ayuda de un sistema de apoyo (Ascione, De Masi, Mastellone, Ruggiero, & Vanoli, 2020).

En los muros verdes, los nutrientes de las plantas y el suministro de agua no provienen del suelo sino del sistema de soporte vertical del muro verde (Manso & Castro-Gomes, 2015). Este tipo de paredes verdes requiere riego frecuente y suministro de nutrientes. Los sistemas de muros verdes que funcionan bien

tienden a tener un crecimiento uniforme y una apariencia verde de la vegetación (Ottelé et al., 2011).

Los muros verdes se pueden clasificar además en tipos modulares y continuos de paredes vivas según su método de aplicación.

Los muros verdes continuos aplican pantallas permeables como espuma o capas de fieltro, que funcionan como sustrato en el que las plantas se insertan individualmente.

No tienen sustrato de suelo y han demostrado ser propensos a la obstrucción, lo que reduce su preferencia en algunos diseños de tratamiento de aguas residuales (Prodanovic et al., 2018). Sin embargo, en muros verdes modulares, los contenedores que transportan material de sustrato como tierra o gránulos minerales se insertan en una estructura de soporte uno encima del otro, o se fijan directamente en la superficie vertical.

Los muros verdes modulares se componen de varios tipos de contenedores de plantas y sustratos en forma de bandejas, recipientes, macetas o bolsas flexibles, macetas de bolsillo y paneles. Todo lo cual requiere estructuras de soporte específicas (Manso & Castro-Gomes, 2015).

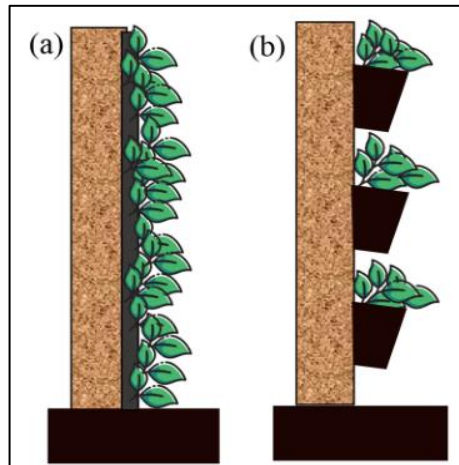
En resumen, los muros verdes continuos se basan en una sola estructura de soporte, mientras que los muros verdes modulares se componen de varios elementos modulares, que juntos forman el sistema general de muros verdes.

En términos de costo, instalación de muros verdes, mantenimiento y costos totales del ciclo de vida son comparativamente más altos que los de las fachadas verdes (Addo-Bankas et al., 2021).

En la Figura 2.6 se muestra los esquemas de muros verdes continuos y muros verdes modulares empleados para la instalación de paredes verdes.

Figura 2.6.

Diagramas esquemáticos de muros verdes



Nota. (a) muros verdes continuos; (b) muro verde modular.
Adaptado de Addo-Bankas et al. (2021)

c) Beneficios

Las paredes verdes mejoran el ambiente, el paisaje urbano, el edificio en el que están unidos y también brindan beneficios a los residentes de estos edificios, ya que algunos estudios han asociado los sistemas de vegetación con una mejor salud humana (Ragheb et al., 2016).

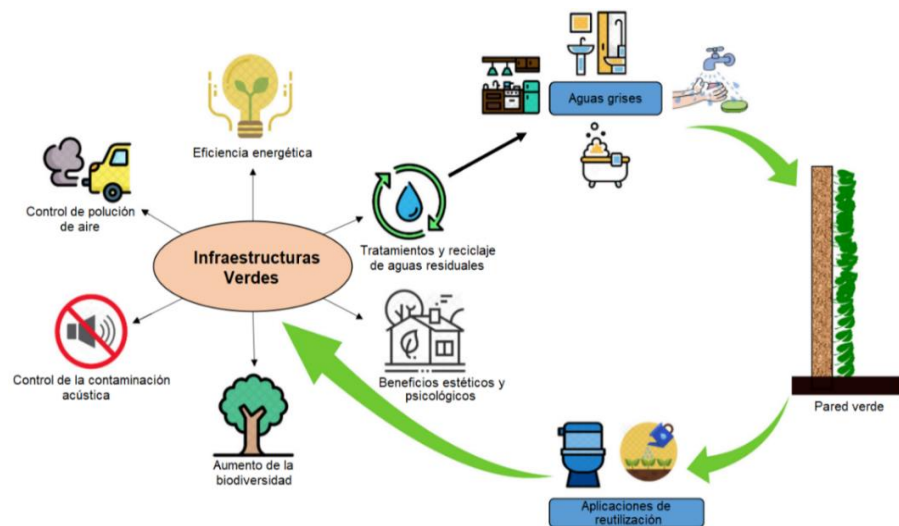
El uso de paredes verdes en asentamientos urbanos puede reducir las emisiones de carbono, tienen potencial de ahorro de energía, además contribuyen a mitigar la contaminación acústica y atmosférica.

En concreto, estos sistemas contribuyen al ahorro energético de los edificios a través de varios mecanismos como el sombreado, la evapotranspiración, el aislamiento térmico y efecto de bloqueo del viento (Meral et al., 2018).

La conservación del agua es una característica beneficiosa de las paredes verdes. Además, aumentan la comodidad de los ocupantes al tiempo que reducen los costos operativos y los contaminantes a largo plazo. Estos sistemas poseen un alto potencial para ser un instrumento clave para la conservación del agua en los asentamientos urbanos (Gattringer et al., 2016).

Figura 2.7.

Múltiples Funciones del Sistema de Paredes Verdes en el Desarrollo Urbano



Nota. Adaptado de Addo-Bankas et al. (2021)

d) Componentes

Las paredes verdes se componen principalmente de vegetación, sustratos para apoyar el crecimiento de las plantas, estructuras de soporte y sistemas de riego y drenaje (Addo-Bankas et al., 2021).

- Sustratos

Los sustratos son los principales contribuyentes en la eliminación del exceso de nutrientes como el nitrógeno, el fósforo y los metales a través de acciones físicas, químicas y biológicas como la filtración, la adsorción, la precipitación y la formación de biopelículas (Addo-Bankas et al., 2021).

En los muros verdes, el peso del sustrato juega un papel importante en el método de construcción, ya que es un factor clave que afecta la capacidad de carga estática y estructural de un muro (Prodanovic et al., 2018). Como tal, la mayoría de los diseños de muros verdes adoptan sustratos livianos, entre los que son comunes la perlita, el agregado ligero de arcilla expandida (LECA), la fibra de coco y la lana de roca, entre otros (Prodanovic et al., 2017). Las propiedades físicas, como la porosidad, el área superficial, la capacidad de absorción y la capacidad de retención de agua de estos sustratos, son factores importantes a considerar para el tratamiento de aguas residuales objetivo. El rendimiento hidráulico del sustrato es significativo en sus procesos aeróbicos y anaeróbicos que contribuyen a la eliminación de contaminantes clave de las aguas residuales (Prodanovic et al., 2017).

Las investigaciones realizadas por Tavera Oliveros (2019), Convers Contreras (2019), Prodanovic et al. (2018) y Boano et al. (2021), requirieron el uso de un sustrato en común, el cual contribuyó en el tratamiento de AG mediante el SPV aplicado en la investigación de cada autor mencionado, el cual estuvo compuesto por perlita y fibra de coco. Las características principales la perlita y fibra de coco, son las siguientes:

✓ Perlita

Es un silicato (de aluminio) de origen volcánico, del cual se obtiene un material muy ligero y con una porosidad alta de aproximadamente 0.143 g/cm³ de densidad. Asimismo, las principales características físicas y químicas de la perlita son la porosidad promedio de 85.9%, este sustrato es un material inerte, el cual no se

descompone ni biológica ni químicamente, su pH es neutro o ligeramente alcalino, posee baja salinidad y muy baja capacidad de intercambio catiónico (1,5-2,5 m.e./100 g) (Carlos Baixauli Soria & José M. Aguilar Olivert, 2000).

Cabe precisar que, la perlita posee una superficie rugosa y una estructura celular cerrada, es así que, permite retener el agua solo en la superficie y en los poros interparticulares. Estas características de la perlita generan que, la capacidad de retención de agua sea baja y posea un nivel de aireación alta (Román Antonio Hernández Hipólito, 2012).

✓ Fibra de coco

La fibra de coco es un material vegetal procedente de los desechos del coco, específicamente de la fibra corta y el polvo de tejido medular. Existe una gran variabilidad de las características física y químicas del sustrato (fibra de coco) de acuerdo al origen de producción; sin embargo, las características físicas y químicas la fibra de coco común son la porosidad promedio muy elevada de 96.1%, se presenta como un material muy ligero, densidad aproximada de 0.059 g/cm³, su pH es ligeramente ácido, posee alto nivel de salinidad y alta capacidad de intercambio catiónico (61 m.e./100 g) (Carlos Baixauli Soria & José M. Aguilar Olivert, 2000).

Adicionalmente, una característica destacable de la fibra de coco es la hidrofilia, ya que este sustrato tiene la capacidad de absorber el agua con mucha facilidad sin sufrir contracciones y/o expansiones que afecten su capacidad de aireación al variar su contenido de agua; ya que, a comparación de otros sustratos como la turba, este es muy difícil su rehidratación cuando se encuentra seca,

por consiguiente, se contrae y/o expande afectando su capacidad de aireación (Pedro Florian Martinez & Dolors Roca, 2011).

- Vegetación

Otro componente principal de una pared verde es la especie vegetal. Las plantas son el foco estético de la pared verde y ofrecen servicios ecosistémicos que brindan la mayoría de los beneficios ambientales derivados del Sistema de Paredes Verdes (Ascione et al., 2020).

Las plantas que se utilizan en las paredes verdes son plantas trepadoras en fachadas verdes o plantas en macetas que no trepan, que normalmente se aplican en diseños modulares de muros verdes (Addo-Bankas et al., 2021).

Varios factores que afectan el crecimiento de las plantas en las paredes verdes en general son las condiciones climáticas óptimas, como la exposición al sol, la sombra y el viento y las precipitaciones, las especies de plantas, el agua adecuada y los nutrientes para el crecimiento de las plantas. Según Jørgensen et al. (2018), la selección de plantas, la disposición y el espaciamiento en una pared verde de múltiples especies deben considerarse adecuadamente para evitar la competencia y mejorar el crecimiento saludable de las plantas.

Las funciones de las plantas en la eliminación de contaminantes se han estudiado ampliamente en los humedales. Estos estudios han puesto de relieve los diversos procesos a través de los cuales las plantas influyen en la eliminación de contaminantes. Las plantas podrían eliminar directamente los contaminantes a través de la adsorción y la bioadsorción. La presencia de plantas podría crear condiciones favorables como el aumento de la

actividad microbiana en las zonas de raíces por la oxigenación de la rizosfera para ayudar a la eliminación de contaminantes. Además, el mayor tiempo de exposición de los contaminantes al sustrato vegetado podría facilitar los procesos de remoción (Read et al., 2009).

e) Diseño y operación de Paredes Verdes

En general, las especificaciones de diseño del Sistema de Paredes Verdes se especifican a lo largo de sus clasificaciones. Los muros verdes continuos consisten principalmente en un marco que sujeta el panel base y protege la pared del contacto directo con el agua.

En este sistema, el sustrato para el crecimiento de las plantas es una capa de tela que es una pantalla flexible y permeable, que también sirve como drenaje para el flujo de agua. El sistema hidropónico a menudo se emplea en muros verdes continuos, estos sistemas suministran agua y nutrientes continuamente al sustrato afieltrado para apoyar el crecimiento de las raíces de las plantas sobre y entre las dos capas a través del riego mecánico.

En algunos diseños, los sistemas adoptan una operación hidropónica con un diseño modular, un ejemplo es la tipología basada en células, que normalmente reemplaza el suelo con un material inorgánico como la lana de roca (Medl, Stangl, & Florineth, 2017).

Los sistemas modulares están diseñados y ensamblados utilizando diversos materiales, como plástico, alambres de metal y tela en forma de bandejas, recipientes, macetas, jaulas de alambre o bolsas flexibles (Loh, 2008).

Al diseñar paredes verdes para replicar las funciones de los sistemas de biofiltración, existe la necesidad de considerar las

limitaciones de peso de las paredes verdes, debido a su estructura vertical (Zhao, Ji, Liu, Ren, & Wei, 2020).

El diseño estructural de las paredes verdes debe considerar las implicaciones de una mayor carga asociada con la retención de agua en las zonas saturadas de la estructura (Addo-Bankas et al., 2021).

2.2.8 Sistema de Paredes Verdes

Este Sistema está compuesto por macetas, que se encuentran fijadas verticalmente a un marco estructural o pared, el cual posee un sustrato para el cultivo de plantas ornamentales (Prodanovic et al., 2018), donde la actividad de estas plantas y el sustrato, reducen la concentración de contaminantes presentes en las aguas grises (Convers Contreras, 2019). De esta manera, el Sistema de Paredes Verdes reduce la carga contaminante de las aguas grises, lo cual permite su reúso de forma segura.

2.2.9 Especies de plantas ornamentales en un Sistema de Paredes Verdes

Las especies de plantas ornamentales utilizadas en un Sistema de Paredes Verdes en el tratamiento de aguas grises, se detallan en la Tabla 2.5.

A continuación, se describen las especies de plantas ornamentales utilizadas en la presente investigación:

a) *Aptenia cordifolia*

Pertenece a la familia Aizoaceae, es una hierba perenneoriginaria de Sudáfrica y ahora se ha extendido en gran medida por toda Europa. Algunos botánicos consideran que la planta más comúnmente cultivada, generalmente cultivada bajo el nombre de 'Red Apple', es en realidad un híbrido entre *Aptenia cordifolia* y *Platythyra Aptenia haeckeliana*, estrechamente

relacionada (DellaGreca, Di Marino, Previtera, Purcaro, & Zarrelli, 2005).

También llamada “Baby sun rose”, es una hierba perenne, que se extiende sobre el suelo y la vegetación vecina; posee hojas suculentas pequeñas, en forma de corazón, de color verde oscuro; que se encuentran intercaladas con muchos pétalos pequeños, axilares, con colores entre rosa brillante a flores moradas (Cela, Arrom, & Munné-Bosch, 2009).

Según Seyedabadi, Eicker, & Karimi (2021), esta planta necesita plena luz solar con sombra ligera y riego regular, además es tolerante al frío.

b) *Nephrolepis obliterata*

También llamada “helecho reina”, esta planta ha sido utilizada para el tratamiento de aguas grises mediante paredes verdes (Prodanovic, Hatt, McCarthy, & Deletic, 2020; Prodanovic, Wang, & Deletic, 2019), demostrando alta capacidad de retención de agua, tolerancia a un ambiente saturado de agua y con alto contenido de nutrientes (Addo-Bankas et al., 2021). También demostró ser resistente y remover formaldehído del aire (Teiri, Pourzamzni, & Hajizadeh, 2018).

El género *Nephrolepis* es relativamente pequeño que comprende 19 especies, tres variedades y siete híbridos putativos o confirmados, según una revisión reciente de Hovenkamp & Miyamoto (2005). El género se caracteriza por frondas simplemente pinnadas con pinnas articuladas y un complejo sistema de rizomas con tallos erectos que portan frondas y estolones rastreros que portan raíces y, a veces, forman tubérculos (HENNEQUIN, HOVENKAMP, CHRISTENHUSZ, & SCHNEIDER, 2010).

Tabla 2.5.

Especies de plantas ornamentales y sus estudios relacionados en el tratamiento de AG a través de un Sistema de Paredes Verdes

Autor	Tipo de estudio	Especie vegetal	Tamaño	Sustrato	Caudal (L/día)
Frazer-Williams, et al. (2008)	Piloto	<i>Iris pseudocorus, Saururus cernua, Glyceria variegates, Juncus effusus, Iris versicolor, caléndula, cardenal Lobelia, menta acuática</i>	6,86m ²	38% arcilla expandida ligera y 62% gravilla	480 (flujo continuo)
Svete (2012)	Piloto	Lechuga, caléndulas	2,34 m ² verticalmente	Agregados livianos de arcilla expandida	360
Gattringer, et al. (2016)	Piloto	Diferentes especies de plantas de marisma (p. ej., <i>Typha, Iris</i>), gramínoideas (<i>Carex, Cyperus</i>), plantas tropicales y subtropicales (p. ej., <i>Ficus, Spathiphyllum, EPIPrenum</i>)	2 m ³ volumen de sustrato, 5 m de largo, 1,50 m de ancho y 2,50 m de alto	Arcilla expandida	500–1500 L/día (lote semicontinuo)
Masi, et al. (2016)	Piloto	<i>Abelia, Wedelia, Portulaca, Alternanthera, Duranta, Hemigraphis</i>	0,72 m ²	50% arcilla expandida ligera mezclada con 50% fibra de coco o arena	240 (una descarga por hora de 10 L)
Fowdar, et al. (2017)	Laboratorio	<i>Strelitzia nicolai, Phormium spp. Lirios Canna, Strelitzia reginae, Lonicera japonica, Carex appressa, Phragmites australis, Vitis vinifera, Parthenocissus tricuspidata, Pandorea jasminoides, Billardiera scandens</i>	70 columnas, 0,05 m ² cada columna	68% arena mezclada con 5% mantillo de cedro, 16% arena gruesa, 16% grava	2.50–5
Ramprasad, et al. (2017)	Piloto	<i>Canna indica, Canna flaccida, Canna lilyhybrid, Cardamine pratensis, Plecranthus amboinicus, Crossandrain fundibuliformis, Phragmites australis, Solanum trilobatum</i>	1,84 m ³ , 15 cm de profundidad	Mezcla de arena, bates de ladrillo y grava (1:1:1)	62, 70, 82, 100, 120
Chowdhury and Abaya (2018)	Piloto	<i>Phalaris arundinacea L.</i>	2,64 m ² (4 módulos de 0,66 m cada uno)	Arena	6.0–7.0

Nota. Adaptado de Boano et al. (2020)

2.2.10 Tratamiento de Aguas grises en un Sistema de Paredes Verdes

Las paredes verdes para el tratamiento de AG funcionan de manera similar a los lechos de caña, en los que las AG se filtran a través de macetas llenas de una combinación de medios granulares como vermiculita, arena, piedra de crecimiento, arcilla expandida, fitoespuma, fibra de coco y perlita (Prodanovic et al., 2017). Sin embargo, su bajo requerimiento de espacio representa una ventaja relevante en comparación con los cañaverales convencionales (Masi et al., 2016). Si se busca el tratamiento de AG, la elección de las plantas debe cumplir múltiples criterios: aptitud para las condiciones climáticas locales y alta capacidad de supervivencia, apariencia estética (p. ej., especies perennes), poco espacio requerido para el crecimiento de las raíces, bajo peso y buena capacidad de eliminación de nutrientes (Castellar da Cunha et al., 2018).

El tratamiento de aguas residuales por medio de paredes verdes a menudo se ejecuta con principios y procesos de operación similares a los de los humedales artificiales. Las paredes verdes eliminan los contaminantes en las aguas residuales a través de procesos físicos (a través de colado y sedimentación; filtración), químicos (a través de reacción, adsorción), así como biológicos (a través de la asimilación microbiana en la planta y biopelícula en el sustrato), y otros procesos microbianos a medida que el agua se filtra verticalmente hacia abajo a través del sustrato (Boano et al., 2020). Los sustratos filtran los sólidos en suspensión y ofrecen una superficie ideal sobre la que se pueden adherir las bacterias.

También sirven como base para sostener la vegetación (Yang et al., 2018). La vegetación proporciona un hábitat para los microorganismos que absorben los nutrientes y degradan los contaminantes orgánicos de las aguas residuales y también facilitan la transferencia de oxígeno a la zona de la raíz para que las bacterias

aeróbicas colonicen y degraden los contaminantes orgánicos (Pradhan et al., 2019).

Para aumentar la vida útil del sistema de tratamiento, la instalación de un pretratamiento temporal de aguas grises en los tanques de sedimentación reducirá significativamente la tasa de obstrucción del sistema.

Los parámetros de diseño, como el tipo de diseño, la altura de la pared, la altura del medio y la capacidad de tratamiento, se han estudiado para influir en el rendimiento general del Sistema de Paredes Verdes en la eliminación de contaminantes (Prodanovic et al., 2020).

Para cumplir con los estándares de efluentes, podría ser necesario un sistema de desinfección posterior al tratamiento en los casos en que los efluentes de aguas residuales tratadas únicamente con muros verdes no cumplan con los estándares locales. El efluente tratado que cumple con los estándares de calidad del agua podría recolectarse en la parte inferior de la pared verde y reutilizarse para la descarga de inodoros y el riego, transformando las paredes verdes en recicladores de agua (Fowdar et al., 2017).

2.3 Conceptual

Para la presente investigación se considerará las siguientes bases conceptuales:

2.3.1 Aguas grises

Según Ding et al. (2017) las aguas grises son todas las aguas domésticas cuyo origen son duchas, lavatorios, lavadoras, baños y de cocina. Además para Boyjoo et al. (2013) y Franco Alvarado (2007) consideran que las AG son las aguas residuales domésticas sin presencia o contacto con heces.

Para la presente investigación las AG serán: “todas las ARD en cuyo origen se excluye a las generadas en urinarios e inodoros (Franco Alvarado, 2007)”.

2.3.2 Especies de plantas ornamentales en un Sistema de Paredes Verdes

Las especies de plantas ornamentales son plantas que pueden enriquecer la infraestructura de un sistema de tratamiento de AR, generando valor estético y potencialmente económico, con su comercialización (Morales, López, Vera, & Vidal, 2013).

El Sistema de Paredes Verdes está compuesto por macetas fijadas verticalmente, el cual posee un sustrato para el cultivo de plantas ornamentales (Prodanovic et al., 2018), donde la actividad de estas plantas ornamentales y el sustrato, reducen la carga contaminante de las aguas grises y permiten su reúso de forma segura (Convers Contreras, 2019).

Para la presente investigación, las especies de plantas ornamentales (*Aptenia cordifolia* y *Nephrolepis oblitterata*) en un Sistema de Paredes Verdes son las “especies que se plantan y venden con un fin estético, debido a sus características decorativas (tallos, hojas, flores, perfume, follaje, frutos) presentes en diseños paisajísticos (Merejildo Gutiérrez, 2019), utilizadas en el Sistema de Paredes Verdes (SPV), donde a través de operaciones unitarias físicas y bioquímicas, reducen o eliminan contaminantes de las aguas grises; a fin de alcanzar efluentes con calidad para su reúso (Maldonado, 2014); y cuyo sistema contempla 4 etapas: prefiltración, sedimentación, biofiltración (pared verde) y desinfección mediante cloración.

2.3.3 Sustrato utilizado en un Sistema de Paredes Verdes

Es un material sólido cuyas funciones corresponden ser el medio de soporte de las plantas, permitir la aireación debido a la porosidad del

sustrato, retener los nutrientes y el agua requeridos para el adecuado desarrollo de las plantas; asimismo, la naturaleza del sustrato puede ser de origen natural, obtenido mediante síntesis o de material residual (Hernández Hipólito, 2012).

2.4 Definición de términos básicos

En este apartado se hace mención a los términos básicos que ayudarán a comprender el desarrollo de la presente investigación:

2.4.1 Aguas grises

Es la cantidad de aguas residuales domésticas que excluye la cisterna del inodoro y generalmente se divide en dos tipos: AG ligera, cuyas fuentes son baños, duchas, bañeras, lavatorios y, a veces, lavandería; AG oscura, que incluye instalaciones de lavandería, lavavajillas y, en algunos estudios, también fregaderos de cocina (Leonard, Gilpin, Robson, & Wall, 2016).

2.4.2 *Aptenia cordifolia*

Planta que pertenece a la familia Aizoaceae, es originaria de Sudáfrica y extendida por Europa, posee flavonoides en sus hojas (DellaGreca, Previtiera, Purcaro, & Zarrelli, 2006).

2.4.3 Fibra de coco

Sustrato orgánico con textura y consistencia homogénea que aporta a la planta una adecuada capacidad de aireación y retención de agua, así como una alta porosidad y gran cantidad de nutrientes (Rincón et al., 2016).

2.4.4 *Nephrolepis obliterata*

Es un helecho de Australia, llamado coloquialmente “helecho reina”. Esta planta ha sido utilizada para el tratamiento de aguas grises mediante paredes verdes (Prodanovic et al., 2020; Prodanovic, Wang, et al., 2019).

2.4.5 Perlita

Sustrato mineral transformado que ayuda en la retención de agua de las plantas, aportando buena porosidad, baja densidad aparente y buena aireación en la parte de las raíces (Altamira, 2014).

2.4.6 Sistema de Paredes Verdes

Sistema conformado por un muro verde o pared viva (Loh, 2008), el cual por medio de la actividad de las plantas ornamentales y el sustrato, reducen la concentración de contaminantes presentes en las aguas grises (Convers Contreras, 2019). De esta manera, el Sistema al reducir la carga contaminante de las aguas grises, permite su reúso de forma segura.

2.4.7 Tratamiento de aguas grises

Sistema de operaciones unitarias físicas y bioquímicas, que reducen o eliminan contaminantes de las aguas grises, a fin de alcanzar efluentes con calidad para su reúso u otro uso (Maldonado, 2014).

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis General

Las especies *Aptenia cordifolia* y *Nephrolepis obliterata*, en un Sistema de Paredes Verdes, son efectivas para el tratamiento de aguas grises.

3.1.2 Hipótesis Específica

La especie *Aptenia cordifolia*, en un Sistema de Paredes Verdes, es más efectiva en el tratamiento de aguas grises, que la especie *Nephrolepis obliterata*.

3.2 Definición conceptual de variables

3.2.1 Variable Independiente: Especies de plantas ornamentales (*Aptenia cordifolia* y *Nephrolepis obliterata*) en un Sistema de Paredes Verdes

Especies que se plantan y venden con un fin estético, debido a sus características decorativas (tallos, hojas, flores, perfume, follaje, frutos) presentes en diseños paisajísticos (Merejildo Gutiérrez, 2019), utilizadas en el Sistema de Paredes Verdes, donde a través de operaciones unitarias físicas y bioquímicas, reducen o eliminan contaminantes de las aguas grises; a fin de alcanzar efluentes con calidad para su reúso (Maldonado, 2014); y cuyo sistema contempla 4 etapas: prefiltración, sedimentación, biofiltración (pared verde) y desinfección mediante cloración.

3.2.2 Variable Dependiente: Aguas grises

Todas las aguas residuales domésticas en cuyo origen se excluye a las generadas en urinarios e inodoros (Franco Alvarado, 2007)".

3.3 Operacionalización de variables

En la Tabla 3.1, se presenta la operacionalización de las variables elaborada a fin de demostrar la hipótesis formulada, mediante el desarrollo de cada una de ellas; a través de sus dimensiones, indicadores, índices, métodos y técnicas, involucrados en el tratamiento de aguas de grises mediante el SPV.

Tabla 3.1.
Operacionalización de variables

Variable	Dimensiones	Indicadores	Índices	Método	Técnica
Independiente:					
Especies de plantas ornamentales <i>Aptenia cordifolia</i> y <i>Nephrolepis oblitterata</i> en un Sistema de Paredes Verdes	Diversidad de especies de plantas ornamentales	Número de plantas ornamentales	Unidad	Conteo	Observacional
		Concentración de pH	Unidad de concentración	Método colorimétrico Determinación por escala de colores estándar, a través de la aplicación de solución rojo de fenol. ⁽¹⁾	
Dependiente: Aguas grises	Calidad de las aguas grises tratadas	Concentración de DBO	mg/L	Prueba de DBO de 5 días SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017 ⁽²⁾	Estadística
		Concentración de Turbiedad	Unidades Nefelométricas de Turbiedad - UNT	Método Nefelométrico SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 23rd Ed. 2017 ⁽²⁾	
		Concentración de CF	NMP/100mL	Técnica de fermentación de tubos múltiples SMEWW 9221 F.2, 23rd Ed. 2017 ⁽²⁾	

Nota. ⁽¹⁾ Se aplicó el método de medición por colorimetría utilizando un set analizador de pH casero, debido a que la presente investigación se ejecutó a nivel domiciliario, justificándose así el empleo de este método. ⁽²⁾ Métodos de ensayo acreditados por la Dirección de Acreditación del INACAL.

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1 Tipo y diseño de la investigación

4.1.1 Tipo de investigación

Para definir el tipo de investigación se consultó el libro “**Metodología de la investigación**” (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014), concluyendo que la presente es de tipo **explicativa** dado que se da a conocer si la variable independiente “Especies de plantas ornamentales (*Aptenia cordifolia* y *Nephrolepis obliterata*)” en un Sistema de Paredes Verdes, influye en la variable dependiente “Aguas grises” luego de su tratamiento, a través de la experimentación a escala piloto, manipulando algunas variables y controlando otras, a fin de analizar el comportamiento de las mismas.

4.1.2 Diseño de la investigación

La investigación se desarrolló empleando un **diseño experimental**, dado que a través de la manipulación de la variable independiente “Especies de plantas ornamentales *Aptenia cordifolia* y *Nephrolepis obliterata* en un Sistema de Paredes Verdes”, se dio a conocer el efecto en la variable dependiente “Aguas grises”, luego de su tratamiento.

El desarrollo experimental del presente estudio, demandó diferentes etapas, las cuales se detallan a continuación:

a) Diseño del Sistema de Paredes Verdes

Se tomó como referencia el diseño realizado por Prodanovic, et al. (2019), el cual detalla las características técnicas del Sistema de Paredes Verdes, tales como: las dimensiones del sistema, las especies de plantas empleadas, los componentes funcionales (denominados “configuraciones de diseño”), flujo de aguas grises a tratar, composición del sustrato, distribución de las

configuraciones, periodo experimental, periodo de adaptación de las especies, velocidad de carga hidráulica, frecuencia de dosificación de aguas grises, dosis diaria de aguas grises, monitoreo, parámetros de análisis y análisis de datos.

Cabe mencionar que, dicho diseño fue adaptado a los requerimientos de la presente investigación, a fin de garantizar su viabilidad y ejecución, manteniendo aquellas características fundamentales que aseguren el rigor científico de la misma.

En la Tabla 4.1, se muestra las características del diseño del Sistema de Paredes Verdes (SPV) empleado para el tratamiento de las aguas grises.

En la Tabla 4.2, se muestra las características propias del procedimiento experimental ejecutado; y en la Tabla 4.3, se muestra la programación de monitoreo durante la etapa de tratamiento, de las aguas grises y las aguas tratadas, para su correspondiente caracterización.

b) Selección de las especies

La primera especie seleccionada fue *Aptenia cordifolia*, tomando como base los criterios empleados por Prodanovic et al. (2019), en el cual eligieron las especies a estudiar considerando las más utilizadas en jardines verticales australianos, seleccionando aquellas que no habían sido estudiadas en el tratamiento de aguas grises.

En ese sentido, siguiendo el mismo criterio, se seleccionó una de las especies indicadas en la investigación realizada por García Morauský & Romero Pongo (2016), en la cual presentan un listado de las especies de plantas ornamentales más utilizadas en el Perú, para construir jardines verticales, tal como se muestra en la Tabla 4.4.

Tabla 4.1.**Características del diseño del Sistema de Paredes Verdes**

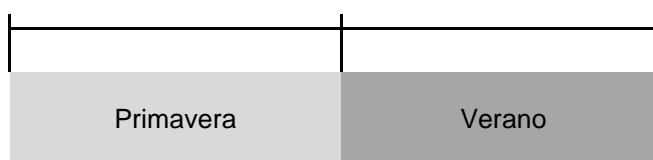
Características del diseño	
Dimensiones de las macetas circulares	Altura: 23 cm Diámetro: 25 cm
Cantidad total de especies a investigar	02 (<i>Aptenia cordifolia</i> y <i>Nephrolepis obliterata</i>)
Cantidad de especies a investigar por maceta	01 especie de planta por maceta
Número de configuraciones con especies	02 configuraciones
Características de las configuraciones con especies	Está compuesta por 3 macetas, donde cada maceta contiene a una planta de la misma especie correspondiente a la configuración a evaluar Altura del sustrato en cada maceta: 20 cm Altura total del sustrato por cada configuración: 60 cm
Número de configuraciones sin especie	01 configuración
Características de la configuración sin especie	Está compuesta por 3 macetas, donde cada maceta contiene únicamente sustrato Altura del sustrato en cada maceta: 20 cm Altura total del sustrato por cada configuración: 60 cm
Total de configuraciones en el sistema	03 configuraciones (02 configuraciones con especies de plantas y 01 configuración sin especie)
Total de plantas en el sistema	06 plantas (03 de la especie <i>Aptenia cordifolia</i> y 03 de la especie <i>Nephrolepis obliterata</i>)
Total de macetas en el sistema	09 macetas (06 con especies de plantas y 03 sin especies)
Nº filas del sistema	01
Nº de configuraciones por fila	03
Flujo de agua gris por gotero	0.166 L/h
Cantidad de goteros por configuración	01 gotero
Cantidad de orificios por cada maceta	01 orificio
Cantidad de orificios por cada configuración	03 orificios
Flujo total de agua gris por configuración	0.166 L/h
Tiempo de almacenaje del agua gris	24 h
Volumen total de agua gris almacenada por día	12 litros
Proporción del sustrato (perlita y fibra de coco)	1:2
Porosidad del sustrato	90%
Volumen del sustrato en cada maceta	6 litros
Volumen del sustrato por configuración	18 litros
Volumen total del sustrato en el sistema	54 litros

Nota. Adaptado de Prodanovic et al. (2019)

Tabla 4.2.*Características del procedimiento experimental***Procedimiento experimental de la investigación****Duración de la etapa experimental de la investigación**

Tiempo de duración 4 meses (16 semanas)

08 de octubre 21 de diciembre 2021 29 de enero 2022

**Duración de la etapa de tratamiento**

Periodo de monitoreo	10 semanas
Periodo de pausa del monitoreo	2 semanas
Tiempo total de duración de la etapa de tratamiento (Riego con aguas grises)	12 semanas

Adaptación de las especies

Edad de las especies a emplear	8 semanas
Tiempo de adaptación de las especies (Riego con agua potable y nutrientes)	2 semanas
Tiempo de la puesta en marcha del SPV	2 semanas

Velocidad diaria de carga**hidráulica (HLR)**

Velocidad de carga hidráulica estándar por configuración	4 L/d
HLR por las 03 configuraciones	12 L/d

Frecuencia de dosificación**con agua gris**

Lunes a viernes	Riego
Sábado y domingo	Sin riego

Dosis diaria de agua gris

Flujo por 01 configuración (01 gotero)	0.166 L/h
Flujo por 03 configuraciones	0.5 L/h
Demanda de aguas grises por día (en relación al HLR)	12 L
Tiempo de riego x día	24 h

Nota. Adaptado de Prodanovic et al. (2019)

Tabla 4.3.
Programa de Monitoreo

Ítem	Monitoreo del agua gris	Monitoreo del agua tratada
Duración		
Frecuencia del monitoreo	Semanal	Semanal
Inicio del monitoreo	Semana 01 de la etapa de tratamiento	Semana 01 de la etapa de tratamiento
Periodo de pausa*	No se realizó los muestreos durante las semanas 07 y 08 de la etapa de tratamiento, debido a las festividades correspondientes a navidad y año nuevo, respectivamente.	
Fin del monitoreo	Semana 12 de la etapa de tratamiento	Semana 12 de la etapa de tratamiento
Muestras		
Cantidad de muestras por configuración	Ninguna	01 muestra por día (05 muestras a la semana)
Cantidad de muestras por todo el Sistema de Paredes Verdes	01 muestra por día (05 muestras a la semana)	03 muestras por día (15 muestras a la semana)
Cantidad de muestras a ser analizadas en laboratorio	1 muestra por semana (10 muestras durante todo el proceso experimental)	03 muestras por semana (30 muestras durante todo el proceso experimental)
Parámetros de análisis		
Parámetros según la EPA para el riego de parques, campos deportivos, zonas verdes y otros usos	pH	pH
	Coliformes Fecales	Coliformes Fecales
	DBO ₅	DBO ₅
	Turbiedad	Turbiedad
Análisis de datos		
Estadísticos	Prueba de Normalidad Shapiro-Wilk	
	Análisis de Varianza ANOVA	
	Prueba H de Kruskal-Wallis	

Nota. * El periodo de pausa del monitoreo se consideró a fin de eliminar la influencia de las festividades en la composición de las aguas grises y no variar significativamente sus características. Adaptado de Prodanovic et al. (2019)

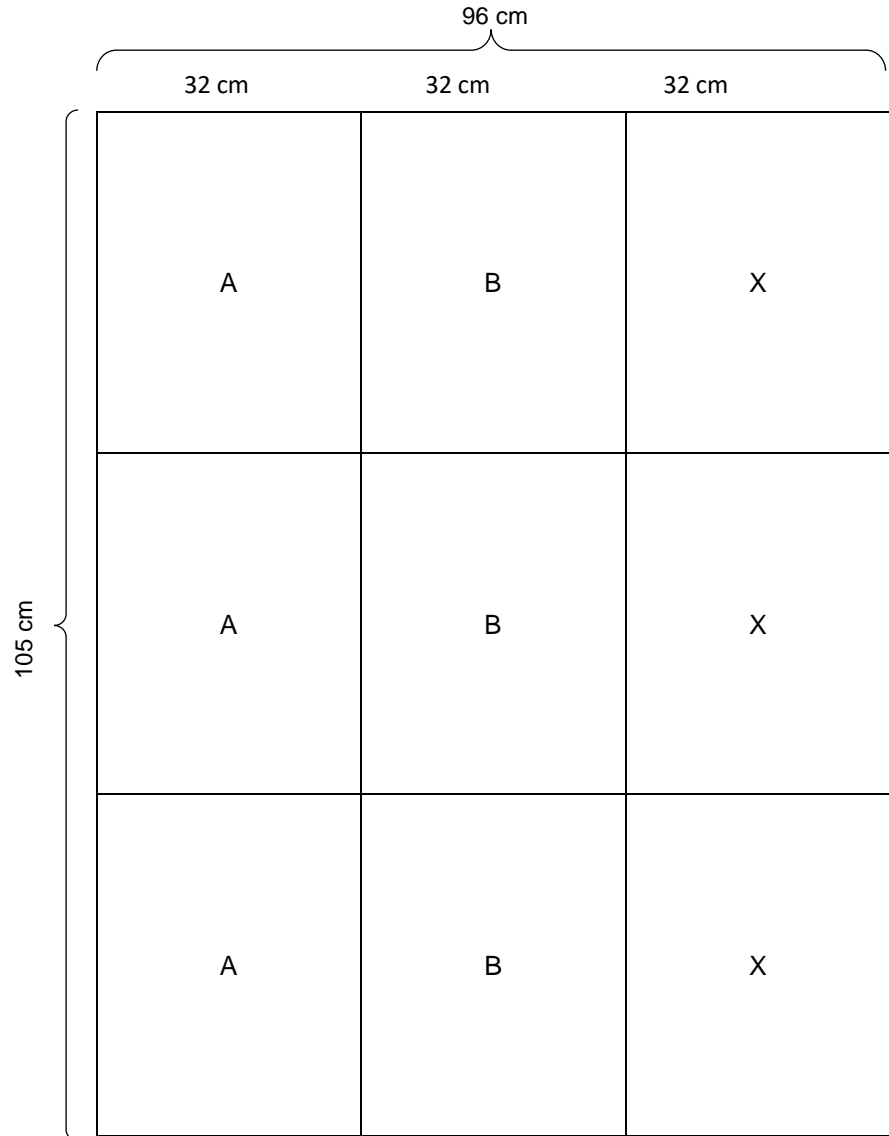
En la Figura 4.1, se puede apreciar un esquema de la distribución de las configuraciones (AGT-S, AGT-A y AGT-N) del Sistema de Paredes Verdes implementado.

Asimismo, en la Figura 4.2, se muestran los componentes del Sistema de Paredes Verdes involucrados en el tratamiento de

aguas grises, incluyéndose las fuentes de generación de aguas grises (lavadero, lavadora, ducha, fregadero de cocina y lavamanos) y el almacenamiento de las aguas tratadas en el Sistema de Paredes Verdes (SPV) por cada configuración.

Figura 4.1.

Diseño de las configuraciones del Sistema de Paredes Verdes



Leyenda

A	<i>Aptenia cordifolia</i>
B	<i>Nephrolepis obliterata</i>
X	<i>Sin especie</i>

Nota. Adaptado de Prodanovic et al. (2019)

Figura 4.2.

Componentes del Sistema de Paredes Verdes para el tratamiento de aguas grises

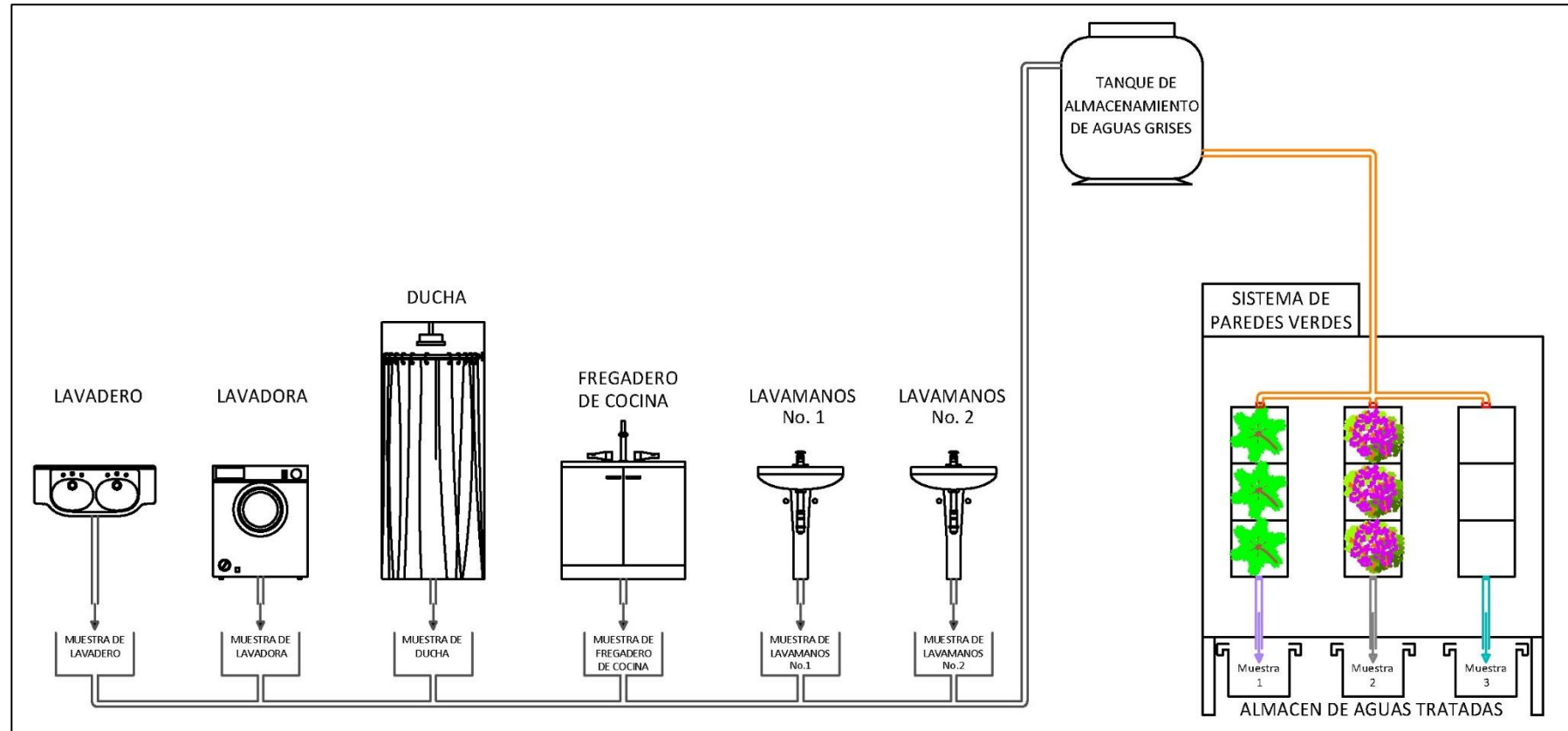


Tabla 4.4.

Plantas ornamentales más utilizadas para construir jardines verticales en el Perú

Plantas para jardines verticales exteriores	Plantas para jardines verticales interiores
Aptenia	Adiantum
Asparagus	Aglaonema
Chlorophytum	Anthurium
Cuphea	Aspidistra
Hedera	Asplenium
Liriope	Begonia
Peperomia	Cissus
Pilea	Peperomia
Plectranthus	Philodendron
Rhoeo	Platynerium
Sansevieria	Polypodium
Sedum	Spathiphyllum
Senescio	Syngonium

Nota: Adaptado de García Morauský & Romero Pongo (2016)

Por los motivos anteriormente expuestos, se seleccionó la especie *Aptenia cordifolia*, debido a que esta aún no ha sido estudiada en el tratamiento de AG, asimismo, es fácil de encontrar en el mercado local, es resistente, adaptable y no requiere de muchos cuidados, además de que se puede emplear en espacios abiertos en una vivienda.

Por otro lado, la segunda especie seleccionada fue *Nephrolepis obliterated*, debido a que esta ha sido previamente estudiada en el tratamiento de AG en paredes verdes, en el país de Australia, por Prodanovic et al. (2019), considerando que fue la especie que obtuvo el mejor rendimiento de eliminación de contaminantes, y que a su vez, está disponible comercialmente en el Perú. Ello a fin de tener una referencia comparativa al momento de analizar nuestros resultados.

A manera de resumen, se tiene que las especies empleadas en el Sistema de Paredes Verdes fueron las siguientes:

- ✓ Especie 1: *Aptenia cordifolia*
- ✓ Especie 2: *Nephrolepis obliterata*

c) Selección de parámetros para el análisis

Los parámetros para el análisis se seleccionaron teniendo en cuenta que en el Perú no se cuenta con una norma específica que evalúe la calidad de las aguas grises tratadas con fines de reutilización, por lo cual se optó por emplear la norma de la US EPA (2012) donde se establecen los parámetros de calidad para el reúso de las aguas residuales en el riego de parques, campos deportivos, zonas verdes, entre otros usos, al ser el dispositivo legal más idóneo para ser empleado en la presente investigación.

En la Tabla 4.5, se muestran los parámetros seleccionados para la determinar la calidad de las aguas grises sin tratamiento y de las aguas grises tratadas a través del Sistema de Paredes Verdes propuesto.

Tabla 4.5.

Parámetros de análisis seleccionados

Parámetro	Unidad
pH	Unidad de concentración
DBO	mg/L
Turbidez	UNT
CF	NMP/100 mL

Nota. Adaptado de US EPA (2012)

d) Construcción del Sistema de Paredes Verdes

Con el diseño del Sistema de Paredes Verdes establecido, las especies de plantas ornamentales elegidas y los parámetros de análisis seleccionados, se procedió a adquirir los materiales necesarios (ver Anexo N° 2.1 Conjunto de figuras de la etapa de adquisición de materiales) para la construcción del sistema de tratamiento (ver Anexo N° 2.2 Conjunto de figuras de la etapa de

construcción del Sistema de Paredes Verdes) en la semana 01 de la etapa experimental de la investigación.

Durante la construcción se instaló la estructura del SPV, el tanque de almacenamiento y dosificación de aguas grises, así como el sistema de riego por goteo y el sistema de recolección de las aguas tratadas.

e) Adaptación de las especies en el lugar de estudio

Las especies empleadas tuvieron una edad de aproximadamente 8 semanas y su periodo de adaptación en el Sistema de Paredes Verdes construido fue de 2 semanas, iniciando en la semana 01 y culminando en la semana 02 de la etapa experimental de la investigación.

El proceso de adaptación consistió en sembrar cada una de las especies a investigar, en su respectiva maceta y configuración, para ser regadas con agua potable y nutrientes, antes de someterlas al riego con aguas grises (ver Anexo N° 2.3 Conjunto de figuras de la etapa de adaptación de las especies).

f) Puesta en marcha del sistema de tratamiento

Luego de culminar con la adaptación de las especies en el sistema de tratamiento construido, durante la semana 03 y 04 de la etapa experimental de la investigación, se realizó el riego con aguas grises a fin de perfilar algunos aspectos técnicos del SPV (ver Anexo N° 2.4 Conjunto de figuras de la puesta en marcha del sistema de tratamiento) y poder dar inicio a la etapa de tratamiento correspondiente.

g) Determinación de la dosis de dióxido de cloro (ClO₂)

En la semana 04 de la etapa experimental de la investigación, se procedió a realizar el cálculo de la dosis de ClO₂ a ser dosificada a las muestras de agua tratada en cada configuración (ver Anexo N° 2.5 Conjunto de figuras del cálculo de la dosis de

cloro). Para ello se tomó como referencia el valor de la concentración de dióxido de cloro establecido en la norma de la US EPA (2012), la cual indica que, para asegurar una adecuada calidad del agua para el riego de parques, campos deportivos, zonas verdes, entre otros usos, la concentración de cloro libre residual debe ser de 1 mg/L.

En ese sentido, se utilizó como base el ClO₂ adquirido comercialmente al 7.5% el cual fue llevado a una concentración de 0.1%, a fin de poder agregar volúmenes fácilmente medibles a las muestras requeridas, aplicando la fórmula matemática establecida en la “Guía para la limpieza y desinfección de manos y superficies”, elaborada por el INACAL (2020), tal como se aprecia a continuación:

$$V_1 = \frac{V_2 \times C_2}{C_1}$$

Donde:

V₁: Volumen que se requiere determinar del desinfectante que se extraerá del envase original

C₁: Concentración inicial del desinfectante

V₂: Volumen de la solución del desinfectante que se necesita preparar (1 litro)

C₂: Concentración del desinfectante que se necesita preparar

Una vez obtenido 1 litro de ClO₂ al 0.1%, el procedimiento de determinación de la dosis de ClO₂ necesaria para desinfectar el agua tratada en cada configuración, consistió en lo siguiente:

- ✓ Se extrajo 3 litros de agua tratada de una (01) configuración del Sistema de Paredes Verdes.
- ✓ Se separó 1 litro del agua tratada extraída en tres (03) recipientes diferentes.

- ✓ Se agregó un volumen diferente (en mililitros) de solución de ClO_2 al 0.1 % a cada uno de los tres (03) recipientes, esto con la finalidad de determinar el volumen necesario de solución de ClO_2 al 0.1 % para que la muestra de agua tratada tenga una concentración de 1 mg/L de cloro libre residual.
- ✓ El volumen estimado de ClO_2 al 0.1% añadida a cada recipiente, tuvo un rango de dosificación entre 2 a 10 mg/L, los cuales fueron añadidas en volúmenes diferentes y de forma ascendente entre un recipiente y el otro, y luego, se homogeneizó la muestra.
- ✓ Se extrajo 3 ml de un recipiente que contenía agua tratada homogeneizada con el ClO_2 , al set analizador de cloro, agregándose 4 gotas de solución OTO (compuesto por orto – toluidina al 0.095% y ácido clorhídrico al 3.7%) y se agitó hasta homogeneizar la solución (se procedió a realizar esta misma acción para los 02 recipientes restantes).
- ✓ Se comparó el color de la solución con la escala estándar de colores del set analizador de cloro (se procedió a realizar esta misma acción para los 02 recipientes restantes).
- ✓ Mediante las pruebas realizadas con el set analizador de cloro, se seleccionó el volumen de dióxido de cloro al 0.1 % que se añadió a uno (01) de los tres (03) recipientes que contenía el agua tratada, y resultó una concentración de cloro libre residual en el agua de 1 mg/L.
- ✓ Se realizó la misma actividad para determinar el volumen de ClO_2 al 0.1%, para cada una (01) de las tres (03) configuraciones del Sistema de Paredes Verdes.

En la Tabla 4.6, se muestra la dosis de dióxido de cloro al 0.1% que requirió el agua tratada por cada configuración:

Tabla 4.6.

Dosis de dióxido de cloro (ClO₂) al 0.1 % de concentración por cada muestra de agua tratada

Configuración de tratamiento	Dosis de ClO ₂ (0.1%)	
	1 litro de muestra de agua tratada	5 litros de muestra de agua tratada
<i>Aptenia cordifolia</i>	8 ml	40 ml
<i>Nephrolepis oblitterata</i>	5 ml	25 ml
Sin especie	7 ml	35 ml

Previo a la toma de muestras del agua tratada a ser enviadas al laboratorio, realizada todos los sábados durante el periodo de monitoreo (ver Anexo N° 2.6 Conjunto de figuras de la etapa de tratamiento de aguas grises), se utilizó la información de la Tabla 4.6 para dosificar el volumen correcto de dióxido de cloro correspondiente a las aguas tratadas por cada configuración, a fin de cumplir con lo establecido en la norma de la US EPA (2012); donde se indica que la concentración de dióxido de cloro (ClO₂) libre residual que permite asegurar una adecuada calidad del agua a ser utilizada en el riego de parques, campos deportivos, zonas verdes, entre otros usos, debe ser de 1 mg/L.

h) Etapa de tratamiento de aguas grises

Esta etapa inició en la semana 04 y culminó en la semana 16 de la etapa experimental de la investigación. Esta etapa consistió en el desarrollo de las siguientes actividades:

- Recolección de las aguas grises

La recolección de las aguas grises (AG) inició en la semana 04 y culminó en la semana 15 de la etapa experimental de la investigación, llevándose a cabo diariamente durante las 24 horas previas a su tratamiento. Las AG recolectadas fueron prefiltradas antes de ser vertidas al tanque de almacenamiento, el cual actuó como un sedimentador de los sólidos suspendidos que no pudieron eliminarse en la

prefiltración (ver Anexo N° 2.6 Conjunto de figuras de la etapa de tratamiento de aguas grises). A continuación, se detalla en la Tabla 4.7, los puntos de generación y el volumen de AG recolectadas en cada uno de ellos:

Tabla 4.7.

Puntos de generación de AG y volumen de AG recolectadas

Puntos de generación	Cantidad de puntos	Cantidad de muestra (L)
Lavamanos	2	5 (2.5 L de cada lavamanos)
Lavadero	1	2.5
Ducha	1	2.5
Lavadora	1	2.5
Fregadero de cocina	1	2.5
Total	6	15

- **Caracterización de las aguas grises**

La caracterización del agua gris inició en la semana 05 y culminó en la semana 16 de la etapa experimental de la investigación.

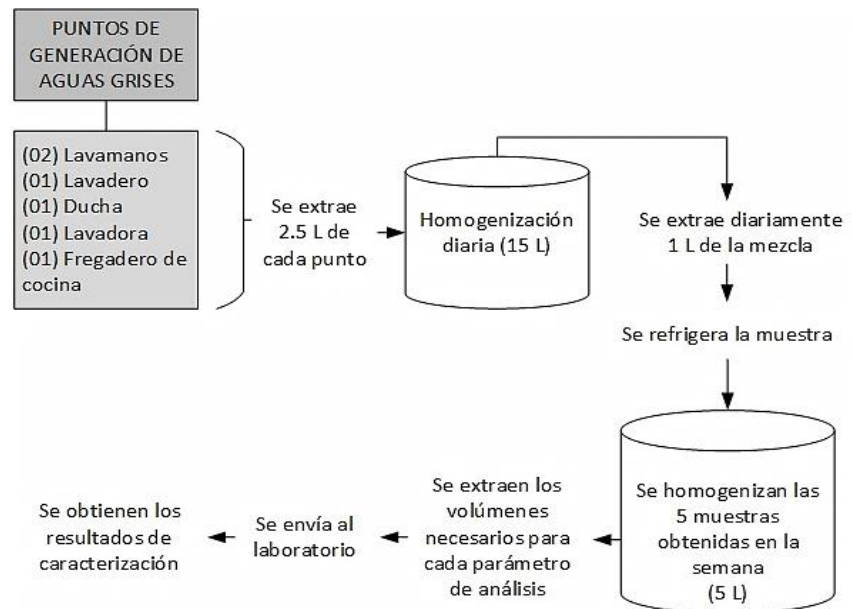
La caracterización de las aguas grises se realizó semanalmente, para lo cual se tomaron muestras diarias (de domingo a jueves); extrayendo en frascos de plástico previamente rotulados, 01 litro de la cantidad total recolectada de AG (15 litros) para su respectivo almacenamiento y conservación.

La conservación de las muestras diarias se realizó mediante refrigeración a $< 6\text{ }^{\circ}\text{C}$, hasta el día sábado de cada semana, donde se procedía a homogeneizar todas las muestras y finalmente, realizar el muestreo respectivo para el análisis de laboratorio (ver Anexo N° 2.6 Conjunto de figuras de la etapa de tratamiento de aguas grises).

En la Figura 4.3, se detalla el procedimiento del monitoreo semanal realizado para la caracterización de las AG.

Figura 4.3.

Procedimiento de monitoreo semanal para la caracterización de las aguas grises



Asimismo, cabe señalar que, se realizó el muestreo de las aguas grises tratadas siguiendo los requisitos establecidos en el libro *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (en adelante SMEWW) elaborado por APHA, AWWA & WEF (2017); de acuerdo con las exigencias especificadas por el laboratorio, las cuales se detallan en el ítem 4.5.

- Riego con agua gris

El riego con agua gris inició en la semana 05 y finalizó en la semana 16 de la etapa experimental de la investigación.

La frecuencia del riego fue diaria, empleando los 14 litros restantes de la recolección previa, de los cuales 2 litros sirvieron para incrementar el nivel del AG en el tanque, necesario para su correspondiente dosificación y, los otros 12 litros sobrantes fueron utilizados para cubrir la demanda

de aguas grises requerida diariamente por el Sistema de Paredes Verdes (ver Anexo N° 2.6 Conjunto de figuras de la etapa de tratamiento de aguas grises).

El Sistema se dosificó con 0.166 L/h de aguas grises por cada configuración, las 24 horas del día, durante 05 días a la semana (de lunes a viernes), con un periodo de descanso de 02 días (sábado y domingo) para asegurar la continuidad del tratamiento.

- Caracterización del agua tratada

El monitoreo para la caracterización del agua tratada inició en la semana 05 y culminó en la semana 16 de la etapa experimental de la investigación.

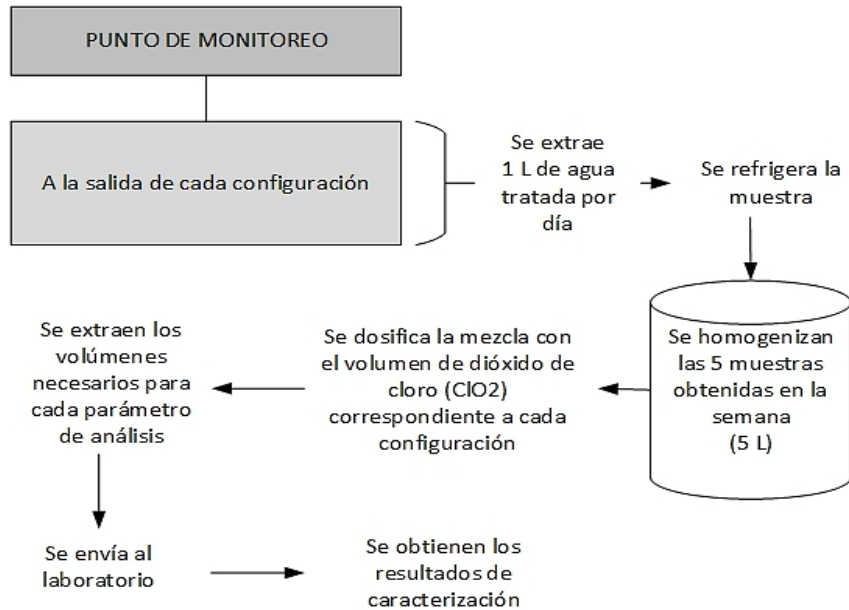
Durante cada semana de tratamiento se extrajo, de lunes a viernes, una muestra de 1 litro de agua tratada por cada configuración, en frascos de plástico previamente rotulados para su correspondiente almacenamiento y conservación. La conservación de las muestras diarias se realizó mediante refrigeración a < 6 °C, hasta el día sábado de cada semana, donde se procedía a homogeneizar las aguas tratadas, de manera diferenciada por cada configuración del Sistema, y finalmente realizar el muestreo respectivo para el análisis de laboratorio (ver Anexo N° 2.6 Conjunto de figuras de la etapa de tratamiento de aguas grises).

Asimismo, cabe señalar que, se realizó el muestreo de las aguas tratadas siguiendo los requisitos establecidos en el libro SMEWW elaborado por APHA, AWWA & WEF (2017); de acuerdo con las exigencias especificadas por el laboratorio, las cuales se detallan en el ítem 4.5.

En la Figura 4.4, se muestra el procedimiento del monitoreo semanal realizado para obtener las características de las aguas tratadas.

Figura 4.4.

Procedimiento de monitoreo semanal para la caracterización de las aguas tratadas



Nota. El volumen de ClO₂ a dosificarse al agua tratada obtenida en cada configuración, se muestra la Tabla 4.6.

Cabe precisar que, el procedimiento de monitoreo semanal se realizó para cada una de las 03 configuraciones de tratamiento (AGT-S, AGT-N y AGT-A) que componen el Sistema de Paredes Verdes (SPV).

i) Determinación de la eficiencia de remoción

La eficiencia de remoción, se determinó a través de la diferencia de concentraciones, de los contaminantes presentes en las aguas grises, antes y después de su tratamiento.

Este procedimiento se realizó para cada parámetro analizado (Coliformes Fecales, DBO₅ y Turbiedad), por cada configuración de tratamiento del Sistema.

Para el caso del pH, debido a que su nivel de aceptabilidad no depende de un aumento o disminución sino del fin para el que va a ser utilizada el agua tratada, se calculó el promedio de los valores obtenidos durante los monitoreos realizados.

Posteriormente, se calculó la eficiencia de remoción de los contaminantes, por cada semana de monitoreo (10 semanas), y por cada configuración del SPV, empleando la siguiente fórmula:

$$\text{Eficiencia de remoción (\%)} = \left(\frac{C_o - C_f}{C_o} \right) \times 100$$

Donde:

Co: Concentración inicial del contaminante respectivo

Cf: Concentración final del contaminante respectivo luego del tratamiento

Finalmente, se promedió las eficiencias de remoción de los contaminantes, resultantes de las 10 semanas de monitoreo, por cada parámetro analizado, para obtener la eficiencia de remoción promedio de cada configuración del SPV.

4.2 Método de investigación

Para definir el método aplicable a esta investigación se consultó el libro “**Metodología de la investigación**” (Hernández Sampieri et al., 2014), de lo cual se concluyó que el método correspondiente es el **método cuantitativo**, dado que este emplea la recolección de datos a fin de contrastar la hipótesis a través de la medición numérica y la realización de pruebas estadísticas, a fin de establecer modelos de comportamiento y demostrar teorías, que es en resumen el procedimiento empleado.

4.3 Población y muestra

4.3.1 Población

La población del estudio comprende a las aguas grises generadas por las actividades domésticas de una vivienda ubicada en el AA.HH. San Martín, distrito de Los Olivos, Lima – Perú, correspondiente a las aguas generadas por el uso de lavamanos, lavadero, ducha, lavadora y fregadero de cocina.

4.3.2 Muestra

La muestra estuvo constituida por un flujo igual a 12 litros de aguas grises por día, tomadas de la población anteriormente definida. La muestra fue distribuida en 3 configuraciones independientes, por lo que diariamente cada una de ellas recibió un volumen estimado de 4 litros de aguas grises.

4.4 Lugar de estudio y periodo desarrollado

4.4.1 Lugar de estudio

La presente investigación se desarrolló en una vivienda del AA.HH. San Martín, que se localiza en el distrito de Los Olivos del departamento de Lima – Perú (ver Figura 4.5), en la cual se instaló el Sistema de Paredes Verdes (ver Anexo N° 2.6 Conjunto de figuras de la etapa de tratamiento de aguas grises). En la Tabla 4.8, se presenta las coordenadas geográficas del lugar de estudio.

Tabla 4.8.

Coordenadas del lugar de estudio

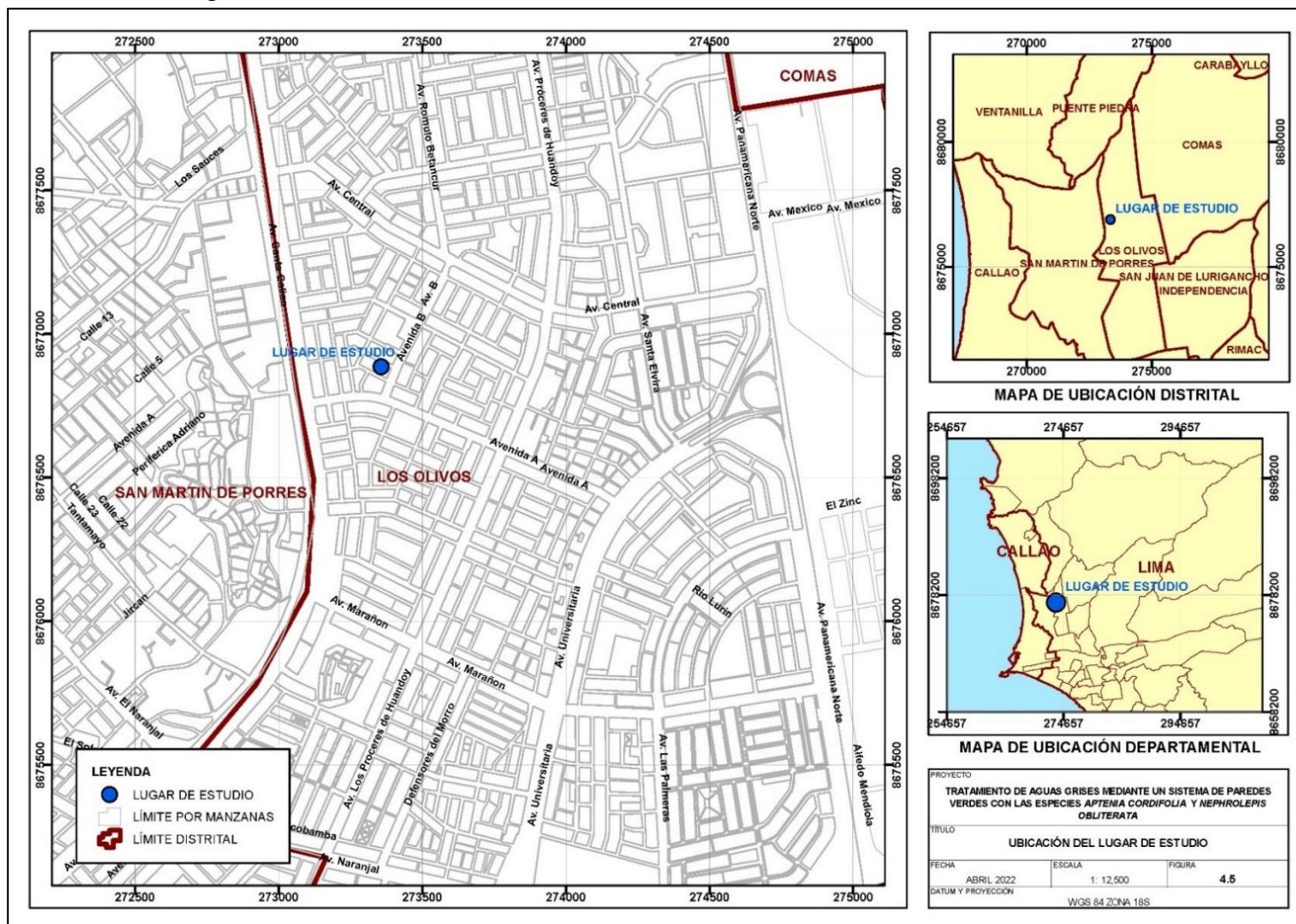
Coordenadas	
Geográficas	UTM (WGS84- Zona 18S)
Longitud: 77° 04' 52" O	E: 273354 m
Latitud: 11° 57' 40" S	N: 8676889 m

4.4.2 Periodo desarrollado

La etapa experimental de la investigación inició en la semana 02 del mes de Octubre del año 2021 y finalizó en la semana 04 del mes de Enero del año 2022, haciendo un total de 16 semanas de periodo experimental, distribuidos de la siguiente manera: 02 semanas de adaptación de las especies, 02 semanas de puesta en marcha del SPV y 12 semanas de tratamiento (de las cuales se monitoreó las aguas grises y las aguas tratadas durante 10 semanas y, hubo 02 semanas de pausa donde no se realizó el muestreo respectivo por los motivos detallados en la Tabla 4.3).

Figura 4.5.

Ubicación del lugar de estudio



4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

La toma de muestras de aguas, efectuada durante la etapa de tratamiento, se llevó a cabo según los requisitos establecidos en el libro SMEWW elaborado por APHA, AWWA & WEF (2017) y en concordancia con las exigencias especificadas por el laboratorio encargado de los análisis requeridos. En la Tabla 4.9, se muestran los requisitos para la toma de muestras de agua, aplicados en la investigación.

El método de medición para cada parámetro analizado, se detalla a continuación:

4.5.1 Método colorimétrico para el análisis de pH

La determinación del potencial de hidrógeno se realiza en base al método colorimétrico donde su medición in situ consiste en la aplicación de una solución fenol (fenolsulfonftaleína) en un colorímetro o set analizador de pH (escala de colores estándar), es decir, el pH se determina a través de una comparación visual del color.

El colorímetro (o set analizador de pH) es un dispositivo que determina la concentración de un soluto que se disuelve en una solución dada por la aplicación de la ley de Beer-Lambert, que establece que la concentración de un soluto que se disuelve en una solución dada por la aplicación de la ley de Beer-Lambert, que establece que la concentración de un soluto es proporcional a la absorbencia (Vázquez & Rojas, 2016).

4.5.2 Método nefelométrico para el análisis de Turbidez

Este método se realiza en base a una comparativa entre la intensidad de la luz dispersada de una muestra en condiciones conocidas, y la luz dispersada por una solución estándar en idénticas condiciones. Es así que, si la intensidad de la luz dispersada es mayor, la turbidez es más intensa. La suspensión estándar de

turbidez que se usa como referencia es el polímero formacina (APHA, AWWA, & WEF, 2017).

4.5.3 Método analítico luminiscente para el análisis de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Este método de medición de la DBO a los cinco días es un análisis empírico, el cual permite estimar la cantidad de oxígeno consumido por los microorganismos, encargados de la degradación de la materia orgánica que contiene una muestra. La DBO₅ se determina midiendo la cantidad de oxígeno utilizado para la degradación bioquímica de la materia orgánica y la oxidación de la materia orgánica presente en la muestra al cabo de un periodo de incubación de 5 días a una temperatura de 20°C.

Este método exige que la concentración residual de oxígeno disuelto a los 5 días sea al menos de 1 mg O₂/L y que durante el ensayo de materia orgánica de la muestra haya consumido al menos 2 mg O₂/L del oxígeno presente en el agua de dilución. El oxígeno restante se determina a los 5 días y se compara con el valor obtenido inicialmente (APHA, AWWA, & WEF, 2017).

4.5.4 Técnica de filtración por tubos múltiples para el análisis de coliformes fecales (C.F.)

En esta técnica, este grupo de organismos se identifica por su capacidad de fermentar la lactosa para producir gas a 44,5 °C. Se puede realizar una prueba de coliformes termotolerantes utilizando uno de los procedimientos de tubos múltiples descritos, con pruebas como: Prueba de coliformes termotolerantes (medio EC) y Prueba directa de coliformes termotolerantes (medio A-1) (APHA, AWWA, & WEF, 2017).

Los métodos y equipos de medición utilizados se detallan en la Tabla 4.10.

Tabla 4.9.*Requisitos para la toma de muestras de agua*

Parámetro	Fisicoquímico			Microbiológico
	pH*	DBO ₅	Turbiedad	Coliformes fecales (NMP/100mL)
Tipo de envase	Plástico o vidrio	Plástico o vidrio	Plástico pavonado o vidrio ámbar***	Plástico o vidrio esterilizado
Tamaño de muestra	100 mL	1 L	100 mL	250 mL (para cada ensayo) Nota: 1 L (cuando se requiere agrupar los ensayos)
Preservación y condiciones de almacenamiento**	Analizar inmediatamente	Llenar el frasco completamente, sin dejar burbujas de aire. Refrigerar ≤ 6°C	Refrigerar ≤ 6°C	Refrigerar de 2 a < 8°C, sin congelar. No llenar completamente el frasco con la muestra, dejar al menos 2.5 cm de espacio. Si el cloro libre residual es < 5mg/L (ej.: Agua de Bebida) preservar con 0.1 mL de Tiosulfato de Sodio al 3% estéril por cada 100 mL de muestra. Si el cloro libre residual es > 5mg/L y < 15mg/L (ej. Agua de Piscina, agua residual tratada) preservar con 0.1 mL de Tiosulfato de Sodio al 10% estéril por cada 100 mL de muestra.
Tiempo máximo de perecibilidad	15 min	48 horas	48 horas	24 horas

Especificaciones:
* No se aplicó el requisito para la toma de muestra de agua para determinar el nivel de pH, ya que se analizó in situ utilizando el set analizador de pH de uso casero.
** Si el análisis se inicia dentro de las 2 horas de la toma de muestras, la refrigeración es innecesaria. Si el análisis no se inicia dentro de las 2 horas de la toma de muestras, mantener refrigerado según corresponda, en los casos que se agregue preservante ácido o base se tiene que verificar el pH de la muestra en campo.
*** Otro frasco equivalente que no deje pasar la luz, alternativamente se puede cubrir los frascos que dejan pasar la luz con papel de aluminio para la toma de muestra

Nota. Adaptado de SMEWW elaborado por APHA, AWWA & WEF (2017).

Tabla 4.10.

Equipos y métodos a emplear

Parámetro	Equipo	Norma ⁽¹⁾ SMEWW-APHA-AWWA-WEF, 23rd Ed. Método / Parte
pH	Set analizador de pH	Colorimetría ⁽²⁾
Turbidez	Turbidímetro	2130 B
DBO5	Colorímetro digestor	5210 B
Coliformes Fecales	Microscopio	9221-F.2

Nota. ⁽¹⁾ SMEWW elaborado por APHA, AWWA & WEF (2017). ⁽²⁾ Se aplicó el método de medición por colorimetría utilizando un set analizador de pH casero, debido a que la presente investigación se ejecutó a nivel domiciliario, justificándose así el empleo de este método.

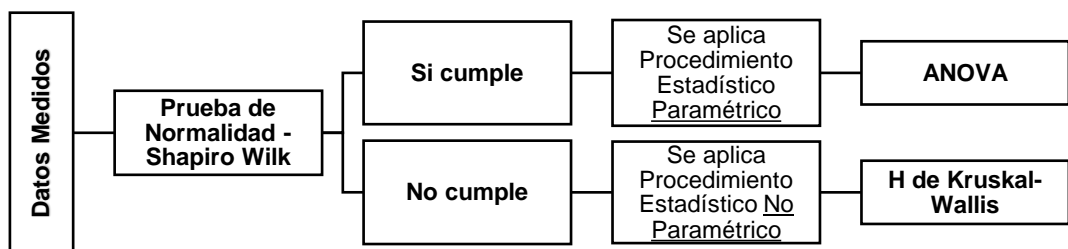
4.6 Análisis y procesamiento de datos

De acuerdo a los datos obtenidos en los distintos experimentos realizados, se elaboró tablas y gráficos mediante el Software de hojas de cálculo Microsoft Excel, para su correspondiente discusión.

Asimismo, para el procesamiento de los datos se efectuó el análisis comparativo de los parámetros de estudio en las tres configuraciones de tratamiento propuestas (AGT-S, AGT-A y AGT-N), a través del análisis de varianza utilizando el software estadístico **IBM SPSS Statistics 25**, para establecer la existencia de diferencias significativas en cada uno de ellos; siguiendo una secuencia lógica, tal como se muestra en la Figura 4.6.

Figura 4.6.

Secuencia lógica del análisis estadístico aplicado debido al comportamiento de los datos medidos



Como se observa en la Figura 4.6, para cada conjunto de datos medidos por parámetro, se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro Wilk para determinar el comportamiento de los datos, teniendo en cuenta que si estos presentan un nivel de significancia > 0.05 , se puede realizar el análisis de varianza mediante la prueba paramétrica del ANOVA (debido a que la normalidad es un prerequisite para poder aplicar esta prueba estadística) y por el contrario, cuando el nivel de significancia es < 0.05 , se emplea el análisis de varianza mediante la prueba estadística homogénea no paramétrica llamada H de Kruskal-Wallis.

V. RESULTADOS

5.1 Resultados Descriptivos

En esta sección se describen los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio realizados a las aguas grises sin tratamiento - afluyente (AGST) y a las aguas tratadas en cada configuración: aguas grises tratadas sin especie (AGT-S), aguas grises tratadas con *Aptenia cordifolia* (AGT-A) y aguas grises tratadas con *Nephrolepis obliterata* (AGT-N); además se detallará los resultados de cada parámetro analizado (coliformes fecales, demanda bioquímica de oxígeno, turbiedad y pH) en el tiempo, comparándolo por cada tratamiento realizado.

En el Anexo N° 3, se adjuntan los documentos de acreditación del laboratorio encargado de los análisis y en el Anexo N° 4, se muestran los certificados de calibración de los equipos empleados para tal fin.

5.1.1 Resultados de laboratorio de las AGST (afluyente)

En la Tabla 5.1 se muestra los resultados de laboratorio de las aguas grises sin tratamiento-AGST (afluyente) medidos durante la etapa de tratamiento (12 semanas) de la presente investigación. Se aprecia que los valores de coliformes fecales (CF) exceden el valor de calidad para la norma US EPA (0 NMP/100 mL) durante toda la etapa de tratamiento; presentando valores máximos desde los 230 000, 28 000 y 23 000 NMP/100 mL para las semanas 3, 9 y 1, respectivamente; y valores mínimos de 1.8, 23, 23 NMP/100 mL para las semanas 4, 2 y 11, respectivamente.

Los valores de DBO₅ exceden, en la mayoría de los casos, el valor de calidad para la norma US EPA (< 10 mg/L) durante toda la etapa de tratamiento; presentando valores máximos desde los 412.3, 349.2 y 212.3 mg/L para las semanas 2, 4 y 3, respectivamente; y valores mínimos de 81.3, 51, 2 mg/L para las semanas 9, 6 y 5, respectivamente; siendo este último caso (semana 5) la única semana donde la DBO₅ cumplió con lo establecido por la US EPA.

Tabla 5.1.*Resultados de laboratorio del análisis de AGST*

Semanas de la etapa de tratamiento	Fecha	Coliformes fecales (NMP/100 mL)	Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	Turbiedad (NTU)	pH (Unidad de concentración)
1	13/11/2021	23000	104.4	40	6.8
2	20/11/2021	23	412.3	140	6.6
3	27/11/2021	230000	212.3	60	6.8
4	04/12/2021	1.8	349.2	110	6.8
5	11/12/2021	16000	2	120	6.8
6	18/12/2021	5400	51	65	6.8
7	25/12/2021	-	-	-	-
8	01/01/2022	-	-	-	-
9	08/01/2022	28000	81.3	51.3	6.8
10	15/01/2022	350	60.7	29.2	6.8
11	22/01/2022	23	140	0.01	6.8
12	29/01/2022	110	109	13.4	6.8
Norma US EPA		0	<10	<2	6 - 9

Nota. Valor en negrita, excede los valores de calidad para la norma US EPA (2012)

Los valores de turbiedad exceden, en la mayoría de los casos, el valor de calidad para la norma US EPA (< 2 NTU) durante toda la etapa de tratamiento, presentando valores máximos desde los 140, 120 y 110 NTU para las semanas 2, 5 y 4, respectivamente; y valores mínimos de 29.2, 13.4, 0.01 NTU para las semanas 10, 12 y 11, respectivamente; siendo este último caso (semana 11) la única semana donde la turbiedad cumplió con lo establecido por la US EPA. Los valores de pH de AGST cumplen con el valor de calidad para la norma US EPA (6 < pH < 9) durante toda la etapa de tratamiento.

5.1.2 Concentraciones finales en las configuraciones de tratamiento propuestas

Es importante precisar que el laboratorio encargado del análisis de las muestras de agua, reportó valores de CF por debajo del límite de cuantificación del método (< 1.8 NMP/100 mL), por tal motivo se ha asumido que para las tres configuraciones de tratamiento propuestas, el valor de CF es de 0 NMP/100 mL; debido a que, previo al envío de muestras al laboratorio, se dosificó el volumen necesario de dióxido de cloro (35 mL, 40mL y 25mL de ClO_2 en 5 L de muestra para AGT-S, AGT-A y AGT-N, respectivamente) para garantizar que la concentración de cloro libre residual en la muestra de agua sea de 1 mg/L y asegurar la desinfección del agua tratada.

En el Anexo N° 5.1 y Anexo N° 5.2, se adjuntan los resultados reportados por el laboratorio para los análisis de CF, DBO_5 y turbiedad, de muestras de aguas grises sin tratamiento y con tratamiento, respectivamente. Asimismo, en el Anexo N° 6.1 y Anexo N° 6.2, se adjuntan las cadenas de custodia del monitoreo realizado para las muestras de aguas grises sin tratamiento y con tratamiento, respectivamente.

De igual manera, en las Tablas 5.2, 5.3 y 5.4, se muestran los resultados del análisis de laboratorio para las aguas grises tratadas con la configuración de tratamiento sin especie (AGT-S), con *Aptenia cordifolia* (AGT-A) y con *Nephrolepis obliterata* (AGT-N), respectivamente.

En la Tabla 5.2 se puede observar que los valores de CF, DBO_5 , turbiedad y pH reportados durante toda la etapa de tratamiento con la configuración AGT-S, cumplen con el estándar de calidad de la norma US EPA: 0 NMP/100 mL, <10 mg/L, <2 NTU, 6-9 pH, respectivamente. Además, se aprecia que estas aguas presentan un promedio de 0 NMP/100 mL, 2.12 ± 0.32 mg/L, 0.53 ± 0.37 NTU y 7.09 ± 0.09 para CF, DBO_5 , turbiedad y pH, respectivamente.

Tabla 5.2.*Resultados de laboratorio del análisis de las AGT-S*

Semanas de la etapa de tratamiento	Fecha	Coliformes fecales (NMP/100 mL)	Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	Turbiedad (NTU)	pH (Unidad de concentración)
1	13/11/2021	0	2	1.1	7.9
2	20/11/2021	0	2	1.1	7.9
3	27/11/2021	0	2	0.1	7.8
4	04/12/2021	0	2.2	0.65	7.7
5	11/12/2021	0	2	0.65	7.9
6	18/12/2021	0	2	0.6	8
7	25/12/2021	-	-	-	-
8	01/01/2022	-	-	-	-
9	08/01/2022	0	2	0.4	8
10	15/01/2022	0	2	0.42	7.9
11	22/01/2022	0	3	0.01	8
12	29/01/2022	0	2	0.31	7.9
Promedio		0	2.12±0.32	0.53±0.37	7.9±0.09
Norma US EPA		0	<10	<2	6 - 9

Nota. **Valor en negrita**, excede los valores de calidad de la norma US EPA (2012)

En la Tabla 5.3 se puede observar que los valores de CF, DBO₅, turbiedad, pH reportados durante toda la etapa de tratamiento con la configuración AGT-A, cumplen con el estándar de calidad de la norma US EPA: 0 NMP/100 mL, <10 mg/L, <2 NTU, 6-9 pH, respectivamente. Además, se aprecia que estas aguas presentan un promedio de 0 NMP/100 mL, 2.63±1.06 mg/L, 1.01±0.55 NTU y 8 para CF, DBO₅, turbiedad y pH, respectivamente.

Tabla 5.3.*Resultados de laboratorio del análisis de las AGT-A*

Semanas de la etapa de tratamiento	Fecha	Coliformes fecales (NMP/100 mL)	Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	Turbiedad (NTU)	pH (Unidad de concentración)
1	13/11/2021	0	2	1.6	8
2	20/11/2021	0	4.7	1.3	8
3	27/11/2021	0	2	1	8
4	04/12/2021	0	4.2	1.2	8
5	11/12/2021	0	2	1.9	8
6	18/12/2021	0	2	1.1	8
7	25/12/2021	-	-	-	8
8	01/01/2022	-	-	-	8
9	08/01/2022	0	2	0.7	8
10	15/01/2022	0	2	0.89	8
11	22/01/2022	0	3.4	0.01	8
12	29/01/2022	0	2	0.44	8
Promedio		0	2.63±1.06	1.01±0.55	8
Norma US EPA		0	<10	<2	6 - 9

Nota. Valor en negrita, excede los valores de calidad de la norma US EPA (2012)

En la Tabla 5.4 se puede observar que los valores de CF, DBO₅, turbiedad, pH reportados durante toda la etapa de tratamiento con la configuración AGT-N, cumplen con el estándar de calidad de la norma US EPA: 0 NMP/100 mL, <10 mg/L, <2 NTU, 6-9 pH, respectivamente.

Además, se aprecia que estas aguas presentan un promedio de 0 NMP/100 mL, 2.28±0.60 mg/L, 0.68±0.37 NTU y 7.46±0.10 para CF, DBO₅, turbiedad y pH, respectivamente.

Tabla 5.4.*Resultados de laboratorio del análisis de las AGT-N*

Semanas de la etapa de tratamiento	Fecha	Coliformes fecales (NMP/100 mL)	Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	Turbiedad (NTU)	pH (Unidad de concentración)
1	13/11/2021	0	2	1.3	7.4
2	20/11/2021	0	2	1.1	7.4
3	27/11/2021	0	2	0.85	7.6
4	04/12/2021	0	3.2	0.65	7.4
5	11/12/2021	0	2	0.9	7.4
6	18/12/2021	0	2	0.6	7.6
7	25/12/2021	-	-	-	-
8	01/01/2022	-	-	-	-
9	08/01/2022	0	2	0.4	7.4
10	15/01/2022	0	2	0.53	7.6
11	22/01/2022	0	3.6	0.01	7.4
12	29/01/2022	0	2	0.48	7.4
Promedio		0	2.28±0.60	0.68±0.37	7.46±0.10
Norma US EPA		0	<10	<2	6 - 9

Nota. **Valor en negrita**, excede los valores de calidad de la norma US EPA (2012)

5.1.3 Comparativa de las configuraciones de tratamiento por parámetro

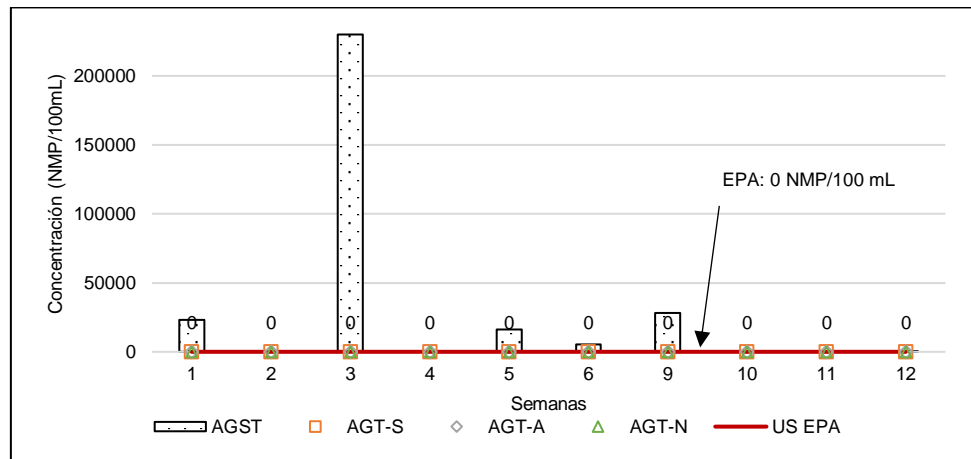
En las figuras 14, 15, 16 y 17 se muestra la comparativa de los resultados obtenidos en cada configuración de tratamiento a través del tiempo, para los parámetros de CF, DBO₅, Turbiedad y pH, respectivamente.

En la Figura 5.1 se aprecia que para el parámetro CF los valores reportados en las tres configuraciones de tratamiento propuestas (AGT-S, AGT-A y AGT-N) cumplen con el estándar de calidad de

acuerdo a la norma US EPA (0 NMP/100 mL), presentando el mismo valor (0 NMP/100 mL) sin distinción por configuración de tratamiento. Por otro lado, para las AGST (representadas por las columnas de la Figura 5.1) se aprecia que en su mayoría los valores reportados son superiores a la norma US EPA, durante la etapa de tratamiento.

Figura 85.1.

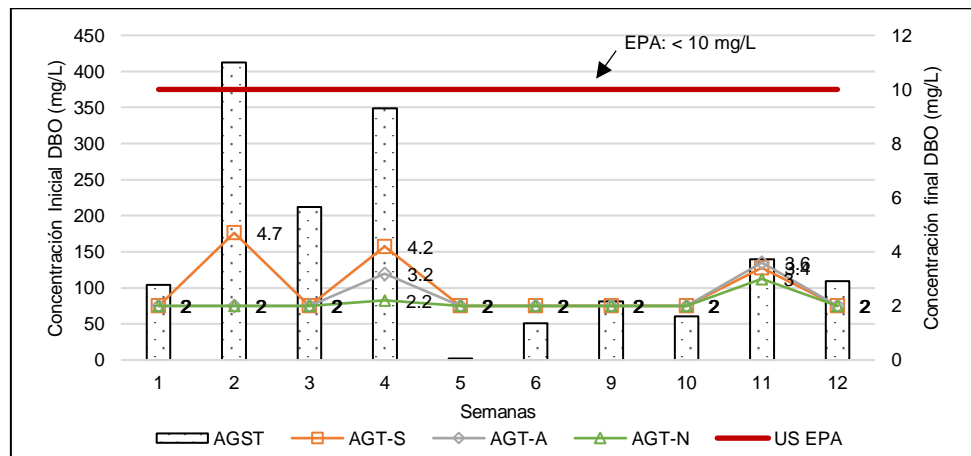
Comparativa de los Coliformes Fecales en el Tiempo por Configuración de Tratamiento



Nota. AGST, aguas grises sin tratamiento; AGT-S, aguas grises tratadas sin especie; AGT-A, aguas grises tratadas con *Aptenia cordifolia*; AGT-N, aguas grises tratadas con *Nephrolepis obliterata*.

Figura 5.2.

Comparativa de la DBO5 en el Tiempo por Configuración de Tratamiento



Nota. AGST, aguas grises sin tratamiento; AGT-S, aguas grises tratadas sin especie; AGT-A, aguas grises tratadas con *Aptenia cordifolia*; AGT-N, aguas grises tratadas con *Nephrolepis obliterata*.

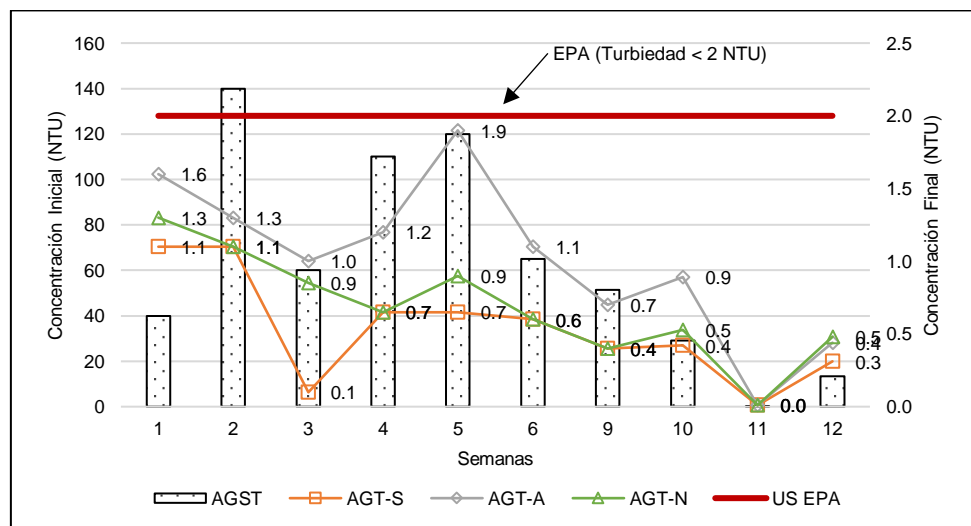
En la Figura 5.2, las columnas y el eje izquierdo representan las concentraciones iniciales de la DBO₅ para AGST (afluente), cuyos valores sobrepasan la norma US EPA (<10 mg/L), excepto en la semana 5.

Los puntos y el eje derecho de la figura anterior representan las concentraciones finales de la DBO₅, apreciándose que las tres configuraciones de tratamiento propuestas (AGT-S, AGT-A y AGT-N) cumplen con el estándar de calidad de acuerdo a la norma US EPA. Además, se puede visualizar que la configuración de tratamiento AGT-N (color verde) suele presentar menor concentración de DBO₅ en el tiempo.

Como se aprecia en la Figura 5.3, las columnas y el eje izquierdo representan las concentraciones iniciales de la turbiedad para AGST (afluente), cuyos valores sobrepasan la norma US EPA (<2 NTU), excepto en la semana 11.

Figura 5.3.

Comparativa de la Turbiedad en el Tiempo por Configuración de Tratamiento



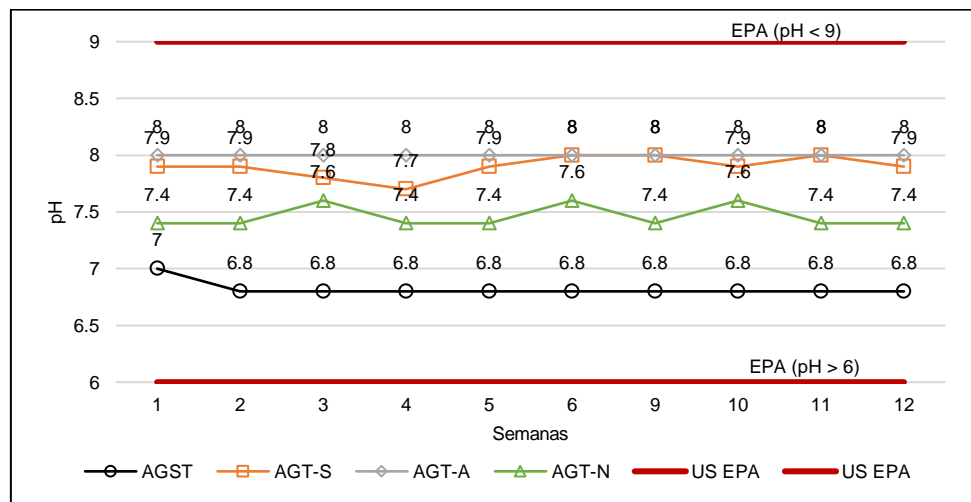
Nota. AGST, aguas grises sin tratamiento; AGT-S, aguas grises tratadas sin especie; AGT-A, aguas grises tratadas con *Aptenia cordifolia*; AGT-N, aguas grises tratadas con *Nephrolepis obliterata*.

Los puntos y el eje derecho de la figura anterior representan las concentraciones finales de la turbiedad, apreciándose que las tres

configuraciones de tratamiento propuestas (AGT-S, AGT-A y AGT-N) cumplen con el valor de calidad de acuerdo a la norma US EPA. Además, se puede visualizar que la configuración de tratamiento AGT-S (color naranja) suele presentar menor turbiedad en el tiempo. En la Figura 5.4 se aprecia que la línea de color negro representa el pH de las AGST (afluente), cuyos valores durante toda la etapa de tratamiento, no sobrepasan la norma US EPA ($6 < \text{pH} < 9$).

Figura 5.4.

Comparativa del pH en el Tiempo por Configuración de Tratamiento



Nota. AGST, aguas grises sin tratamiento; AGT-S, aguas grises tratadas sin especie; AGT-A, aguas grises tratadas con *Aptenia cordifolia*; AGT-N, aguas grises tratadas con *Nephrolepis obliterata*.

Los puntos de colores de la figura anterior representan el pH, apreciándose que los valores de las aguas tratadas en las tres configuraciones de tratamiento propuestas (AGT-S, AGT-A y AGT-N) cumplen con la calidad de acuerdo a la norma US EPA. Además, se puede visualizar que la configuración de tratamiento AGT-N (color verde) suele presentar pHs ligeramente menos alcalinos en el tiempo.

5.2 Resultados Inferenciales

Se efectuó el análisis comparativo de los parámetros de estudio en las configuraciones de tratamiento propuestas, según lo detallado en el ítem 4.6. Análisis y procesamiento de datos a través del análisis de varianza.

A continuación, se detalla el análisis estadístico aplicado por cada parámetro de estudio.

5.2.1 Análisis Comparativo de los Coliformes Fecales (CF)

a) Prueba de Normalidad

Debido a que las unidades experimentales son menores de 50, se utilizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilk, tal como se muestra en la Tabla 5.5.

Se determinan las hipótesis estadísticas de la presente prueba:

- ✓ H_0 : Las mediciones de CF tienen distribución normal
- ✓ H_1 : Las mediciones de CF son distintas a la distribución normal

Si la significancia es mayor a 0.05 se acepta la hipótesis nula (H_0).

Tabla 5.5.

Prueba de Normalidad Shapiro Wilk

	Configuración de tratamiento	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Remoción de Coliformes Fecales	AGT-S	0.485	10	0.000
	AGT-A	0.485	10	0.000
	AGT-N	0.485	10	0.000

Como las significancias (p-valor) en las tres configuraciones de tratamiento propuestas son menores a 0.05, se debe rechazar H_0 , resultando que las mediciones de CF son distintas a la distribución normal, por ende, las pruebas estadísticas que deben emplearse en el grupo de datos son las no paramétricas (H de Kruskal-Wallis).

b) Análisis de la Varianza (H de Kruskal-Wallis)

El presente análisis pretende comparar los resultados de las tres configuraciones de tratamiento propuestas para poder identificar

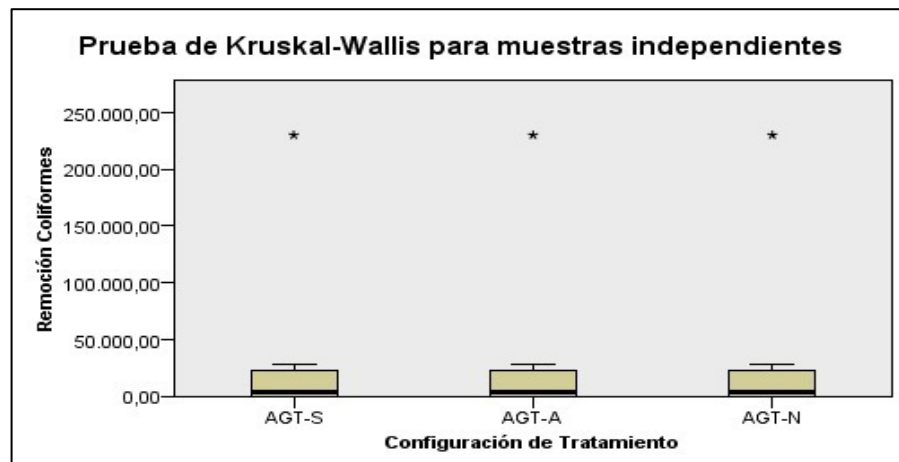
si existen diferencias significativas entre ellos, por lo cual se plantea las siguientes hipótesis estadísticas:

- ✓ H₀: Las tres configuraciones de tratamiento propuestas tienen el mismo efecto en la remoción de CF en las AG tratadas.
- ✓ H₁: Las tres configuraciones de tratamiento propuestas no tienen el mismo efecto en la remoción de CF en las AG tratadas, al menos un tratamiento posee efecto distinto.

Si la significancia es mayor a 0.05 se acepta la hipótesis nula (H₀).

Figura 5.5.

Diagrama de Cajas de la Prueba de Kruskal-Wallis



N total en tres configuraciones	30
Estadístico de contraste	,000
Grados de Libertal	2
Sig. Asintótica (prueba literal)	1,000

En la figura anterior se puede observar la comparación de la remoción de CF por cada configuración de tratamiento. Los límites de las cajas representan los valores mínimos y máximos, la altura de la caja representa la dispersión de los valores y el asterisco expresa el pico máximo de remoción. La horizontal negra dentro de la caja representa la mediana de la remoción de CF de cada configuración de tratamiento.

Como se aprecia en la Tabla 5.6, la significancia (p-valor) del análisis de la varianza es 1, resultando mayor a 0.05, por lo que se debe aceptar H_0 , determinando que estadísticamente las tres configuraciones de tratamiento propuestas tienen el mismo efecto en la remoción de CF en las aguas tratadas.

Tabla 5.6.

Resumen de la de la Prueba de Kruskal-Wallis

Resumen de prueba de hipótesis				
	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de Remoción Coliformes es la misma entre las categorías de Configuración de Tratamiento.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	1,000	Retener la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.

5.2.2 Análisis Comparativo de la DBO_5

a) Prueba de Normalidad

Debido a que las unidades experimentales son menores de 50, se utilizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilk, tal como se muestra en la Tabla 5.7.

Se determinan las hipótesis estadísticas de la prueba presente:

- ✓ H_0 : Las mediciones de DBO_5 tienen distribución normal
- ✓ H_1 : Las mediciones de DBO_5 son distintas a la distribución normal

Si la significancia es mayor a 0.05 se acepta la hipótesis nula (H_0).

Tabla 5.7.

Prueba de Normalidad Shapiro Wilk

	Configuración de tratamiento	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Remoción de DBO_5	AGT-S	0.868	10	0.093
	AGT-A	0.869	10	0.097
	AGT-N	0.868	10	0.094

Como las significancias (p-valor) en las tres configuraciones de tratamiento propuestas son mayores a 0.05, se debe aceptar H_0 , resultando que las mediciones de DBO_5 presentan distribución normal, por ende, las pruebas estadísticas que deben emplearse en el grupo de datos son paramétricas (ANOVA).

b) Análisis de la Varianza (ANOVA)

Antes de realizar la prueba estadística de la ANOVA, se debe demostrar que los datos presentan homocedasticidad, homogeneidad de varianza, por ello se aplica la “prueba de igualdad de Levene”. Para esta prueba se plantean las siguientes hipótesis:

- ✓ H_0 : La varianza del error en las tres configuraciones de tratamiento propuestas son iguales
- ✓ H_1 : La varianza del error en las tres configuraciones de tratamiento propuestas no son iguales

Si la significancia es mayor a 0.05 se acepta la hipótesis nula (H_0).

Tabla 5.8.

Prueba de homogeneidad de varianzas

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Remoción de DBO_5	Se basa en la media	0.000	2	27	1.000
	Se basa en la mediana	0.000	2	27	1.000
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0.000	2	26.998	1.000
	Se basa en la media recortada	0.000	2	27	1.000

La significancia (p-valor) de la prueba es de 1 para las tres configuraciones de tratamiento, resultando mayor a 0.05, entonces se debe aceptar H_0 , determinando que estadísticamente las tres configuraciones de tratamiento poseen igual variabilidad, y por ende pueden compararse mediante el ANOVA.

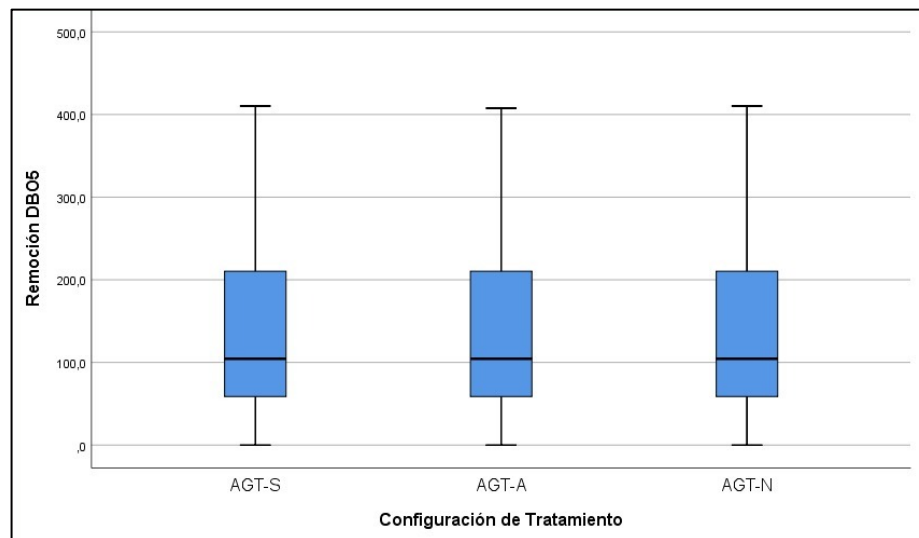
El ANOVA pretende comparar los resultados de las tres configuraciones de tratamiento propuestas para poder identificar si existen diferencias significativas entre ellos, por lo cual se plantea las siguientes hipótesis estadísticas:

- ✓ H_0 : Las tres configuraciones de tratamiento propuestas tienen el mismo efecto en la remoción de DBO_5 en las AG tratadas.
- ✓ H_1 : Las tres configuraciones de tratamiento propuestas no tienen el mismo efecto en la remoción de DBO_5 en las AG tratadas, al menos un tratamiento posee efecto distinto.

Si la significancia es mayor a 0.05 se acepta la hipótesis nula (H_0).

Figura 5.6.

Diagrama de Cajas de comparación de medias



En la Figura 5.6 se puede observar la comparación de la remoción de DBO_5 por cada configuración de tratamiento. Los límites de las cajas representan los valores mínimos y máximos, la altura de la caja representa la dispersión de los valores. La horizontal negra dentro de la caja representa la media de la remoción de DBO_5 de cada configuración de tratamiento.

En la Tabla 5.9 se muestra que la significancia (p-valor) del análisis de la varianza es 1, resultando mayor a 0.05, por lo que se debe aceptar H_0 , determinando que estadísticamente las tres configuraciones de tratamiento propuestas tienen el mismo efecto en la remoción de DBO_5 en las aguas tratadas.

Tabla 5.9.

Análisis de Varianza ANOVA

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1.361	2	0.680	0.000	1.000
Dentro de grupos	479124.109	27	17745.337		
Total	479125.470	29			

5.2.3 Análisis Comparativo de la Turbiedad

a) Prueba de Normalidad

Debido a que las unidades experimentales son menores de 50, se utilizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilk, tal como se muestra en la Tabla 5.10.

Se determinan las hipótesis estadísticas de la prueba presente:

- ✓ H_0 : Las mediciones de la turbiedad tienen distribución normal
- ✓ H_1 : Las mediciones de la turbiedad son distintas a la distribución normal

Si la significancia es mayor a 0.05 se acepta la hipótesis nula (H_0).

Tabla 5.10.

Prueba de Normalidad Shapiro Wilk

	Configuración de tratamiento	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Remoción de Turbiedad	AGT-S	0.943	10	0.583
	AGT-A	0.942	10	0.581
	AGT-N	0.942	10	0.577

Como las significancias (p-valor) en las tres configuraciones de tratamiento propuestas son mayores a 0.05, por lo que se debe aceptar H_0 , resultando que las mediciones de turbiedad presentan distribución normal, por ende, las pruebas estadísticas que deben emplearse en el grupo de datos son paramétricas (ANOVA).

b) Análisis de la Varianza (ANOVA)

Antes de realizar la prueba estadística de la ANOVA, se debe demostrar que los datos presentan homocedasticidad, homogeneidad de varianza, por ello se aplica la “prueba de igualdad de Levene”

Para esta prueba se plantea las siguientes hipótesis:

- ✓ H_0 : La varianza del error en las tres configuraciones de tratamiento propuestas son iguales
- ✓ H_1 : La varianza del error en las tres configuraciones de tratamiento propuestas no son iguales

Si la significancia es mayor a 0.05 se acepta la hipótesis nula (H_0).

Tabla 5.11.

Prueba de homogeneidad de varianzas

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Remoción de Turbiedad	Se basa en la media	0.000	2	27	1.000
	Se basa en la mediana	0.000	2	27	1.000
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0.000	2	26.999	1.000
	Se basa en la media recortada	0.000	2	27	1.000

La significancia (p-valor) de la prueba es de 1 para las tres configuraciones de tratamiento, resultando mayor a 0.05, entonces se debe aceptar H_0 , determinando que estadísticamente los tres tratamientos poseen igual variabilidad, y por ende pueden compararse mediante el ANOVA.

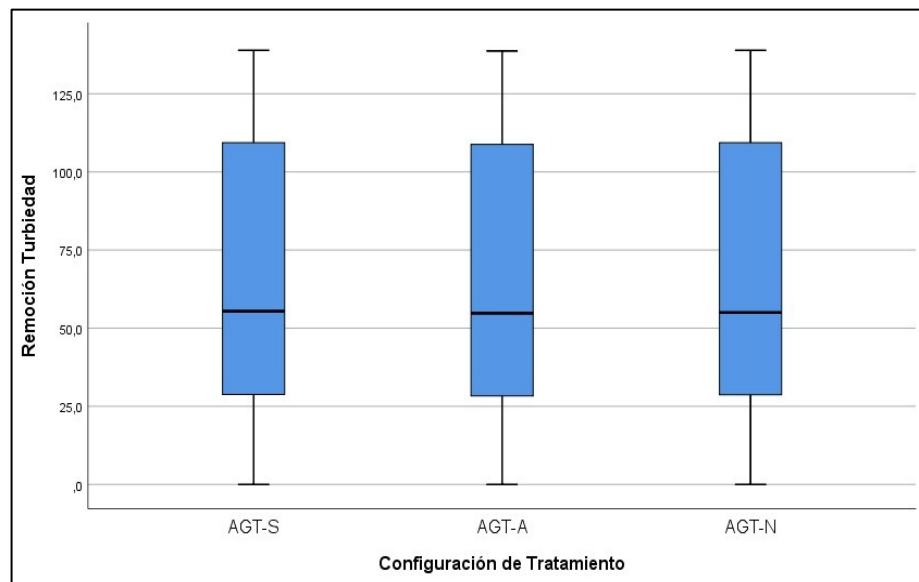
El ANOVA pretende comparar los resultados de las tres configuraciones de tratamiento propuestas para poder identificar si existen diferencias significativas entre ellos, por ello se plantea las siguientes hipótesis estadísticas:

- ✓ H_0 : Las tres configuraciones de tratamiento propuestas tienen el mismo efecto en la remoción de la turbiedad en las aguas grises.
- ✓ H_1 : Las tres configuraciones de tratamiento propuestas no tienen el mismo efecto en la remoción de la turbiedad en las AG tratadas, al menos un tratamiento posee efecto distinto.

Si la significancia es mayor a 0.05 se acepta la hipótesis nula (H_0).

Figura 5.7.

Diagrama de Cajas de comparación de medias



En la figura anterior se puede observar la comparación de la remoción de la turbiedad por cada configuración de tratamiento. Los límites de las cajas representan los valores mínimos y máximos, la altura de la caja representa la dispersión de los valores.

La horizontal negra dentro de la caja representa la media de la remoción de la turbiedad de cada configuración de tratamiento.

Tabla 5.12.*Análisis de Varianza ANOVA*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1.208	2	0.604	0.000	1.000
Dentro de grupos	58213.107	27	2156.041		
Total	58214.315	29			

Como la significancia (p-valor) del análisis de la varianza es 1, resultando mayor a 0.05, se debe aceptar H_0 , determinando que estadísticamente las tres configuraciones de tratamiento propuestas tienen el mismo efecto en la remoción de la turbiedad en las aguas tratadas.

5.2.4 Análisis Comparativo de pH

a) Prueba de Normalidad

Debido a que las unidades experimentales son menores de 50, se utilizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilk, tal como se muestra en la Tabla 5.13.

Se determinan las hipótesis estadísticas de la prueba presente:

- ✓ H_0 : Las mediciones de pH tienen distribución normal
- ✓ H_1 : Las mediciones de pH son distintas a la distribución normal

Si la significancia es mayor a 0.05 se acepta la hipótesis nula (H_0).

Tabla 5.13.*Prueba de Normalidad Shapiro Wilk*

	Configuración de tratamiento	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Variación de pH	AGT-S	0.848	10	0.055
	AGT-A	0.366	10	0.000
	AGT-N	0.794	10	0.012

Como las significancias (p-valor) en dos de las tres configuraciones de tratamiento propuestas son menores a 0.05, se debe rechazar H_0 , resultando que las mediciones de pH son distintas a la distribución normal para AGT-A y AGT-N, por ende, las pruebas estadísticas que deben emplearse en este grupo de datos son las no paramétricas (H de Kruskal-Wallis).

b) Análisis de la Varianza (H de Kruskal-Wallis)

El presente análisis pretende comparar los resultados de las tres configuraciones de tratamiento propuestas para poder identificar si existen diferencias significativas entre ellos, por lo cual se plantea las siguientes hipótesis estadísticas:

- ✓ H_0 : Las tres configuraciones de tratamiento propuestas tienen el mismo efecto en la variación de pH en las aguas tratadas.
- ✓ H_1 : Las tres configuraciones de tratamiento propuestas no tienen el mismo efecto en la variación de pH en las aguas tratadas, al menos un tratamiento posee efecto distinto.

Si la significancia es mayor a 0.05 se acepta la hipótesis nula (H_0).

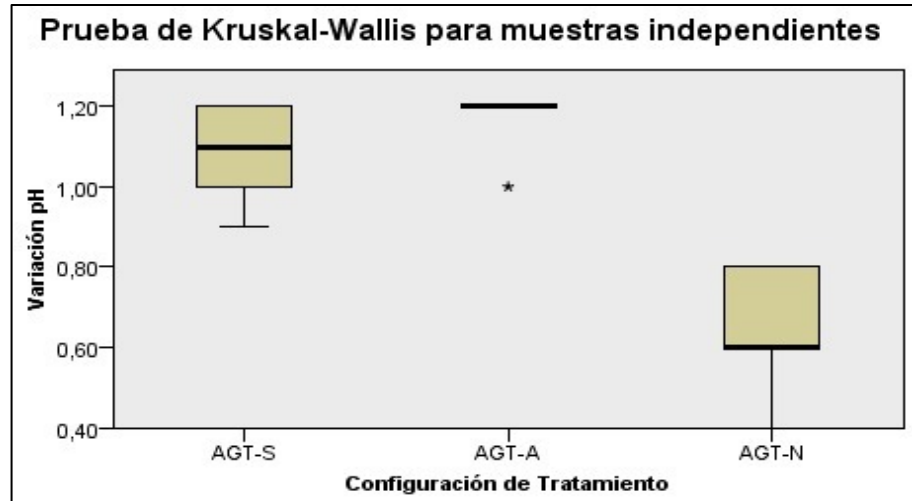
En la Figura 5.8, se puede observar la comparación de la variación de pH por cada configuración de tratamiento, donde los límites de las cajas representan los valores mínimos y máximos, la altura de la caja representa la dispersión de los valores y el asterisco expresa el pico mínimo de remoción. La horizontal negra dentro de la caja representa la mediana de la variación de pH de cada configuración de tratamiento.

Asimismo, en la Tabla 5.14, se muestra que la significancia (p-valor) del análisis de la varianza es 0, resultando menor a 0.05, por lo que se debe rechazar H_0 , determinando que estadísticamente por lo menos una de las tres configuraciones de tratamiento propuestas tienen un efecto distinto en la

variación de pH en las aguas tratadas. Adicionalmente, se realiza un análisis de comparación entre parejas para determinar cuál de las tres configuraciones de tratamiento es la que tiene un efecto distinto, lo cual puede apreciarse en la Figura 5.9.

Figura 5.8.

Diagrama de Cajas de la Prueba de Kruskal-Wallis



N total en tres configuraciones	30
Estadístico de contraste	23,270
Grados de Libertal	2
Sig. Asintótica (prueba literal)	,000

Tabla 5.14.

Resumen de la Prueba de Kruskal-Wallis

Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de Variación pH es la misma entre las categorías de Configuración de Tratamiento.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,000	Rechazar la hipótesis nula.

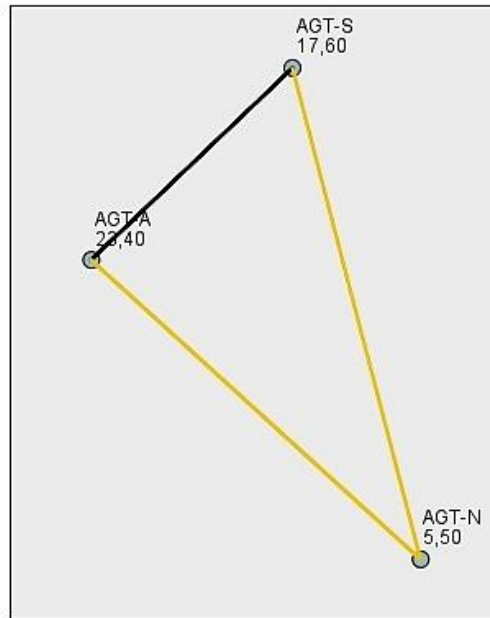
Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.

En la Figura 5.9, las líneas negras representan diferencias no significativas y las líneas amarillas representan diferencias significativas; por ende, se visualiza que el tratamiento AGT-N

es el que posee diferencias significativas respecto a las otras dos configuraciones de tratamiento (AGT-S y AGT-A). De lo cual se puede inferir que el tratamiento AGT-N muestra un efecto distinto en la variación de pH, a comparación de las otras dos configuraciones de tratamiento.

Figura 5.9.

Gráfico de Nodos para la Comparación entre Parejas



Cada nodo muestra el rango promedio de muestras de Configuración de Tratamiento.

Muestra 1-Muestra 2	Estadístico de contraste	Error Error	Desv. Estadístico de contraste	Sig.	Sig. ajust.
AGT-N-AGT-S	12,100	3,787	3,196	,001	,004
AGT-N-AGT-A	17,900	3,787	4,727	,000	,000
AGT-S-AGT-A	-5,800	3,787	-1,532	,126	,377

Cada fila prueba la hipótesis nula de que las distribuciones de la Muestra 1 y la Muestra 2 son las mismas. Se muestran las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es ,05.

5.2.5 Eficiencias de remoción por configuración de tratamiento

En la Tabla 5.15 se muestran las eficiencias de remoción de las configuraciones de tratamiento propuestas para los parámetros establecidos (Coliformes Fecales, DBO₅ y Turbiedad).

Tabla 5.15.

Eficiencia de Remoción de las Configuraciones de Tratamiento Propuestas por Parámetros Establecidos

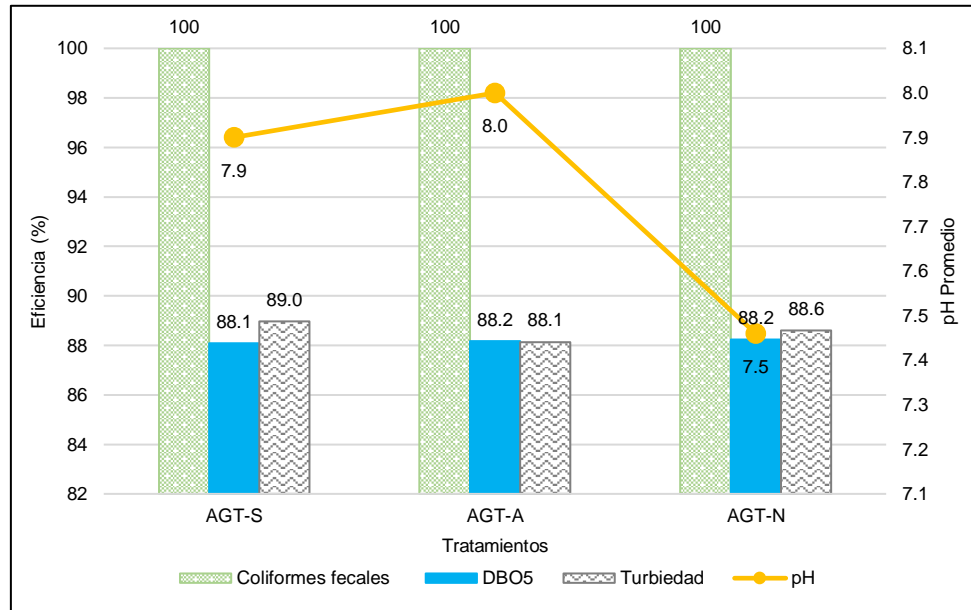
Semanas de la etapa de tratamiento	EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%)								
	Coliformes fecales			Demanda Bioquímica de Oxígeno			Turbiedad		
	AGT-S	AGT-A	AGT-N	AGT-S	AGT-A	AGT-N	AGT-S	AGT-A	AGT-N
1	100	100	100	98.1	98.1	98.1	97.3	96.0	96.8
2	100	100	100	98.9	99.5	99.5	99.2	99.1	99.2
3	100	100	100	99.1	99.1	99.1	99.8	98.3	98.6
4	100	100	100	98.8	99.1	99.4	99.4	98.9	99.4
5	100	100	100	0.0	0.0	0.0	99.5	98.4	99.3
6	100	100	100	96.1	96.1	96.1	99.1	98.3	99.1
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	100	100	100	97.5	97.5	97.5	99.2	98.6	99.2
10	100	100	100	96.7	96.7	96.7	98.6	97.0	98.2
11	100	100	100	97.6	97.4	97.9	0.0	0.0	0.0
12	100	100	100	98.2	98.2	98.2	97.7	96.7	96.4
Promedio	100	100	100	88.1	88.2	88.2	89.0	88.1	88.6

Nota. AGST, aguas grises sin tratamiento; AGT-S, aguas grises tratadas sin especie; AGT-A, aguas grises tratadas con *Aptenia cordifolia*; AGT-N, aguas grises tratadas con *Nephrolepis obliterata*.

La Figura 5.10 muestra la comparativa de los promedios de las eficiencias de remoción (%) por cada configuración de tratamiento propuesto, donde se aprecia que las barras y el eje izquierdo representan el promedio de las eficiencias de remoción de los parámetros establecidos representados en porcentaje; observándose que para CF los tres tratamientos presentan un 100% de remoción. Además, para la DBO₅ las configuraciones de tratamiento con especies (AGT-A y AGT-N) en promedio remediaron 0.1% más que la configuración de tratamiento AGT-S. También se observa que para la turbiedad en promedio la configuración de tratamiento AGT-S remedia ligeramente más que las otras dos configuraciones de tratamiento.

Figura 5.10.

Comparativa de los promedios de las eficiencias de remoción (%) por cada configuración de tratamiento propuesto



Nota. AGT-S, aguas grises tratadas sin especie; AGT-A, aguas grises tratadas con *Aptenia cordifolia*; AGT-N, aguas grises tratadas con *Nephrolepis obliterata*.

El pH promedio es representado por la línea naranja, observándose que las configuraciones de tratamiento AGT-S y AGT-A presentan el valor de pH ligeramente más alcalinos a comparación de la configuración de tratamiento AGT-N.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

En la presente investigación se tomó como referencia la norma US EPA para el riego de parques, campos deportivos, zonas verdes y otros usos, a fin de determinar si las especies utilizadas en el Sistema de Paredes Verdes propuesto para el tratamiento de aguas grises son efectivas.

Los valores reportados en los efluentes de las tres configuraciones de tratamiento propuestas en el Sistema de Paredes Verdes (AGT-S, AGT-A y AGT-N) cumplen con la normativa antes mencionada para los parámetros de estudio establecidos: coliformes fecales (CF), DBO₅, turbiedad y pH; tal como se observa en las tablas 5.2, 5.3 y 5.4. Evidenciándose así que las tres configuraciones de tratamiento propuestas son efectivas para el tratamiento de aguas grises; por lo que, se demuestra la hipótesis general de la presente investigación, debido a que ambas especies (*Aptenia cordifolia* y *Nephrolepis obliterata*) no presentan diferencias significativas y son igual de efectivas.

Además, se obtuvieron los siguientes resultados por cada parámetro analizado:

6.1.1 Coliformes Fecales (CF)

Para CF se reportó 100% de eficiencia de remoción para las tres configuraciones de tratamiento propuestas (AGT-S, AGT-A y AGT-N), tal como se muestra en la Tabla 5.15.

Además, según el análisis de varianza mediante la prueba estadística de H de Kruskal-Wallis (ver Tabla 5.6), se demuestra que estadísticamente no existen diferencias significativas entre las tres configuraciones de tratamiento propuestas; por lo cual se infiere que las especies *Aptenia cordifolia* y *Nephrolepis obliterata* son igual de efectivas en la remoción de CF en el tratamiento de aguas grises

mediante un Sistema de Paredes Verdes. No pudiéndose demostrar la hipótesis específica de la presente investigación.

Cabe señalar que, en la etapa tratamiento se aplicó el proceso de desinfección mediante cloración, que aseguró la remoción total de CF en las aguas tratadas de cada una de las tres configuraciones de tratamiento; no siendo posible apreciar el efecto neto de remoción de cada especie de planta ornamental empleada.

6.1.2 DBO₅

Para DBO₅ se reportó eficiencias mayores al 96.1% para las tres configuraciones de tratamiento propuestas (AGT-S, AGT-A y AGT-N), con picos de remoción del 99.1% para las mismas (ver Tabla 5.15).

Según el análisis realizado de la Figura 5.2, se observa que la configuración de tratamiento AGT-N presenta los valores ligeramente más bajos (2 mg/L) en el tiempo que duró la etapa de tratamiento; sin embargo, la diferencia con las otras configuraciones de tratamientos no supera los 3 mg/L.

Además, de acuerdo al análisis de varianza mediante la prueba estadística de ANOVA (ver Tabla 5.9), se demuestra que estadísticamente no existen diferencias significativas entre las tres configuraciones de tratamiento propuestas; por lo cual se infiere que las especies *Aptenia cordifolia* y *Nephrolepis obliterata* son igual de efectivas en la remoción de DBO₅ en el tratamiento de aguas grises mediante un Sistema de Paredes Verdes. No pudiéndose demostrar la hipótesis específica de la presente investigación para este parámetro.

Cabe mencionar que, la inexistencia de diferencias significativas en la efectividad de remoción de DBO₅, entre las especies *Aptenia Cordifolia* y *Nephrolepis obliterata*, podría deberse al corto tiempo de interacción de las aguas grises con las raíces de las especies de

plantas ornamentales y el sustrato, así como con los microorganismos asociados a estos; además, del diseño de regadío empleado (riego por goteo) y la posible alta velocidad de infiltración de las aguas grises en el sustrato.

6.1.3 Turbiedad

Para la turbiedad se reportó eficiencias mayores al 96.4% para las tres configuraciones de tratamiento propuestas (AGT-S, AGT-A y AGT-N), con picos de remoción del 99.5% para AGT-S, 99.8% para AGT-A y 99.1% para AGT-N (ver Tabla 5.15).

Según el análisis realizado de la Figura 5.3, se observa que la configuración de tratamiento AGT-S, presenta los valores ligeramente más bajos en el tiempo respecto a las otras dos configuraciones de tratamiento; sin embargo, la diferencia con las otras configuraciones de tratamiento no supera el valor de 1 NTU. Además, de acuerdo con el análisis de varianza mediante la prueba estadística de ANOVA (ver Tabla 5.12), se demuestra que estadísticamente no existen diferencias significativas entre las tres configuraciones de tratamiento propuestas; por lo cual se infiere que las especies *Aptenia cordifolia* y *Nephrolepis obliterata* son igual de efectivas en la remoción de la turbiedad en el tratamiento de aguas grises mediante un Sistema de Paredes Verdes. No pudiéndose demostrar la hipótesis específica de la presente investigación para este parámetro.

Cabe señalar que, los valores ligeramente más altos en las configuraciones de tratamiento AGT-A y AGT-N, pudieron deberse a que, en dichas configuraciones de tratamiento se presentó internamente cierto grado de descomposición, tanto de las raíces como de las hojas caídas en el sustrato, lo cual provocó un ligero aumento de los sólidos suspendidos en las aguas tratadas, que finalmente se traduce en un ligero incremento de la turbiedad.

6.1.4 pH

Según el análisis realizado de la Figura 5.4, se observa que las tres configuraciones de tratamiento presentaron valores de pH entre 7.4 – 8, observándose que la configuración de tratamiento AGT-N presenta los valores ligeramente menos alcalinos (7.5 aprox.) respecto a los resultados obtenidos de las configuraciones de tratamiento AGT-S (7.9 aprox.) y AGT-A (8); sin embargo, esta diferencia no supera la variación de 1.

Además, según el análisis de varianza mediante la prueba estadística de H de Kruskal-Wallis (ver Tabla 5.14), se demuestra que estadísticamente sí existen diferencias significativas entre las tres configuraciones de tratamiento propuestas; observándose que la configuración de tratamiento AGT-N posee efectos distintos respecto a las configuraciones de tratamiento AGT-S y AGT-A, según se observa en la Figura 5.10.

Se puede inferir de lo antes descrito que para la variación de pH, la configuración de tratamiento AGT-N tiene efectos diferentes que la configuración de tratamiento AGT-S y la configuración de tratamiento AGT-A; no obstante, los valores obtenidos de las tres configuraciones de tratamiento se encuentran dentro del rango de pH óptimo (6.5 – 8.5), de acuerdo con Bejarano & Escobar (2015), quienes indican que dicho rango asegura la existencia de la mayoría de la vida biológica en diferentes procesos de tratamiento de aguas residuales domésticas. No pudiéndose demostrar la hipótesis específica de la presente investigación para este parámetro.

6.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares

La presente investigación reportó eficiencias de remoción del 100% para los Coliformes Fecales (CF) en sus tres configuraciones de tratamiento (AGT-S, AGT-A y AGT-N); valores superiores a los reportados por Prodanovic et al. (2018), en cuya investigación se evidenció eficiencias entre 50% – 90% para sistemas de paredes verdes sin plantas. Datos

parecidos también reportó Boano et al. (2021), con eficiencias mayores al 98%.

Las diferencias antes descritas para la eficiencia de remoción se deben a que los autores antes mencionados no realizaron procesos de desinfección posterior al tratamiento por Sistema de Paredes Verdes, siendo en la presente investigación un proceso fundamental para asegurar calidades de aguas tratadas que cumplan con la norma US EPA.

Además, Lakho et al. (2022) reportó eficiencias promedio de remoción del 95% para la DBO_5 en un Sistema de Paredes Verdes empleando un sustrato compuesto por lava (50 %), tierra orgánica (25%) y biocarbón (25%); datos parecidos se reportaron en la presente investigación, obteniendo eficiencias mayores al 96% para las tres configuraciones de tratamiento, utilizando como sustrato a la perlita y fibra de coco (en relación de 1:2), con eficiencias máximas de 99% para las tres configuraciones de tratamiento propuestas. En contraposición, se reportaron eficiencias máximas de 65.7% en tratamientos mediante Sistema de Paredes Verdes empleando *Cyperus rufus* con un sustrato de fibra de coco & perlita en proporción de 3:1 (Tavera Oliveros, 2019). La diferencia con el autor antes mencionado podría ser causada por la variación en el diseño de Sistema de Paredes Verdes, siendo para este autor un diseño de columnas verticales de tubería PVC, y para la presente investigación un diseño de macetas verticales en secuencia.

Convers Contreras (2019) en su investigación sobre el tratamiento de aguas grises con Sistema de Paredes Verdes de diseño de columnas verticales de tubería PVC, reportó eficiencias de remoción máximas de turbiedad del 79% con la especie *Canna indica* y sustrato fibra de coco & perlita en relación de 3:1. En contraposición, la presente investigación reportó eficiencias mayores al 96% con un diseño de macetas verticales en secuencia, empleando como sustrato a la perlita & fibra de coco (en proporción de 1:2). Esto puede deberse a que la fibra de coco aumenta el

color en el efluente (Tavera Oliveros, 2019), lo cual afecta a su vez a los resultados de turbiedad obtenidos.

Finalmente, cabe resaltar que el rango de pH de las tres configuraciones de tratamiento propuestas se mantuvo dentro de los parámetros establecidos por la US EPA ($6 < \text{pH} < 9$), con rangos que oscilaban entre 7.4 - 8, demostrando tener en promedio pHs ligeramente alcalinos.

Lo anterior concuerda con lo reportado por Boano et al. (2021), cuyas aguas grises tratadas con Sistema de Paredes Verdes presentaban en promedio valores de pHs ligeramente alcalinos de 7.35 ± 0.31 para todos sus tratamientos. En contraposición, otros autores presentaron pHs ligeramente ácidos de 6.83 (Fowdar et al., 2017) y rangos desde 4.47 a 7.30 (Ángel Palomino, 2019).

6.3 Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes

Los autores de la investigación se responsabilizan por la información emitida en el presente trabajo de tesis, la cual ha sido consignada respetando los principios éticos establecidos en el Reglamento del Código de Ética de la Investigación, de la Universidad Nacional del Callao, según Resolución de Consejo Universitario N° 260-2019-CU.

CONCLUSIONES

- Las configuraciones de tratamiento AGT-S, AGT-A y AGT-N, empleadas en el Sistema de Paredes Verdes, mostraron excelentes eficiencias de remoción de Coliformes Fecales (100%), DBO₅ (> 96.1%) y Turbiedad (> 96.4%), así como valores óptimos de pH (7.4 – 8); cumpliendo además con la calidad requerida por la US EPA para el riego de parques, campos deportivos, zonas verdes y otros usos; aceptándose la hipótesis general de la presente investigación, la cual señala que las especies *Aptenia cordifolia* y *Nephrolepis obliterated*, en un Sistema de Paredes Verdes, son efectivas para el tratamiento de aguas grises.
- Las configuraciones de tratamiento AGT-A y AGT-N presentaron excelentes eficiencias de remoción de Coliformes Fecales, DBO₅ y Turbiedad, así como valores óptimos de pH, siendo las especies *Aptenia Cordifolia* y *Nephrolepis obliterated* igual de efectivas para el tratamiento de aguas grises en un Sistema de Paredes Verdes; por lo que, se rechaza la hipótesis específica de la presente investigación, la cual señala que la especie *Aptenia cordifolia* es más efectiva que la especie *Nephrolepis obliterated*, en el tratamiento de aguas grises.

RECOMENDACIONES

- Evaluar el grado de influencia del proceso de desinfección (cloración) sobre la remoción de coliformes fecales en el tratamiento de aguas grises, utilizando las especies *Aptenia cordifolia* y *Nephrolepis obliterated*, en un Sistema de Paredes Verdes.
- Analizar el efecto de remoción de contaminantes en el tratamiento de aguas grises, utilizando las especies *Aptenia cordifolia* y *Nephrolepis obliterated* mediante un Sistema de Paredes Verdes, en diferentes estaciones del año.
- Evaluar el efecto de remoción de contaminantes en el tratamiento de aguas grises, utilizando las especies *Aptenia cordifolia* y *Nephrolepis obliterated* mediante un Sistema de Paredes Verdes, durante periodos de tiempo más prolongados.
- Probar diferentes proporciones de perlita y fibra de coco, como sustrato para las especies *Aptenia cordifolia* y *Nephrolepis obliterated*, en un Sistema de Paredes Verdes para el tratamiento de aguas grises.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Addo-Bankas, O., Zhao, Y., Vymazal, J., Yuan, Y., Fu, J., & Wei, T. (2021). Green walls: A form of constructed wetland in green buildings. *Ecological Engineering*, 169, 106321. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106321>
- Adegun, O. B., Ikudayisi, A. E., Morakinyo, T. E., & Olusoga, O. O. (2021). Urban green infrastructure in Nigeria: A review. *Scientific African*, 14, e01044. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e01044>
- Al-Jayyousi, O. R. (2003). Greywater reuse: towards sustainable water management. *Desalination*, 156(1–3), 181–192. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(03\)00340-0](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(03)00340-0)
- Allen, L., Christian-Smith, J., & Palaniappan, M. (2010). Overview of greywater reuse: the potential of greywater systems to aid sustainable water management. *Pacific Institute*, 654(1), 19–21.
- Alsulaili, A. D., & Hamoda, M. F. (2015). Quantification and characterization of greywater from schools. *Water Science and Technology*, 72(11), 1973–1980. <https://doi.org/10.2166/wst.2015.408>
- Altamira Santiago, A. (2014). Evaluación de mezclas de sustratos alternativos en la producción de plántula de lechuga *Lactuca sativa* L. complementadas con biosólidos diamónico.
- American Public Health Association (APHA);, American Water Works Association(AWWA);, & Water Environment Federation (WEF). (2017). Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association.
- ANA (Autoridad Nacional del Agua). (2018). 8° FORO MUNDIAL DEL AGUA Brasilia 2018: Compartiendo Agua. Informe Perú. Lima, Perú: Autoridad Nacional del Agua.
- Ángel Palomino, J. R. (2019). Evaluación del potencial de tratamiento de aguas grises domésticas con sustratos orgánicos y plantas utilizadas comercialmente en paredes verdes.

- Ascione, F., De Masi, R. F., Mastellone, M., Ruggiero, S., & Vanoli, G. P. (2020). Green Walls, a Critical Review: Knowledge Gaps, Design Parameters, Thermal Performances and Multi-Criteria Design Approaches. *Energies*, 13(9), 2296. <https://doi.org/10.3390/en13092296>
- Bakare, B. F., Mtsweni, S., & Rathilal, S. (2017). Characteristics of greywater from different sources within households in a community in Durban, South Africa. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 7(4), 520–528. <https://doi.org/10.2166/wrd.2016.092>
- Bauxali S. Carlos, Aguilar O. José M. (2000). Cultivo sin suelo de hortalizas. Aspectos prácticos y experiencias.
- Bejarano Novoa, M. E., & Escobar Carvajal, M. (2015). Eficiencia del uso de microorganismos para el tratamiento de aguas residuales domésticas en una planta de tratamiento de agua residual.
- Benami, M., Gillor, O., & Gross, A. (2016). Potential Health and Environmental Risks Associated with Onsite Greywater Reuse: A Review. *Built Environment*, 42(2), 212–229. <https://doi.org/10.2148/benv.42.2.212>
- Bendicho, C., & Lavilla, I. (2017). Sewage ☆. In Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.11519-7>
- Besir, A. B., & Cuce, E. (2018). Green roofs and facades: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 915–939. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.106>
- Boano, F., Caruso, A., Costamagna, E., Ridolfi, L., Fiore, S., Demichelis, F., ... Masi, F. (2020). A review of nature-based solutions for greywater treatment: Applications, hydraulic design, and environmental benefits. *Science of The Total Environment*, 711, 134731. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134731>
- Boano, F., Costamagna, E., Caruso, A., Fiore, S., Chiappero, M., Galvão, A., ... Masi, F. (2021). Evaluation of the influence of filter medium composition on treatment performances in an open-air green wall fed with greywater. *Journal*

- of Environmental Management, 300, 113646.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113646>
- Boyjoo, Y., Pareek, V. K., & Ang, M. (2013). A review of greywater characteristics and treatment processes. *Water Science and Technology*, 67(7), 1403–1424.
- Brain, R., Lynch, J., & Kopp, K. (2015). *Defining Terms: Greywater, Blackwater and Clearwater*.
- Castellar da Cunha, J. A., Arias, C. A., Carvalho, P., Rysulova, M., Montserrat Canals, J., Pérez Luque, G., ... Farreras, J. (2018). WETWALL-an innovative design concept for the treatment of wastewater at an urban scale. *Desalination And Water Treatment*, 2018, Vol. 109, p. 205-220.
- Cela, J., Arrom, L., & Munné-Bosch, S. (2009). Diurnal changes in photosystem II photochemistry, photoprotective compounds and stress-related phytohormones in the CAM plant, *Aptenia cordifolia*. *Plant Science*, 177(5), 404–410. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2009.07.001>
- Chripim, M. C., & Nolasco, M. A. (2017). Greywater treatment using a moving bed biofilm reactor at a university campus in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 142, 290–296. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.162>
- Convers Contreras, B. A. (2019). Evaluación del tratamiento de aguas grises domésticas por medio de paredes verdes con diferentes configuraciones de especies y sustratos.
- De Ville, N., Le, H. M., Schmidt, L., & Verbanck, M. A. (2017). Data-mining analysis of in-sewer infiltration patterns: seasonal characteristics of clear water seepage into Brussels main sewers. *Urban Water Journal*, 14(10), 1090–1096.
- DellaGreca, M., Di Marino, C., Previtiera, L., Purcaro, R., & Zarrelli, A. (2005). Apteniols A–F, oxynolignans from the leaves of *Aptenia cordifolia*. *Tetrahedron*, 61(50), 11924–11929. <https://doi.org/10.1016/j.tet.2005.09.054>
- DellaGreca, M., Previtiera, L., Purcaro, R., & Zarrelli, A. (2006). Cinnamic acid

- amides and lignanamides from *Aptenia cordifolia*. *Tetrahedron*, 62(12), 2877–2882. <https://doi.org/10.1016/j.tet.2006.01.019>
- Ding, A., Liang, H., Li, G., Szivak, I., Traber, J., & Pronk, W. (2017). A low energy gravity-driven membrane bioreactor system for grey water treatment: Permeability and removal performance of organics. *Journal of Membrane Science*, 542, 408–417. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2017.08.037>
- Florián M. Pedro, Roca Dolors (2011). *Sustratos para el cultivo sin suelo. Materiales, propiedades y manejo.*
- Fountoulakis, M. S., Markakis, N., Petousi, I., & Manios, T. (2016). Single house on-site grey water treatment using a submerged membrane bioreactor for toilet flushing. *Science of The Total Environment*, 551–552, 706–711. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.057>
- Fowdar, H. S., Hatt, B. E., Breen, P., Cook, P. L. M., & Deletic, A. (2017). Designing living walls for greywater treatment. *Water Research*, 110, 218–232. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.12.018>
- Franco Alvarado, M. V. (2007). *Tratamiento y reutilización de aguas grises con aplicación a caso en Chile.*
- García Morauský, L. R., & Romero Pongo, E. (2016). Estudio de prefactibilidad para la formación de una empresa que preste servicios de instalación de jardines verticales en Lima Metropolitana.
- Garzón-Zúñiga, M. A., Buelna, G., & Moeller-Chávez, G. E. (2012). La biofiltración sobre materiales orgánicos, nueva tecnología sustentable para tratar agua residual en pequeñas comunidades e industrias. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 3(3), 153–161.
- Gattringer, H., Claret, A., Radtke, M., Kissler, J., Zraunig, A., Rodríguez-Roda, I., & Buttiglieri, G. (2016). Novel vertical ecosystem for sustainable water treatment and reuse in tourist resorts. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 11(3), 263–274. <https://doi.org/10.2495/SDP-V11-N3-263-274>
- HENNEQUIN, S., HOVENKAMP, P., CHRISTENHUSZ, M. J. M., &

- SCHNEIDER, H. (2010). Phylogenetics and biogeography of *Nephrolepis* - a tale of old settlers and young tramps. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 164(2), 113–127. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2010.01076.x>
- Henze, M., van Loosdrecht, M. C. M., Ekama, G. A., & Brdjanovic, D. (2008). *Biological wastewater treatment*. IWA publishing.
- Hernández Hipólito, R. A. (2012). *Metodologías de Evaluación, caracterización y programación del riego en sustratos*.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. Sexta Edición. Editorial Mc Graw Hill. México. 2014• Hernández, R. *Metodología de La Investigación*. 6a Edición, Mc Graw Hill, México.
- Hodaifa, G., Paladino, O., Malvis, A., Seyedsalehi, M., & Neviani, M. (2019). Green techniques for wastewaters. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814178-6.00010-8>
- Hovenkamp, P. H., & Miyamoto, F. (2005). A conspectus of the native and naturalized species of *Nephrolepis* (Nephrolepidaceae) in the world. *Blumea-Biodiversity, Evolution and Biogeography of Plants*, 50(2), 279–322.
- Instituto Nacional de Calidad (INACAL). GUÍA PARA LA LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN DE MANOS Y SUPERFICIES. , Pub. L. No. R.D. N° 003-2020-INACAL/DN. (2020).
- Jørgensen, L., Thorup-Kristensen, K., & Dresbøll, D. B. (2018). Against the wall— Root growth and competition in four perennial winter hardy plant species grown in living walls. *Urban Forestry & Urban Greening*, 29, 293–302. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.12.012>
- Lakho, F. H., Qureshi, A., Novelli, L. D. D., Depuydt, V., Depreeuw, T., Van Hulle, S. W. H., & Rousseau, D. P. L. (2022). Performance of a green wall (Total Value Wall™) at high greywater loading rates and Life Cycle Impact Assessment. *Science of The Total Environment*, 821, 153470. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153470>
- Leonard, M., Gilpin, B., Robson, B., & Wall, K. (2016). Field study of the

- composition of greywater and comparison of microbiological indicators of water quality in on-site systems. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(8), 1–16.
- Lewandowski, Z., & Boltz, J. P. (2011). Biofilms in Water and Wastewater Treatment. In *Treatise on Water Science* (pp. 529–570). <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53199-5.00095-6>
- Loh, S. (2008). Living walls—a way to green the built environment. *Environment Design Guide*, 1–7.
- Macaya, C. C., Durán, R. E., Hernández, L., Rodríguez-Castro, L., Barra-Sanhueza, B., Dorochesi, F., & Seeger, M. (2019). Bioremediation of Petroleum. In *Reference Module in Life Sciences*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.20810-8>
- Mahmoudi, A., Mousavi, S. A., & Darvishi, P. (2021). Greywater as a sustainable source for development of green roofs: Characteristics, treatment technologies, reuse, case studies and future developments. *Journal of Environmental Management*, 295, 112991. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112991>
- Maldonado. (2014). UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA “ ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE CHARACATO , METODO IMHOFF ” Tesis presentada por : JOSÉ MALDONADO ESCOBEDO.
- Manso, M., & Castro-Gomes, J. (2015). Green wall systems: A review of their characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 863–871. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.203>
- María Verónica Franco Alvarado. (2007). Tratamiento y reutilización de Aguas Grises con aplicación a caso en Chile. Universidad de Chile.
- Masi, F., Bresciani, R., Rizzo, A., Edathoot, A., Patwardhan, N., Panse, D., & Langergraber, G. (2016). Green walls for greywater treatment and recycling in dense urban areas: a case-study in Pune. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 6(2), 342–347.

<https://doi.org/10.2166/washdev.2016.019>

- Maurya, A., Singh, M. K., & Kumar, S. (2020). Biofiltration technique for removal of waterborne pathogens. In *Waterborne Pathogens* (pp. 123–141). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818783-8.00007-4>
- McCutcheon, S. C., & Jørgensen, S. E. (2008). Phytoremediation. In *Encyclopedia of Ecology* (pp. 568–582). <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63768-0.00069-X>
- Medl, A., Stangl, R., & Florineth, F. (2017). Vertical greening systems – A review on recent technologies and research advancement. *Building and Environment*, 125, 227–239. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.08.054>
- Megharaj, M., Venkateswarlu, K., & Naidu, R. (2014). Bioremediation. In *Encyclopedia of Toxicology* (pp. 485–489). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.01001-0>
- Meral, A., Başaran, N., Yalçınalp, E., Doğan, E., Ak, M., & Eroğlu, E. (2018). A Comparative Approach to Artificial and Natural Green Walls According to Ecological Sustainability. *Sustainability*, 10(6), 1995. <https://doi.org/10.3390/su10061995>
- Merejildo Gutiérrez, Y. D. (2019). Ocurrencia de nematodos fitoparásitos en 25 especies de plantas ornamentales. Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Guayaquil.
- Metcalfy, E. (1995). Tratamiento y depuración de las aguas residuales. Edit. McGraw Hill. España. Capítulo, 8, 478–488.
- Morales, G., López, D., Vera, I., & Vidal, G. (2013). Humedales construidos con plantas ornamentales para el tratamiento de materia orgánica y nutrientes contenidos en aguas servidas. *Theoria*, 22(1), 33–46.
- Noutsopoulos, C., Andreadakis, A., Kouris, N., Charchousi, D., Mendrinou, P., Galani, A., ... Koumaki, E. (2018). Greywater characterization and loadings—physicochemical treatment to promote onsite reuse. *Journal of Environmental Management*, 216, 337–346.

- OEFA. (2014). Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales. Retrieved from https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- ONU. (2019). Informe de políticas de ONU-AGUA sobre el Cambio Climático y el Agua.
- Ottelé, M., Perini, K., Fraaij, A. L. A., Haas, E. M., & Raiteri, R. (2011). Comparative life cycle analysis for green façades and living wall systems. *Energy and Buildings*, 43(12), 3419–3429. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.09.010>
- Oviedo-Ocaña, E. R., Dominguez, I., Ward, S., Rivera-Sanchez, M. L., & Zaraza-Peña, J. M. (2018). Financial feasibility of end-user designed rainwater harvesting and greywater reuse systems for high water use households. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(20), 19200–19216. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8710-5>
- Peng, J., Cao, Y., Rippy, M., Afrooz, A., & Grant, S. (2016). Indicator and Pathogen Removal by Low Impact Development Best Management Practices. *Water*, 8(12), 600. <https://doi.org/10.3390/w8120600>
- Perini, K., Ottelé, M., Haas, E. M., & Raiteri, R. (2011). Greening the building envelope, facade greening and living wall systems. *Open Journal of Ecology*, 01(01), 1–8. <https://doi.org/10.4236/oje.2011.11001>
- Pilon-Smits, E. (2005). PHYTOREMEDIATION. *Annual Review of Plant Biology*, 56(1), 15–39. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.56.032604.144214>
- Pradhan, S., Al-Ghamdi, S. G., & Mackey, H. R. (2019). Greywater recycling in buildings using living walls and green roofs: A review of the applicability and challenges. *Science of The Total Environment*, 652, 330–344. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.226>
- Priyanka, K., Behera, M., & Neelancherry, R. (2020). Greywater Treatment in Sequencing Batch Reactor Using Simultaneous Nitrification, Denitrification, and Phosphorus Removal, with Kinetic Studies of Phosphate Adsorption onto Corncob. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, 24(3), 04020017. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HZ.2153-5515.0000504](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HZ.2153-5515.0000504)

- Prodanovic, V., Hatt, B., McCarthy, D., & Deletic, A. (2020). Green wall height and design optimisation for effective greywater pollution treatment and reuse. *Journal of Environmental Management*, 261, 110173. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110173>
- Prodanovic, V., Hatt, B., McCarthy, D., Zhang, K., & Deletic, A. (2017). Green walls for greywater reuse: Understanding the role of media on pollutant removal. *Ecological Engineering*, 102, 625–635. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.02.045>
- Prodanovic, V., McCarthy, D., Hatt, B., & Deletic, A. (2019). Designing green walls for greywater treatment: The role of plants and operational factors on nutrient removal. *Ecological Engineering*, 130(January), 184–195. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.02.019>
- Prodanovic, V., Wang, A., & Deletic, A. (2019). Assessing water retention and correlation to climate conditions of five plant species in greywater treating green walls. *Water Research*, 167, 115092. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115092>
- Prodanovic, V., Zhang, K., Hatt, B., McCarthy, D., & Deletic, A. (2018). Optimisation of lightweight green wall media for greywater treatment and reuse. *Building and Environment*, 131, 99–107. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.01.015>
- Radić, M., Brković Dodig, M., & Auer, T. (2019). Green Facades and Living Walls—A Review Establishing the Classification of Construction Types and Mapping the Benefits. *Sustainability*, 11(17), 4579. <https://doi.org/10.3390/su11174579>
- Ragheb, A., El-Shimy, H., & Ragheb, G. (2016). Green architecture: A concept of sustainability. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 216, 778–787.
- Read, J., Fletcher, T. D., Wevill, T., & Deletic, A. (2009). Plant Traits that Enhance Pollutant Removal from Stormwater in Biofiltration Systems. *International Journal of Phytoremediation*, 12(1), 34–53. <https://doi.org/10.1080/15226510902767114>

- Rincón, J., Rincón, P., Torres, E., Mondragón, A., Sánchez, M., Arana, A. & Ortiz, A. (2016). Caracterización fisicoquímica y funcional de la fibra de mesocarpio de coco (*Cocos nucifera* L.). *Investigación y Desarrollo En Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(2), 279-284.
- Saumya, S., Akansha, S., Rinaldo, J., Jayasri, M. A., & Suthindhiran, K. (2015). Construction and evaluation of prototype subsurface flow wetland planted with *Heliconia angusta* for the treatment of synthetic greywater. *Journal of Cleaner Production*, 91, 235–240. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.019>
- Selimli, S., & Eljetlawi, I. A. M. (2021). The experimental study of thermal energy recovery from shower greywater. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 43(23), 3032–3044.
- Seyedabadi, M. R., Eicker, U., & Karimi, S. (2021). Plant selection for green roofs and their impact on carbon sequestration and the building carbon footprint. *Environmental Challenges*, 4, 100119. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100119>
- Shukla, A., & Srivastava, S. (2019). A Review of Phytoremediation Prospects for Arsenic Contaminated Water and Soil. In *Phytomanagement of Polluted Sites* (pp. 243–254). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813912-7.00008-9>
- Spychała, M., Nieć, J., Zawadzki, P., Matz, R., & Nguyen, T. (2019). Removal of Volatile Solids from Greywater Using Sand Filters. *Applied Sciences*, 9(4), 770. <https://doi.org/10.3390/app9040770>
- Tavera Oliveros, C. Y. (2019). Evaluación del desempeño de paredes verdes para el tratamiento de aguas grises empleando plantas nativas y sustratos modificados.
- Teiri, H., Pourzamzni, H., & Hajizadeh, Y. (2018). Phytoremediation of formaldehyde from indoor environment by ornamental plants: An approach to promote occupants health. *International Journal of Preventive Medicine*, 9(1), 70. https://doi.org/10.4103/ijpvm.IJPVM_269_16
- Timur, Z. B., & Karaca, E. (2013). Vertical gardens BT-advances in landscape

- architecture. *Advances in Landscape Architecture*, 1–36.
- Torres Callupe, G. M. (2018). Humedal artificial con la especie *Typha dominguensis* para el tratamiento de aguas grises domésticas, AA. HH. San Benito–Carabayllo, 2017.
- US Environmental Protection Agency. (2012). Guidelines for water reuse. *Development*, 26(September), 131–252.
- Vargas Rubio, R. A. (2021). Evaluación de la eficiencia de un humedal artificial de flujo vertical con *Chrysopogon zizanioides* para el tratamiento de aguas grises en la urbanización El Cóndor-Callao, 2021.
- Vázquez, E., & Rojas, T. (2016). pH: Teoría y 232 problemas. Departamento Deficiencias Naturales. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Cuajimalpa. 1er Edición México, 3–152.
- Vilardi, G. (2020). P-aminophenol catalysed production on supported nano-magnetite particles in fixed-bed reactor: Kinetic modelling and scale-up. *Chemosphere*, 250, 126237. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126237>
- Vuppala, S., Bavasso, I., Stoller, M., Di Palma, L., & Vilardi, G. (2019). Olive mill wastewater integrated purification through pre-treatments using coagulants and biological methods: Experimental, modelling and scale-up. *Journal of Cleaner Production*, 236, 117622. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117622>
- WANG, H., WANG, J., & YU, X. (2022). Wastewater irrigation and crop yield: A meta-analysis. *Journal of Integrative Agriculture*, 21(4), 1215–1224. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(21\)63853-4](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(21)63853-4)
- WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO). (2019). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No dejar a nadie atrás. París: Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO París.
- WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las

- Naciones Unidas). (2017). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado. París: Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas.
- WWDR (World Water Assessment Programme). (2015). Informe de las Naciones Unidas sobre los Recursos Hídricos en el Mundo 2015: Agua para un Mundo Sostenible. Perugia, Italia.
- Yang, Y., Zhao, Y., Liu, R., & Morgan, D. (2018). Global development of various emerged substrates utilized in constructed wetlands. *Bioresource Technology*, 261, 441–452. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.03.085>
- Zhao, Y., Ji, B., Liu, R., Ren, B., & Wei, T. (2020). Constructed treatment wetland: Glance of development and future perspectives. *Water Cycle*, 1, 104–112. <https://doi.org/10.1016/j.watcyc.2020.07.002>

ANEXOS

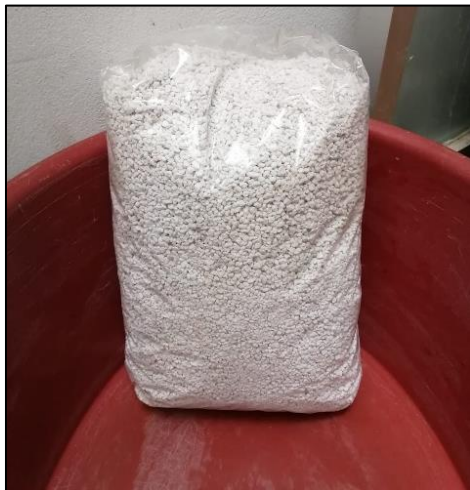
Anexo N° 1.

Matriz de Consistencia

Tratamiento de aguas grises mediante un Sistema de Paredes Verdes con las especies *Aptenia cordifolia* y *Nephrolepis obliterata*

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Operacionalización de variables			Metodología
				Indicador	Índice	Método	
<p>General:</p> <p>¿Serán las especies <i>Aptenia cordifolia</i> y <i>Nephrolepis obliterata</i> efectivas el tratamiento de aguas grises a través de un Sistema de Paredes Verdes?</p>	<p>General:</p> <p>Probar si las especies <i>Aptenia cordifolia</i> y <i>Nephrolepis obliterata</i> son efectivas para el tratamiento de aguas grises a través de un Sistema de Paredes Verdes.</p>	<p>General:</p> <p>Las especies <i>Aptenia cordifolia</i> y <i>Nephrolepis obliterata</i> en un Sistema de Paredes Verdes son efectivas para el tratamiento de aguas grises.</p>	<p>Independiente:</p> <p>Especies de plantas ornamentales (<i>Aptenia cordifolia</i> y <i>Nephrolepis obliterata</i>) en un Sistema de Paredes Verdes</p>	Número de plantas ornamentales	Unidad	Conteo	<p><u>Tipo de Investigación:</u> Investigación explicativa dado que se dio a conocer si la variable independiente influye en la variable dependiente.</p> <p><u>Diseño de la investigación:</u> Experimental</p> <p><u>Método de Investigación:</u> Cuantitativo</p> <p><u>Población y muestra:</u> La población comprende las aguas grises generadas en una vivienda, del AA.HH. San Martín, Los Olivos, Lima - Perú, producidas por el uso de lavamanos, lavadero, ducha, lavadora y fregadero de cocina.</p>
<p>Específico:</p> <p>¿Será la especie <i>Aptenia cordifolia</i> más efectiva en el tratamiento de aguas grises, que la especie <i>Nephrolepis obliterata</i>?</p>	<p>Específico:</p> <p>Determinar si la especie <i>Aptenia cordifolia</i> es más efectiva en el tratamiento de aguas grises, que la especie <i>Nephrolepis obliterata</i>.</p>	<p>Específica:</p> <p>La especie <i>Aptenia cordifolia</i> en un Sistema de Paredes Verdes es más efectiva en el tratamiento de aguas grises, que la especie <i>Nephrolepis obliterata</i>.</p>	<p>Dependiente:</p> <p>Aguas grises</p>	Concentración de pH	Unidad de concentración	Método colorimétrico	<p>La muestra se constituye por el flujo (12 L/día) de las aguas grises recolectadas en la vivienda definida.</p> <p><u>Técnicas e instrumentos para la recolección de la información:</u> Las técnicas e instrumentos utilizados fueron el conteo de las plantas ornamentales en el Sistema de Paredes Verdes y, la caracterización de las aguas grises y las aguas tratadas durante el periodo experimental de la investigación.</p>
				Concentración de DBO	mg/L	Prueba de DBO de 5 días	
				Concentración de Turbiedad	Unidades Nefelométricas de Turbiedad - UNT	Método Nefelométrico	
				Concentración de CF	NMP/100mL	Técnica de fermentación de tubos múltiples	

Anexo N° 2.1 Conjunto de figuras de la etapa de adquisición de materiales



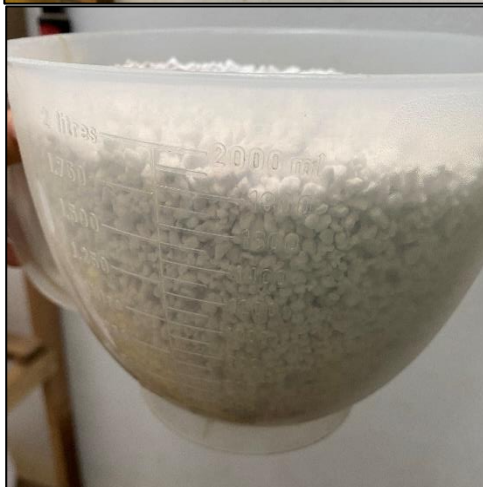
En las figuras anteriores, se muestran algunos de los materiales adquiridos para: la construcción del prototipo del Sistema de Paredes Verdes y la experimentación correspondiente.

Anexo N° 2.2 Conjunto de figuras de la etapa de construcción del Sistema de Paredes Verdes

CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LA PARED VERDE



PREPARACIÓN DEL SUSTRATO



En las figuras anteriores, se muestra la estructura construida para el soporte de las macetas que formaron parte de la Pared Verde, así como la preparación de la mezcla de perlita y fibra de coco, en una relación de 1 a 2.

PREPARACIÓN DE MACETAS Y SIEMBRA DE LAS ESPECIES DE PLANTAS



En las figuras anteriores, se muestra la colocación del sustrato en las macetas (considerando el volumen estipulado de 6 litros en cada una de ellas), la siembra de *Aptenia cordifolia* y *Nephrolepis obliterata*, así como la distribución de las macetas para conformar cada configuración del Sistema de Paredes Verdes.

INSTALACIÓN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AG Y PRUEBAS DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO



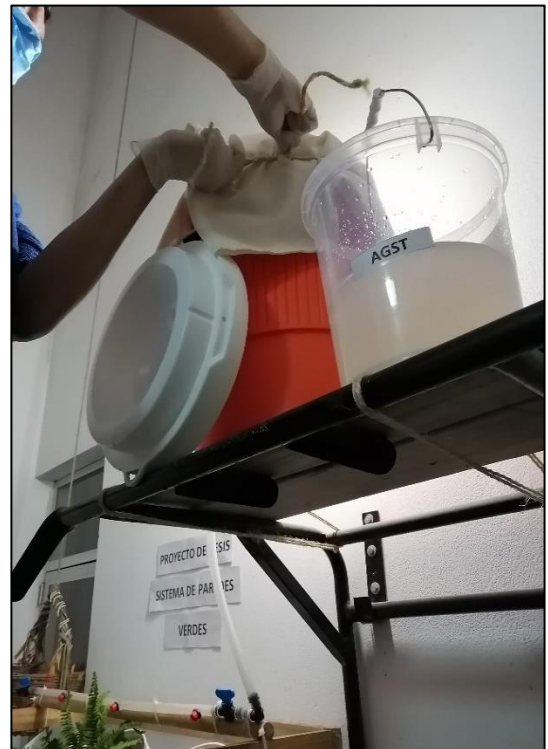
En las figuras anteriores, se muestra la instalación del tanque de almacenamiento y el sistema de riego de las aguas grises, así como los recipientes para la recolección de las aguas tratadas. Asimismo, se puede apreciar una vista lateral y frontal del Sistema de Paredes Verdes instalado en la vivienda.

Anexo N° 2.3 Conjunto de figuras de la etapa de adaptación de las especies



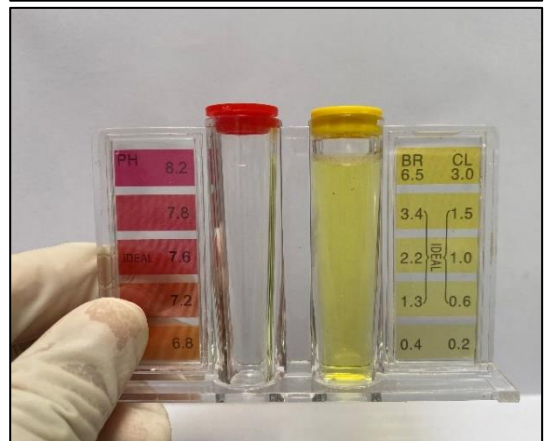
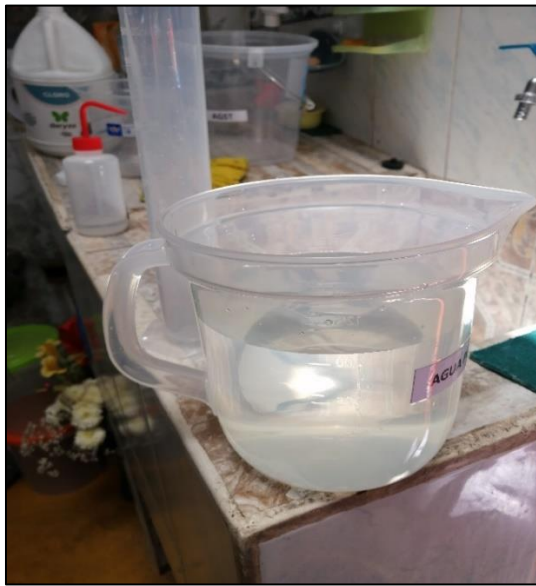
En las figuras anteriores, se muestra el riego de las plantas con nutrientes y agua potable para asegurar su adaptación al Sistema, antes de ser dosificado con las aguas grises. Asimismo, se muestra la coloración de las aguas tratadas, proporcionada naturalmente por la fibra de coco.

Anexo N° 2.4 Conjunto de figuras de la puesta en marcha del sistema de tratamiento



En las figuras anteriores, se muestra el riego con aguas grises realizado a modo de prueba durante 02 semanas, a fin de ajustar los últimos detalles antes de iniciar con los monitoreos correspondientes.

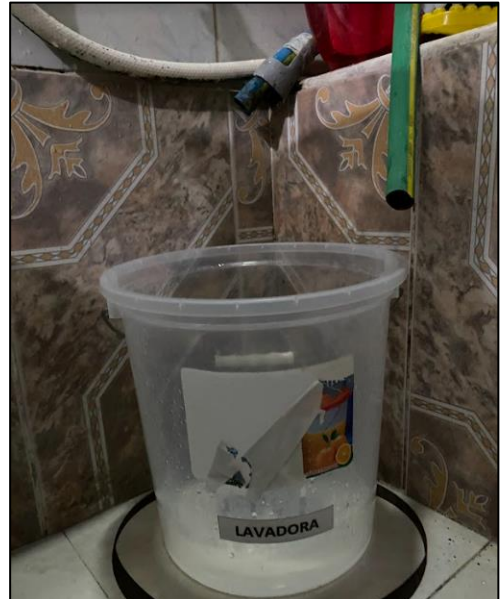
Anexo N° 2.5 Conjunto de figuras del cálculo de la dosis de cloro



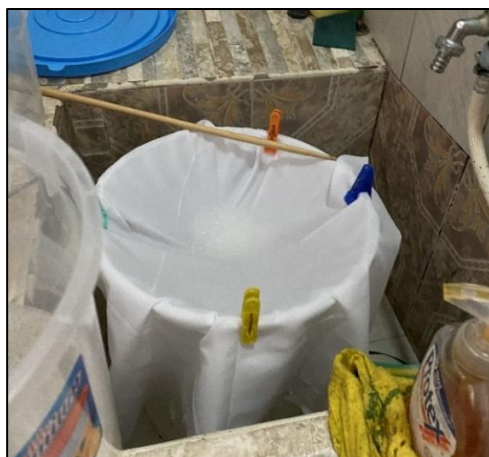
En las figuras anteriores, se muestra el proceso realizado por cada configuración del Sistema de Paredes Verdes, para calcular la dosis de dióxido de cloro necesaria, a fin de obtener una concentración de 1mg/l de cloro libre residual en las aguas tratadas.

Anexo N° 2.6 Conjunto de figuras de la etapa de tratamiento de aguas grises

RECOLECCIÓN DE AGUAS GRISES



RECOLECCIÓN DE AGUAS GRISES



En las figuras anteriores, se muestra el procedimiento de recolección de aguas grises de los 06 puntos de generación, a fin de obtener 12 litros de aguas grises por día (5 días por cada semana) y homogeneizarlos en un balde de 15 litros de capacidad. Finalmente, a través de un pre-filtro se dispone en el tanque de almacenamiento para iniciar el riego en el Sistema de Paredes Verdes.

RIEGO CON AGUAS GRISES

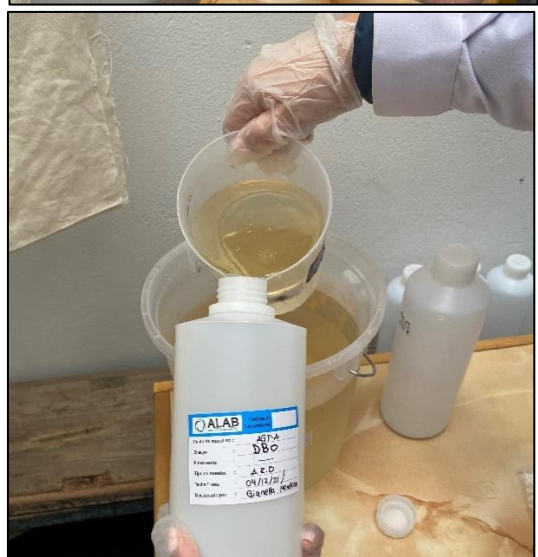


RIEGO CON AGUAS GRISES

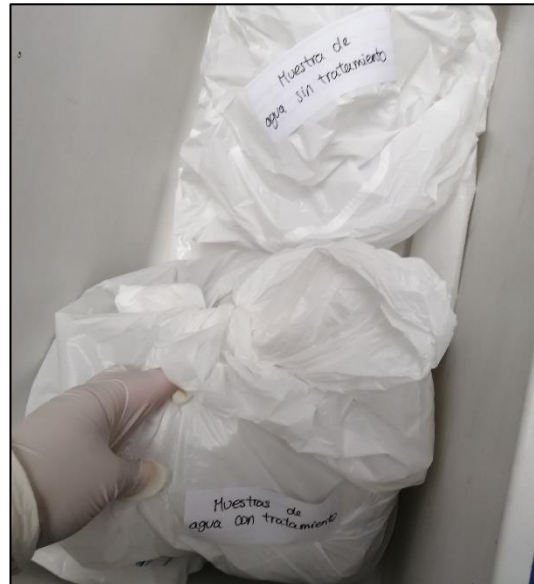
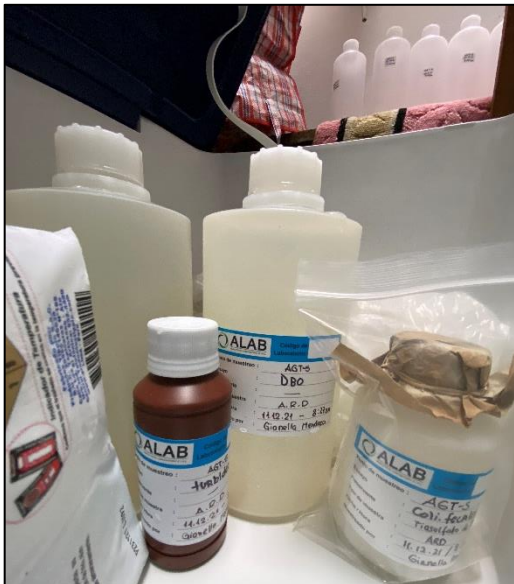
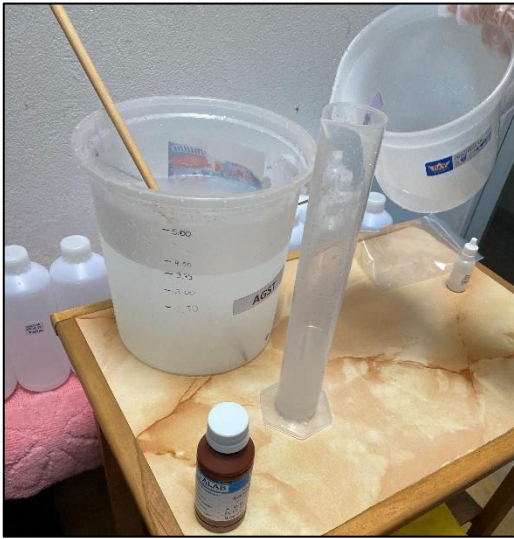


En las figuras anteriores, se muestra el proceso de riego con aguas grises en el Sistema de Paredes Verdes, donde las aguas descargan del tanque de almacenamiento hacia el sistema de riego por goteo y, así entrar a cada una de las 3 configuraciones. Finalmente, las aguas tratadas descargan por gravedad en un balde de 6 litros por cada configuración.

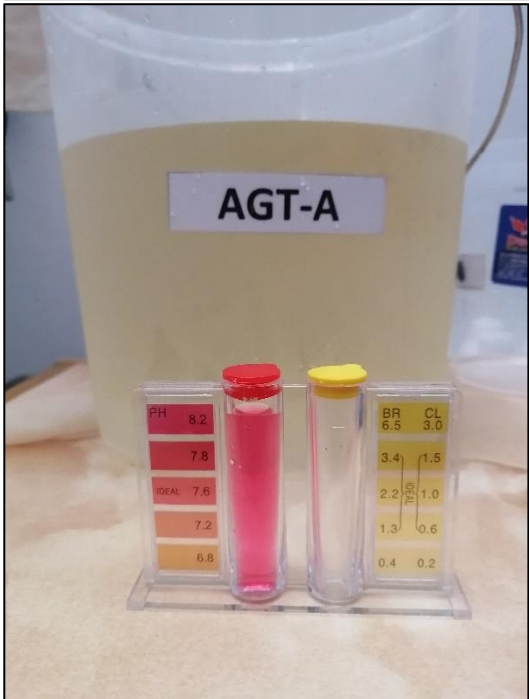
MONITOREOS SEMANALES



MONITOREOS SEMANALES



MONITOREOS SEMANALES



En las figuras anteriores, se muestra la toma de muestra diaria de las aguas grises sin tratamiento y tratadas, para ser almacenadas en la refrigeradora; posteriormente, se muestra el monitoreo semanal de las aguas grises que fueron almacenadas, aplicando en protocolo de monitoreo de DBO_5 , turbiedad y coliformes fecales; el parámetro pH fue medido in situ. Finalmente, se guardaron todos los frascos de muestreo de aguas grises sin tratamiento y tratadas, para ser enviados al laboratorio en cargado del análisis.

Anexo N° 3. Documentos de acreditación del laboratorio



DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN

1 de 15

ALCANCE DE LA ACREDITACIÓN DE LABORATORIOS DE ENSAYO

ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

Ubicado en : Prolongación Zarumilla. Mz D2 Lt 3, Asociación Daniel Alcides Carrión, distrito de Bellavista, provincia constitucional del Callao, departamento de Lima

Proceso : Reducción

Expediente N° : 0065-2021-DA

Informe Ejecutivo N° : 0131-2021-DA

Vigencia de la Acreditación : Del 2019-07-26 al 2023-07-25

Acreditado con la Norma : NTP-ISO/IEC 17025:2017

Código de Registro : LE – 096

Fecha de Actualización : 2021-05-13¹

Laboratorio : AMBIENTAL - AGUA
 Campo de Prueba : FISICOQUÍMICA (Incluye MUESTREO)

N°	Tipo Ensayo	Norma Referencia	Año	Título
1	ACEITES Y GRASAS	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 B, 23 rd Ed.	2017	Oil and Grease. Liquid-Liquid, Partition-Gravimetric Method
				Producto(s):
				AGUA NATURAL
				AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO
				AGUA RESIDUAL
				AGUA SALINA
2	ALCALINIDAD TOTAL, ALCALINIDAD POR CARBONATOS, ALCALINIDAD POR BICARBONATOS	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 23 rd Ed.	2017	Alkalinity. Titration Method
				Producto(s):
				AGUA NATURAL
				AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO
				AGUA RESIDUAL
3	AMONIO/ AMONIACO/ NITROGENO AMONIACAL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH3 D, 23 rd Ed.	2017	Nitrogen (Ammonia). Ammonia-Selective Electrode Method
				Producto(s):
				AGUA NATURAL

¹ Es responsabilidad del laboratorio la revisión del presente alcance. En caso existan observaciones a dicho alcance, el laboratorio deberá informarlo al INACAL, con el debido sustento, en un plazo no mayor a 05 días útiles (contados a partir de recibido el presente documento), cumplido éste plazo no se aceptarán observaciones.

ALCANCE DE LA ACREDITACIÓN DE LABORATORIOS DE ENSAYO

				AGUA RESIDUAL
				AGUA SALINA
10	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23 rd Ed.	2017	Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
			Producto(s):	AGUA NATURAL
				AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO
				AGUA RESIDUAL
				AGUA SALINA
11	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed.	2017	Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method
			Producto(s):	AGUA NATURAL
				AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO
				AGUA RESIDUAL
12	DETERGENTES	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5540 C, 23 rd Ed.	2017	Surfactants. Anionic Surfactants as MBAS
			Producto(s):	AGUA NATURAL
				AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO
				AGUA RESIDUAL
13	DUREZA CÁLCICA	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3500- Ca-B, 23 rd Ed.	2017	Calcium. EDTA Titrimetric Method
			Producto(s):	AGUA NATURAL
				AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO
				AGUA RESIDUAL
14	DUREZA TOTAL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2340-C, 23 rd Ed.	2017	Hardness. EDTA Titrimetric Method
			Producto(s):	AGUA NATURAL
				AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO
				AGUA RESIDUAL
15	FENOL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5530 B, C, 23 rd Ed.	2017	Phenols. Cleanup Procedure. Chloroform Extraction Method
			Producto(s):	AGUA NATURAL
				AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO
				AGUA RESIDUAL
				AGUA SALINA
16	FENOL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5530 B, D, 23 rd Ed.	2017	Phenols. Cleanup Procedure. Direct Photometric Method

Formato: DA-acr-06P-21F Ver. 00

ALCANCE DE LA ACREDITACIÓN DE LABORATORIOS DE ENSAYO

				AGUA RESIDUAL
				AGUA SALINA
23	SÓLIDOS TOTALES	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 B, 23 rd Ed.	2017	Solids. Total Solids Dried at 103-105°C
				AGUA NATURAL
			Producto(s):	AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO
				AGUA RESIDUAL
24	SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 C, 23 rd Ed.	2017	Solids. Total Dissolved Solids Dried at 180°C
				AGUA NATURAL
			Producto(s):	AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO
				AGUA RESIDUAL
25	SULFATO	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-SO42- E, 23 rd Ed.	2017	Sulfate. Turbidimetric Method
				AGUA NATURAL
			Producto(s):	AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO
				AGUA RESIDUAL
26	SULFURO	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-S2- D, 23 rd Ed.	2017	Sulfide. Methylene Blue Method.
				AGUA NATURAL
			Producto(s):	AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO
				AGUA RESIDUAL
				AGUA SALINA
27	TURBIDEZ	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 23rd Ed.	2017	Turbidity. Nephelometric Method
				AGUA DE MAR
			Producto(s):	AGUA NATURAL
				AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO
				AGUA RESIDUAL

Laboratorio : AMBIENTAL - AGUA.

Campo de Prueba : FISICOQUIMICA - QUÍMICA INSTRUMENTAL (Incluye MUESTREO)

Nº	Tipo Ensayo	Norma Referencia	Año	Título
28	BORO	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-B, 23rd Ed.	2017	Boron. Curcumin Method



CERTIFICATE OF ACCREDITATION

This is to attest that

ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L

OFFICE: PROLONGACION ZARUMILLA MZ D2 LOTE3 - BELLAVISTA-PROV. CONSTITUCIONAL DEL CALLAO-LIMA, PERU
LABORATORY: AV. GUARDIA CHALACA NO 1877 BELLAVISTA - PROV. CONSTITUCIONAL DEL CALLAO, LIMA, REPUBLIC OF PERU

Testing Laboratory TL-833

has met the requirements of AC89, *IAS Accreditation Criteria for Testing Laboratories*, and has demonstrated compliance with ISO/IEC Standard 17025:2017, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*. This organization is accredited to provide the services specified in the scope of accreditation.

Effective Date August 3, 2021



President

IAS is an ILAC MRA Signatory

Visit www.iasonline.org for current accreditation information.

SCOPE OF ACCREDITATION

International Accreditation Service, Inc.

3060 Saturn Street, Suite 100, Brea, California 92821, U.S.A. | www.iasonline.org

FIELDS OF TESTING	MATERIAL/MATRIX	DETERMINANT(S)/ANALYTE(S)	METHOD REFERENCE
(Field collection + Lab Testing)	use and consumption, Saline Water and Waste Water		Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique
		Fecal Coliform (Thermotolerant) (NMP)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 F.2, 23rd Ed. 2017.
			Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate. Simultaneous Determination of Thermotolerant Coliforms and E. Coli
		Escherichia Coli (NMP)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 F.2, 23rd Ed. 2017
			Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate. Simultaneous Determination of Thermotolerant Coliforms and E.coli.
		Heterotrophic (UFC/mL)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9215 B, 23rd Ed. 017 Heterotrophic Plate Count. Pour Plate Count Method
		Virus (Somatic Coliphages)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9224 B, 23rd Ed. 2017 Detection of Coliphages. Somatic Coliphages Assay
		Fecal Enterococcus or Intestinal Enterococcus (NMP)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9230 B, 23rd Ed. 2017
	Fecal Enterococcus/Streptococcus Groups. Multiple-Tube Technique.		
		Vibrio cholerae (Detection)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9260 H, Item 1, 2, 3.d.1

TL-833
ANALYTICAL LABORATORY
E.I.R.L



IAS is an ILACMRA Signatory

Effective Date August 3, 2021
Page 16 of 30
IAS/TL101-1

Anexo N° 4. Certificados de calibración de los equipos



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO
POR EL ORGANISMO A2LA CON CERTIFICADO #6032.01
SEGÚN NTP-ISO/IEC 17025:2017



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LTCA-0059-2021

Página 1 de 4

Expediente: 00257

Fecha de emisión: 2021-06-01

1. Solicitante : Analytical Laboratory E.I.R.L.
Dirección : PROLONGACIÓN ZARUMILLA MZ. 2D - LT. 03 - ASC. DANIEL
ALCIDES CARRIÓN - BELLAVISTA - CALLAO

2. Instrumento calibrado : Incubadora

Marca : VWR
Modelo : Symphony
N° de serie : 041130111B5020
Código : EL-LAB-38
Indicador : Digital (*)
Alcance del indicador : -10 °C a 50 °C
Resolución del indicador : 0,1 °C
Selector : Analógico
Alcance del selector : No indica
Resolución del selector : No indica
Carga : 75 frascos Winklers de 300 ml.
Porcentaje de carga : 80 %
Tipo de ventilación : Turbulencia de aire
Ubicación : Laboratorio de Físicoquímica 2
Temperaturas de Trabajo : 20 °C ± 1 °C

3. Lugar de calibración : Laboratorio de Físicoquímica de ALAB

4. Fecha de calibración : 2021-05-21

5. Método de calibración

La calibración se realizó por comparación directa siguiendo el PC-018 "Procedimiento para la calibración o caracterización de medios isoterms con aire como medio termostático". Segunda Edición. 2009. INDECOPI/SNM

6. Trazabilidad

Los resultados de la calibración realizada tienen trazabilidad a los patrones nacionales del INACAL - DM, en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI) y el Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú (SLUMP)

Código	Descripción	Certificado de calibración
PTT-006	Termómetro Multicanal con incertidumbre "U" de 0,07 °C a 0,08 °C	TE-1167-2020

7. Condiciones de calibración

	Inicio	Final		Inicio	Final
Temperatura ambiental	20,8 °C	20,6 °C	Voltaje	220 V	220 V
Humedad relativa	57,6 %	58,7 %			

Oscar F. Vivanco Valerio
Jefe de Laboratorio de Metrología

Av. Guardia Chalaca N° 1877 Bellavista - Callao
Telf. 01-717 5802 / 01-717 5803 / Cel. 961768828
www.alab.com.pe

Los resultados presentados corresponden sólo al ítem calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

El certificado de calibración es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. Sin perjuicio de lo señalado, dicho uso puede configurar por sus efectos una infracción a las normas de protección al consumidor y las que regulan la libre competencia.

Al usuario le corresponde disponer en su momento la ejecución de una nueva calibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

ALAB E.I.R.L. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización expresa por escrito de ALAB E.I.R.L.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable técnico de ALAB E.I.R.L.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFQ-0025-2021

Expediente : 00310

Fecha de emisión : 2021-06-28

Página 1 de 2

1. **Solicitante** : ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.
2. **Dirección** : AV. GUARDIA CHALACA 1877 - BELLAVISTA - CALLAO
3. **Instrumento** : **MEDIDOR DE OXIGENO DISUELTO**
Marca / Fabricante : YSI CORPORATED
Modelo : YSI 5000
Serie : 99C1267
Serie de la sonda : No indica
Procedencia : No indica
Código de identificación : EL-LAB-176
Intervalo de Indicación : 0,0 mg/L a 60,0 mg/L / 0,0 % a 600,0 %
Resolución : 0,01 mg/L / 0,1 %
4. **Lugar de calibración** : Laboratorio de Físicoquímica de ALAB
5. **Fecha de calibración** : 2021-06-25
6. **Método de calibración** :
 La Calibración se realizó por comparación de la indicación del equipo contra Material Estandar de valor nominal conocido.
7. **Trazabilidad** :
 Se utilizó una solución cero oxígeno (2 componentes), código de producto HI7040L.

Producto	Marca	N° Lote	Expiración
HI7040-1	Hanna Instruments	4260	2024-05
HI7040-2	Hanna Instruments	4155	2024-04

8. **Condiciones de calibración** :

	Inicial	Final
Temperatura ambiental	: 25,1 °C	25,0 °C
Humedad relativa	: 62 % H.R.	61,0 % H.R.

Los resultados del certificado son válidos sólo para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento.

ALAB EIRL. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento o equipo después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ALAB EIRL.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable técnico de ALAB EIRL.



Oscar Félix Vivanco Valerio
Jefe de Laboratorio de Metrología

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFQ-0022-2021

Expediente : 00313

Página 1 de 2

Fecha de emisión : 2021-06-24

- 1. Solicitante** : ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.
- 2. Dirección** : AV. GUARDIA CHALACA 1877 - BELLAVISTA - CALLAO
- 3. Instrumento** : **TURBIDÍMETRO**
- Marca / Fabricante** : HACH
- Modelo** : 2100Q
- Serie** : 11060C010358
- Procedencia** : CHINA
- Código de identificación** : EM-OPE-673
- Intervalo de Indicación** : 0,1 NTU a 1000 NTU
- Resolución** : 0,01 NTU / 0,1 NTU / 1 NTU
- 4. Lugar de calibración** : Laboratorio de Físicoquímica de ALAB E.I.R.L.
- 5. Fecha de calibración** : 2021-06-24
- 6. Método de calibración :**
La Calibración se realizó por comparación de la indicación del equipo con Material Estandar Certificado de valores nominales conocidos.
- 7. Trazabilidad :**

Producto	Marca	N° Lote	Expiración
<0,1 NTU	HACH	A0118	2021-07
20 NTU	HACH	A0122	2021-07
200 NTU	HACH	A0115	2021-07
1000 NTU	HACH	A0118	2021-07

8. Condiciones de calibración :

	Inicial	Final
Temperatura ambiental	: 20,2 °C	20,3 °C
Humedad relativa	: 70,8 % H.R.	70,7 % H.R.

Los resultados del certificado son válidos sólo para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

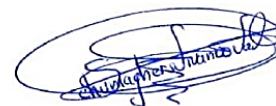
Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento.

ALAB E.I.R.L. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento o equipo después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ALAB E.I.R.L.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable técnico de ALAB E.I.R.L.



Oscar Félix Vivanco Valerio
Jefe de Laboratorio de Metrología

Anexo N° 5.1 Informes de Ensayo – Aguas grises sin tratamiento



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-14739

IV. RESULTADOS

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-21-55719
CÓDIGO DEL CLIENTE:				AGST
COORDENADAS:				E:0273354
UTM WGS 84:				N:8676889
PRODUCTO:				Agua Residual
SUB PRODUCTO:				Residual Doméstica
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA
FECHA y HORA DE MUESTREO :				13-11-2021 08:52
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) ²	NMP/100mL	NA	1,8	23 000,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg BOD5/L	0,4	2,0	104,4
Turbidez (*)	NTU	NA	0,01	40,00

¹⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-15178

IV. RESULTADOS

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-21-57275
CÓDIGO DEL CLIENTE:				AGST
COORDENADAS:				E:0273354
UTM WGS 84:				N:8676889
PRODUCTO:				Agua Residual
SUB PRODUCTO:				Residual Doméstica
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA
FECHA y HORA DE MUESTREO :				20-11-2021 08:35
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) ²	NMP/100mL	NA	1,8	23,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg BOD5/L	0,4	2,0	412,3
Turbidez (*)	NTU	NA	0,01	140,00

⁽¹⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

^(*) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<=" Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<=" Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-15765
IV. RESULTADOS

ITEM	1			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-21-59704			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	AGST			
COORDENADAS:	E:0273354			
UTM WGS 84:	N:8676889			
PRODUCTO:	Agua Residual			
SUB PRODUCTO:	Efluente Doméstico			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA			
FECHA y HORA DE MUESTREO :	27-11-2021 08:57			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) ²	NMP/100mL	NA	1,8	230 000,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg BOD5/L	0,4	2,0	212,3
Turbidez (*)	NTU	NA	0,01	60,00

⁽¹⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-16229
IV. RESULTADOS

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-21-62064
CÓDIGO DEL CLIENTE:				AGST
COORDENADAS:				E:0273354
UTM WGS 84:				N:8676889
PRODUCTO:				Agua Residual
SUB PRODUCTO:				Residual Doméstica
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA
FECHA y HORA DE MUESTREO :				04-12-2021 08:15
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) ²	NMP/100mL	NA	1,8	<1,8
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg BOD5/L	0,4	2,0	349,2
Turbidez (*)	NTU	NA	0,01	110,00

¹⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-16651
IV. RESULTADOS

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-21-63755
CÓDIGO DEL CLIENTE:				AGST
COORDENADAS:				E:0273354
UTM WGS 84:				N:8676889
PRODUCTO:				Agua Residual
SUB PRODUCTO:				Residual Doméstica
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA
FECHA y HORA DE MUESTREO :				11-12-2021 08:47
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) ²	NMP/100mL	NA	1,8	16 000,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg BOD5/L	0,4	2,0	<2,0
Turbidez (*)	NTU	NA	0,01	120,00

¹) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-17352**IV. RESULTADOS**

ITEM		1		
CÓDIGO DE LABORATORIO:		M-21-65829		
CÓDIGO DEL CLIENTE:		AGST		
COORDENADAS:		E:0273354		
UTM WGS 84:		N:8676889		
PRODUCTO:		Agua Residual		
SUB PRODUCTO:		Residual Doméstica		
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:		NO APLICA		
FECHA y HORA DE MUESTREO :		18-12-2021 08:59		
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) ²	NMP/100mL	NA	1,8	5 400,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg BOD5/L	0,4	2,0	51,0
Turbidez (*)	NTU	NA	0,01	65,00

¹) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-213
IV. RESULTADOS

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-22-01370
CÓDIGO DEL CLIENTE:				AGST
COORDENADAS:				E:0273354
UTM WGS 84:				N:8676889
PRODUCTO:				Agua Residual
SUB PRODUCTO:				Residual Doméstica
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA
FECHA y HORA DE MUESTREO :				08-01-2022 09:02
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) ²	NMP/100mL	NA	1,8	28 000,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg BOD5/L	0,4	2,0	81,3
Turbidez (*)	NTU	NA	0,01	51,30

¹⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<=" Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<=" Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-489
IV. RESULTADOS

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-22-02169
CÓDIGO DEL CLIENTE:				AGST
COORDENADAS:				E:0273354
UTM WGS 84:				N:0676889
PRODUCTO:				Agua Residual
SUB PRODUCTO:				Residual Doméstica
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA
FECHA y HORA DE MUESTREO :				15-01-2022 08:39
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) ²	NMP/100mL	NA	1,8	350,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg BOD5/L	0,4	2,0	60,7
Turbidez (*)	NTU	NA	0,01	29,20

¹⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<=" Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<=" Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-786**IV. RESULTADOS**

ITEM	1			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-22-02917			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	AGST			
COORDENADAS:	E:0273354			
UTM WGS 84:	N:8676889			
PRODUCTO:	Agua Residual			
SUB PRODUCTO:	Residual Doméstica			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA			
FECHA y HORA DE MUESTREO :	22-01-2022 08:56			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) ²	NMP/100mL	NA	1,8	23,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg BOD5/L	0,4	2,0	140,0
Turbidez (*)	NTU	NA	0,01	<0,01

⁽¹⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

⁽²⁾ Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<=" Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<=" Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-1162
IV. RESULTADOS

ITEM		1		
CÓDIGO DE LABORATORIO:		M-22-04020		
CÓDIGO DEL CLIENTE:		AGST		
COORDENADAS:		E:0273354		
UTM WGS 84:		N:8676889		
PRODUCTO:		Agua Residual		
SUB PRODUCTO:		Residual Doméstica		
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:		NO APLICA		
FECHA y HORA DE MUESTREO :		29-01-2022 08:51		
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) ²	NMP/100mL	NA	1,8	110,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg BOD5/L	0,4	2,0	109,0
Turbidez (*)	NTU	NA	0,01	13,40

¹) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<=" Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<=" Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

Anexo N° 5.2 Informes de Ensayo – Aguas tratadas



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-14738

IV. RESULTADOS

ITEM	1	2	3			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-21-55716	M-21-55717	M-21-55718			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	AGT-A	AGT-N	AGT-S			
COORDENADAS:	E:0273354	E:0273354	E:0273354			
UTM WGS 84:	N:8676889	N:8676889	N:8676889			
PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual			
SUB PRODUCTO:	Residual Doméstica	Residual Doméstica	Residual Doméstica			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA					
FECHA y HORA DE MUESTREO:	13-11-2021 07:26	13-11-2021 08:04	13-11-2021 08:33			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS		
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) ²	NMP/100mL	NA	1,8	<1,8	<1,8	<1,8
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg BOD5/L	0,4	2,0	<2,0	<2,0	<2,0
Turbidez (*)	NTU	NA	0,01	1,60	1,30	1,10

⁽¹⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

⁽²⁾ Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-15177
IV. RESULTADOS

ITEM	1	2	3			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-21-57272	M-21-57273	M-21-57274			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	AGT-A	AGT-N	AGT-S			
COORDENADAS:	E:0273354	E:0273354	E:0273354			
UTM WGS 84:	N:8676889	N:8676889	N:8676889			
PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual			
SUB PRODUCTO:	Residual Doméstica	Residual Doméstica	Residual Doméstica			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA					
FECHA y HORA DE MUESTREO :	20-11-2021 07:37	20-11-2021 07:57	20-11-2021 08:18			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS		
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) ²	NMP/100mL	NA	1,8	<1,8	<1,8	<1,8
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg BOD5/L	0,4	2,0	4,7	<2,0	<2,0
Turbidez (*)	NTU	NA	0,01	1,30	1,10	1,10

(¹) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

(²) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-15755

IV. RESULTADOS

ITEM	1	2	3			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-21-59662	M-21-59663	M-21-59664			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	AGT-A	AGT-N	AGT-S			
COORDENADAS:	E:0273354	E:0273354	E:0273354			
UTM WGS 84:	N:8676889	N:8676889	N:8676889			
PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual			
SUB PRODUCTO:	Efluente Doméstico	Efluente Doméstico	Efluente Doméstico			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA					
FECHA y HORA DE MUESTREO :	27-11-2021 07:46	27-11-2021 08:16	27-11-2021 08:34			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS		
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) ²	NMP/100mL	NA	1,8	<1,8	<1,8	<1,8
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg BOD5/L	0,4	2,0	<2,0	<2,0	<2,0
Turbidez (*)	NTU	NA	0,01	1,00	0,85	0,10

⁽¹⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-16228

IV. RESULTADOS

ITEM	1	2	3			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-21-62057	M-21-62058	M-21-62059			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	AGT-A	AGT-N	AGT-5			
COORDENADAS:	E:273354	E:273354	E:273354			
UTM WGS 84:	N:8676889	N:8676889	N:8676889			
PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual			
SUB PRODUCTO:	Residual Doméstica	Residual Doméstica	Residual Doméstica			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA					
FECHA y HORA DE MUESTREO :	04-12-2021 07:20	04-12-2021 07:39	04-12-2021 07:57			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS		
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) ²	NMP/100mL	NA	1,8	<1,8	<1,8	<1,8
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg BOD5/L	0,4	2,0	4,2	3,2	2,2
Turbidez (*)	NTU	NA	0,01	1,20	0,65	0,65

⁽¹⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<=" Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<=" Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-16650

IV. RESULTADOS

ITEM	1	2	3			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-21-63752	M-21-63753	M-21-63754			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	AGT-A	AGT-N	AGT-S			
COORDENADAS:	E:0273354	E:0273354	E:0273354			
UTM WGS 84:	N:8676889	N:8676889	N:8676889			
PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual			
SUB PRODUCTO:	Residual Doméstica	Residual Doméstica	Residual Doméstica			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA					
FECHA y HORA DE MUESTREO :	11-12-2021 07:52	11-12-2021 08:10	11-12-2021 08:27			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS		
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) ²	NMP/100mL	NA	1,8	<1,8	<1,8	<1,8
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg BOD5/L	0,4	2,0	<2,0	<2,0	<2,0
Turbidez (*)	NTU	NA	0,01	1,90	0,90	0,65

¹⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<=" Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<=" Menor que el L.D.M.

": No ensayado

NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-17350

IV. RESULTADOS

ITEM	1	2	3			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-21-65824	M-21-65825	M-21-65826			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	AGT-A	AGT-N	AGT-S			
COORDENADAS:	E:0273354	E:0273354	E:0273354			
UTM WGS 84:	N:8676889	N:8676889	N:8676889			
PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual			
SUB PRODUCTO:	Residual Doméstica	Residual Doméstica	Residual Doméstica			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA					
FECHA y HORA DE MUESTREO :	18-12-2021 07:53	18-12-2021 08:08	18-12-2021 08:36			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS		
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) ²	NMP/100mL	NA	1,8	<1,8	<1,8	<1,8
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg BOD5/L	0,4	2,0	<2,0	<2,0	<2,0
Turbidez (*)	NTU	NA	0,01	1,10	0,60	0,60

¹⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<=" Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<=" Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-212
IV. RESULTADOS

ITEM	1	2	3			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-22-01367	M-22-01368	M-22-01369			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	AGT-A	AGT-N	AGT-S			
COORDENADAS:	E:0273354	E:0273354	E:0273354			
UTM WGS 84:	N:8676889	N:8676889	N:8676889			
PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual			
SUB PRODUCTO:	Residual Doméstica	Residual Doméstica	Residual Doméstica			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA					
FECHA y HORA DE MUESTREO :	08-01-2022 07:58	08-01-2022 08:23	08-01-2022 08:45			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS		
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) ²	NMP/100mL	NA	1,8	<1,8	<1,8	<1,8
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg BOD5/L	0,4	2,0	<2,0	<2,0	<2,0
Turbidez (*)	NTU	NA	0,01	0,70	0,40	0,40

¹⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-490
IV. RESULTADOS

ITEM	1	2	3			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-22-02170	M-22-02171	M-22-02172			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	AGT-A	AGT-N	AGT-S			
COORDENADAS:	E:0273354	E:0273354	E:0273354			
UTM WGS 84:	N:8676889	N:8676889	N:8676889			
PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual			
SUB PRODUCTO:	Residual Doméstica	Residual Doméstica	Residual Doméstica			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA					
FECHA y HORA DE MUESTREO :	15-01-2022 07:46	15-01-2022 08:06	15-01-2022 08:23			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS		
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) ²	NMP/100mL	NA	1,8	<1,8	<1,8	<1,8
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg BOD5/L	0,4	2,0	<2,0	<2,0	<2,0
Turbidez (*)	NTU	NA	0,01	0,89	0,53	0,42

¹⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-783

IV. RESULTADOS

ITEM	1	2	3			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-22-02910	M-22-02911	M-22-02912			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	AGT-A	AGT-N	AGT-S			
COORDENADAS:	E:0273354	E:0273354	E:0273354			
UTM WGS 84:	N:8676889	N:8676889	N:8676889			
PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual			
SUB PRODUCTO:	Residual Doméstica	Residual Doméstica	Residual Doméstica			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA					
FECHA y HORA DE MUESTREO :	22-01-2022 07:55	22-01-2022 08:16	22-01-2022 08:36			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS		
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) ²	NMP/100mL	NA	1,8	<1,8	<1,8	<1,8
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg BOD5/L	0,4	2,0	3,4	3,6	3,0
Turbidez (*)	NTU	NA	0,01	<0,01	<0,01	<0,01

¹⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-1163

IV. RESULTADOS

ITEM	1	2	3			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-22-04021	M-22-04022	M-22-04023			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	AGT-A	AGT-N	AGT-S			
COORDENADAS:	E:0273354	E:0273354	E:0273354			
UTM WGS 84:	N:8676889	N:8676889	N:8676889			
PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual			
SUB PRODUCTO:	Residual Doméstica	Residual Doméstica	Residual Doméstica			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA					
FECHA y HORA DE MUESTREO :	29-01-2022 07:56	29-01-2022 08:16	29-01-2022 08:35			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS		
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) ²	NMP/100mL	NA	1,8	<1,8	<1,8	<1,8
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg BOD5/L	0,4	2,0	<2,0	<2,0	<2,0
Turbidez (*)	NTU	NA	0,01	0,44	0,48	0,31

⁽¹⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Limite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Limite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

Anexo N° 6.1 Cadenas de custodia – Aguas grises sin tratamiento

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA		PARAMETROS DE REFERENCIA		PARAMETROS DE RESULTADO		OBSERVACIONES
Punto de muestreo / Estación	Código de laboratorio	Muestreo	Sub-grupo	Ubicación	N° Frascos	
A6ST	13/11/21	8:52 am	A.R.D	8616899 83354	3	Muestra de aguas grises domésticas

Información de Cliente: LAYON ZAMORA JHON EDUARDO
Plan de Muestreo: 05-2021-5573
Fecha de muestreo: 15-11-2021
Ubicación de muestreo: Los Olivos - Lima
Nombre del proyecto: Tratamiento de aguas grises mediante un sistema de Paredes Verdes

Legenda: P: Fuelle, H: Hora, V: Vaso, T: Aire, Temperatura de muestra, CE: Conductividad eléctrica, H: Hora, E: Día, P: Paredes Verdes, T: Aire, Temperatura ambiente, CC: Código de Cliente

Clasificación de la Muestra Agua, Ref: NTP 21462

Resumen de Muestreo: Muestra por: Jhon Lozon, Jhon Lozon
 Fecha: 27/11/21, 27/11/21
 Hora: 10:02

Documentos y Comentarios:

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA		PARAMETROS DE REFERENCIA		PARAMETROS DE RESULTADO		OBSERVACIONES
Punto de muestreo / Estación	Código de laboratorio	Muestreo	Sub-grupo	Ubicación	N° Frascos	
A6ST	20/11/21	8:33 am	A.R.D	8616899 83354	3	Muestra de aguas grises domésticas

Información de Cliente: LAYON ZAMORA JHON EDUARDO
Plan de Muestreo: 05-2021-5573
Fecha de muestreo: 20-11-2021
Ubicación de muestreo: Los Olivos - Lima
Nombre del proyecto: Tratamiento de aguas grises mediante un sistema de Paredes Verdes

Legenda: P: Fuelle, H: Hora, V: Vaso, T: Aire, Temperatura de muestra, CE: Conductividad eléctrica, H: Hora, E: Día, P: Paredes Verdes, T: Aire, Temperatura ambiente, CC: Código de Cliente

Clasificación de la Muestra Agua, Ref: NTP 21462

Resumen de Muestreo: Muestra por: Gisela Manzo, Gisela Manzo
 Fecha: 20/11/21, 20/11/21
 Hora: 10:02

Documentos y Comentarios:

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA		PARAMETROS DE REFERENCIA		PARAMETROS DE RESULTADO		OBSERVACIONES
Punto de muestreo / Estación	Código de laboratorio	Muestreo	Sub-grupo	Ubicación	N° Frascos	
A6ST	13/11/21	8:52 am	A.R.D	8616899 83354	3	Muestra de aguas grises domésticas

Información de Cliente: LAYON ZAMORA JHON EDUARDO
Plan de Muestreo: 05-2021-5573
Fecha de muestreo: 15-11-2021
Ubicación de muestreo: Los Olivos - Lima
Nombre del proyecto: Tratamiento de aguas grises mediante un sistema de Paredes Verdes

Legenda: P: Fuelle, H: Hora, V: Vaso, T: Aire, Temperatura de muestra, CE: Conductividad eléctrica, H: Hora, E: Día, P: Paredes Verdes, T: Aire, Temperatura ambiente, CC: Código de Cliente

Clasificación de la Muestra Agua, Ref: NTP 21462

Resumen de Muestreo: Muestra por: Jhon Lozon, Jhon Lozon
 Fecha: 27/11/21, 27/11/21
 Hora: 10:02

Documentos y Comentarios:

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA		PARAMETROS DE REFERENCIA		PARAMETROS DE RESULTADO		OBSERVACIONES
Punto de muestreo / Estación	Código de laboratorio	Muestreo	Sub-grupo	Ubicación	N° Frascos	
A6ST	13/11/21	8:52 am	A.R.D	8616899 83354	3	Muestra de aguas grises domésticas

Información de Cliente: LAYON ZAMORA JHON EDUARDO
Plan de Muestreo: 05-2021-5573
Fecha de muestreo: 15-11-2021
Ubicación de muestreo: Los Olivos - Lima
Nombre del proyecto: Tratamiento de aguas grises mediante un sistema de Paredes Verdes

Legenda: P: Fuelle, H: Hora, V: Vaso, T: Aire, Temperatura de muestra, CE: Conductividad eléctrica, H: Hora, E: Día, P: Paredes Verdes, T: Aire, Temperatura ambiente, CC: Código de Cliente

Clasificación de la Muestra Agua, Ref: NTP 21462

Resumen de Muestreo: Muestra por: Jhon Lozon, Jhon Lozon
 Fecha: 27/11/21, 27/11/21
 Hora: 10:02

Documentos y Comentarios:

ALAB		CADENA DE CUSTODIA - MATRIZ AGUA										L: 409142 M: 888-846-11	
Fecha del informe: 11-22 Orden de servicio: OS-2021-6573 Plan de Muestreo: CC-22-19-501 Informe de anejo: IR-22-7-86 Procedencia o lugar de muestreo: Los Olivos - Lima												Plan de Muestreo: CC-22-19-501 Informe de anejo: IR-22-7-86 Procedencia o lugar de muestreo: Los Olivos - Lima	
Descripción de la muestra: Punto de muestreo / Estación: AGST Código de laboratorio: 02917 Muestreo: F: 22/01/2022, H: 8:55 am Clasificación: A.R.D. Ubicación: N: 827688, E: 27264 Nº Frascos: 3 Observaciones: Muestra de agua grta doméstica													
Descripción de equipos utilizados: 1. Código interno del equipo: [] Nombre de equipo: [] 2. [] [] 3. [] [] 4. [] [] Legenda: P: Fecha, H: Hora, N: Hora, E: Día, V: Vial, P: Plástico, **Año: Temperatura ambiente Muestreado por: Giannella Mendoza, Jhon Lozón Fecha: 22/01/2022, 22/01/2022 Firma: [] [] Muestreado por: <input type="checkbox"/> ALAB <input checked="" type="checkbox"/> Cliente													

ALAB		CADENA DE CUSTODIA - MATRIZ AGUA										L: 409142 M: 888-846-11	
Fecha del informe: 11-22 Orden de servicio: OS-2021-6573 Plan de Muestreo: CC-22-19-501 Informe de anejo: IR-22-7-86 Procedencia o lugar de muestreo: Los Olivos - Lima												Plan de Muestreo: CC-22-19-501 Informe de anejo: IR-22-7-86 Procedencia o lugar de muestreo: Los Olivos - Lima	
Descripción de la muestra: Punto de muestreo / Estación: AGST Código de laboratorio: 02917 Muestreo: F: 22/01/2022, H: 8:55 am Clasificación: A.R.D. Ubicación: N: 827688, E: 27264 Nº Frascos: 3 Observaciones: Muestra de agua grta doméstica													
Descripción de equipos utilizados: 1. Código interno del equipo: [] Nombre de equipo: [] 2. [] [] 3. [] [] 4. [] [] Legenda: P: Fecha, H: Hora, N: Hora, E: Día, V: Vial, P: Plástico, **Año: Temperatura ambiente Muestreado por: Giannella Mendoza, Jhon Lozón Fecha: 22/01/2022, 22/01/2022 Firma: [] [] Muestreado por: <input type="checkbox"/> ALAB <input checked="" type="checkbox"/> Cliente													

Anexo N° 6.2 Cadenas de custodia – Aguas tratadas

DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN		MUESTREO		ANÁLISIS		OBSERVACIONES	
Punto de muestreo / Estación	Código de Ubicación	Numero	Clasificación	Ubicación	N° Frascos	CE (Línea MP)	Observaciones
AGT-A	557/6	13/11/21	A.R.D	3	✓	✓	Muestra de agua tratada
AGT-N	557/8	13/11/21	A.R.D	3	✓	✓	Muestra de agua tratada
AGT-S	557/8	13/11/21	A.R.D	3	✓	✓	Muestra de agua tratada

Descripción de equipos utilizados:

Leyenda:

Clasificación de la Muestra Agua, Ref. NTP 214.02

Información Adicional:

Orden de servicio: OS-2021-5573 / Pág. 4 de 4
 Fecha de Muestreo: 13/11/21 / CC-21-16577
 Persona de contacto: Jhon Lagon / Correo: jhon.lagon.z@gmail.com / 998235530
 Nombre del personal: Tratamiento de aguas grises mediante un sistema de Purifica Victoria
 Procedimiento a seguir de muestreo: Los Olivos - Lima

Informes:

DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN		MUESTREO		ANÁLISIS		OBSERVACIONES	
Punto de muestreo / Estación	Código de Ubicación	Numero	Clasificación	Ubicación	N° Frascos	CE (Línea MP)	Observaciones
AGT-A	557/6	20/11/21	A.R.D	3	✓	✓	Muestra de agua tratada
AGT-N	557/8	20/11/21	A.R.D	3	✓	✓	Muestra de agua tratada
AGT-S	557/8	20/11/21	A.R.D	3	✓	✓	Muestra de agua tratada

Descripción de equipos utilizados:

Leyenda:

Clasificación de la Muestra Agua, Ref. NTP 214.02

Información Adicional:

Orden de servicio: OS-2021-5573 / Pág. 4 de 4
 Fecha de Muestreo: 20/11/21 / CC-21-16137
 Persona de contacto: Jhon Lagon / Correo: jhon.lagon.z@gmail.com / 998235530
 Nombre del personal: Tratamiento de aguas grises mediante un sistema de Purifica Victoria
 Procedimiento a seguir de muestreo: Los Olivos - Lima

DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN		MUESTREO		ANÁLISIS		OBSERVACIONES	
Punto de muestreo / Estación	Código de Ubicación	Numero	Clasificación	Ubicación	N° Frascos	CE (Línea MP)	Observaciones
AGT-A	5966	27/11/21	A.R.D	3	✓	✓	Muestra de agua tratada
AGT-N	5966	27/11/21	A.R.D	3	✓	✓	Muestra de agua tratada
AGT-S	5966	27/11/21	A.R.D	3	✓	✓	Muestra de agua tratada

Descripción de equipos utilizados:

Leyenda:

Clasificación de la Muestra Agua, Ref. NTP 214.02

Información Adicional:

Orden de servicio: OS-2021-5573 / Pág. 4 de 4
 Fecha de Muestreo: 27/11/21 / CC-21-16723
 Persona de contacto: Jhon Lagon / Correo: jhon.lagon.z@gmail.com / 998235530
 Nombre del personal: Tratamiento de aguas grises mediante un sistema de Purifica Victoria
 Procedimiento a seguir de muestreo: Los Olivos - Lima

DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN		MUESTREO		ANÁLISIS		OBSERVACIONES	
Punto de muestreo / Estación	Código de Ubicación	Numero	Clasificación	Ubicación	N° Frascos	CE (Línea MP)	Observaciones
AGT-A	6105	04/12/21	A.R.D	3	✓	✓	Muestra de agua tratada
AGT-N	6105	04/12/21	A.R.D	3	✓	✓	Muestra de agua tratada
AGT-S	6105	04/12/21	A.R.D	3	✓	✓	Muestra de agua tratada

Descripción de equipos utilizados:

Leyenda:

Clasificación de la Muestra Agua, Ref. NTP 214.02

Información Adicional:

Orden de servicio: OS-2021-5573 / Pág. 4 de 4
 Fecha de Muestreo: 04/12/21 / CC-21-16270
 Persona de contacto: Jhon Lagon / Correo: jhon.lagon.z@gmail.com / 998235530
 Nombre del personal: Tratamiento de aguas grises mediante un sistema de Purifica Victoria
 Procedimiento a seguir de muestreo: Los Olivos - Lima

ALAB		CADENA DE CUSTODIA - MATRIZ AGUA										P. FOLIO 1 N.º R.º																																																																																																																																																					
Datos del cliente		Orden de servicio: OS-2021-5873										Fig. 1 de 1																																																																																																																																																					
Punto Social: LAZÓN ZAMORA JHON EDUARDO		Plan de Muestreo: CC-22-19498																																																																																																																																																															
Puntaje de control: Jhon Lozón		Informe de ensayo: IE-22-163																																																																																																																																																															
Nombre del proyecto: Tratamiento de aguas grises mediante un Sistema de Paradas Variables		Procedencia o Lugar de muestreo: Los Olivos - Lima																																																																																																																																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA</th> <th colspan="10">PROCESOS DE ENSAYO</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">N.º</th> <th rowspan="2">Punto de muestreo / Etiqueta</th> <th rowspan="2">Código de laboratorio</th> <th rowspan="2">Muestreo</th> <th rowspan="2">Clasificación</th> <th rowspan="2">Ubicación</th> <th colspan="2">N.º Precios</th> <th rowspan="2">V</th> <th rowspan="2">P</th> <th rowspan="2">T.º</th> <th rowspan="2">D.º</th> <th rowspan="2">C.F.</th> <th rowspan="2">OBSERVACIONES</th> </tr> <tr> <th>Grupos</th> <th>Sub-grupos</th> <th>Coeficiente de variación</th> <th>Coeficiente de variación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>AGT-A</td> <td>02910</td> <td>F: 22010202 H: 7:50 am</td> <td>A.R.</td> <td>A.R.D.</td> <td>N: 807989 E: 27084</td> <td>-</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Muestra de agua tratada</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>AGT-A</td> <td>02911</td> <td>F: 22010202 H: 8:16 am</td> <td>A.R.</td> <td>A.R.D.</td> <td>N: 807989 E: 27084</td> <td>-</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Muestra de agua tratada</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>AGT-B</td> <td>02912</td> <td>F: 22010202 H: 8:30 am</td> <td>A.R.</td> <td>A.R.D.</td> <td>N: 807989 E: 27084</td> <td>-</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Muestra de agua tratada</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>6</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>7</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>8</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>												DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA		PROCESOS DE ENSAYO										N.º	Punto de muestreo / Etiqueta	Código de laboratorio	Muestreo	Clasificación	Ubicación	N.º Precios		V	P	T.º	D.º	C.F.	OBSERVACIONES	Grupos	Sub-grupos	Coeficiente de variación	Coeficiente de variación	1	AGT-A	02910	F: 22010202 H: 7:50 am	A.R.	A.R.D.	N: 807989 E: 27084	-	3						Muestra de agua tratada	2	AGT-A	02911	F: 22010202 H: 8:16 am	A.R.	A.R.D.	N: 807989 E: 27084	-	3						Muestra de agua tratada	3	AGT-B	02912	F: 22010202 H: 8:30 am	A.R.	A.R.D.	N: 807989 E: 27084	-	3						Muestra de agua tratada	4															5															6															7															8														
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA		PROCESOS DE ENSAYO																																																																																																																																																															
N.º	Punto de muestreo / Etiqueta	Código de laboratorio	Muestreo	Clasificación	Ubicación	N.º Precios		V	P	T.º	D.º	C.F.	OBSERVACIONES																																																																																																																																																				
						Grupos	Sub-grupos							Coeficiente de variación	Coeficiente de variación																																																																																																																																																		
1	AGT-A	02910	F: 22010202 H: 7:50 am	A.R.	A.R.D.	N: 807989 E: 27084	-	3						Muestra de agua tratada																																																																																																																																																			
2	AGT-A	02911	F: 22010202 H: 8:16 am	A.R.	A.R.D.	N: 807989 E: 27084	-	3						Muestra de agua tratada																																																																																																																																																			
3	AGT-B	02912	F: 22010202 H: 8:30 am	A.R.	A.R.D.	N: 807989 E: 27084	-	3						Muestra de agua tratada																																																																																																																																																			
4																																																																																																																																																																	
5																																																																																																																																																																	
6																																																																																																																																																																	
7																																																																																																																																																																	
8																																																																																																																																																																	
Descripción de equipos utilizados:		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Legenda</th> <th>Clasificación de la Matriz Agua, Ref: NTP 214.042</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P: Filtro H: Horno E: Estufa P: Plástico</td> <td> <input type="checkbox"/> AGT: Agua Tratada <input type="checkbox"/> AGT: Agua no Tratada <input type="checkbox"/> AGT: Agua de Proceso <input type="checkbox"/> AGT: Agua de Consumo </td> </tr> </tbody> </table>										Legenda	Clasificación de la Matriz Agua, Ref: NTP 214.042	P: Filtro H: Horno E: Estufa P: Plástico	<input type="checkbox"/> AGT: Agua Tratada <input type="checkbox"/> AGT: Agua no Tratada <input type="checkbox"/> AGT: Agua de Proceso <input type="checkbox"/> AGT: Agua de Consumo																																																																																																																																																		
Legenda	Clasificación de la Matriz Agua, Ref: NTP 214.042																																																																																																																																																																
P: Filtro H: Horno E: Estufa P: Plástico	<input type="checkbox"/> AGT: Agua Tratada <input type="checkbox"/> AGT: Agua no Tratada <input type="checkbox"/> AGT: Agua de Proceso <input type="checkbox"/> AGT: Agua de Consumo																																																																																																																																																																
Muestreado por: Gisela Mendoza		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nombre</th> <th>Clase</th> <th>Fecha</th> <th>Hora</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Gisela Mendoza</td> <td>Jhon Lozón</td> <td>20210202</td> <td>10:00</td> </tr> </tbody> </table>										Nombre	Clase	Fecha	Hora	Gisela Mendoza	Jhon Lozón	20210202	10:00																																																																																																																																														
Nombre	Clase	Fecha	Hora																																																																																																																																																														
Gisela Mendoza	Jhon Lozón	20210202	10:00																																																																																																																																																														
Observaciones / Comentarios:		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Descripción de equipos utilizados:</th> <th>Legenda</th> <th>Clasificación de la Matriz Agua, Ref: NTP 214.042</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P: Filtro H: Horno E: Estufa P: Plástico</td> <td> <input type="checkbox"/> AGT: Agua Tratada <input type="checkbox"/> AGT: Agua no Tratada <input type="checkbox"/> AGT: Agua de Proceso <input type="checkbox"/> AGT: Agua de Consumo </td> <td> <input type="checkbox"/> AGT: Agua Tratada <input type="checkbox"/> AGT: Agua no Tratada <input type="checkbox"/> AGT: Agua de Proceso <input type="checkbox"/> AGT: Agua de Consumo </td> </tr> </tbody> </table>										Descripción de equipos utilizados:	Legenda	Clasificación de la Matriz Agua, Ref: NTP 214.042	P: Filtro H: Horno E: Estufa P: Plástico	<input type="checkbox"/> AGT: Agua Tratada <input type="checkbox"/> AGT: Agua no Tratada <input type="checkbox"/> AGT: Agua de Proceso <input type="checkbox"/> AGT: Agua de Consumo	<input type="checkbox"/> AGT: Agua Tratada <input type="checkbox"/> AGT: Agua no Tratada <input type="checkbox"/> AGT: Agua de Proceso <input type="checkbox"/> AGT: Agua de Consumo																																																																																																																																																
Descripción de equipos utilizados:	Legenda	Clasificación de la Matriz Agua, Ref: NTP 214.042																																																																																																																																																															
P: Filtro H: Horno E: Estufa P: Plástico	<input type="checkbox"/> AGT: Agua Tratada <input type="checkbox"/> AGT: Agua no Tratada <input type="checkbox"/> AGT: Agua de Proceso <input type="checkbox"/> AGT: Agua de Consumo	<input type="checkbox"/> AGT: Agua Tratada <input type="checkbox"/> AGT: Agua no Tratada <input type="checkbox"/> AGT: Agua de Proceso <input type="checkbox"/> AGT: Agua de Consumo																																																																																																																																																															

ALAB		CADENA DE CUSTODIA - MATRIZ AGUA										P. FOLIO 1 N.º R.º																																																																																																																																																					
Datos del cliente		Orden de servicio: OS-2021-5873										Fig. 1 de 1																																																																																																																																																					
Punto Social: LAZÓN ZAMORA JHON EDUARDO		Plan de Muestreo: CC-22-19890																																																																																																																																																															
Puntaje de control: Jhon Lozón		Informe de ensayo: IE-22-163																																																																																																																																																															
Nombre del proyecto: Tratamiento de aguas grises mediante un Sistema de Paradas Variables		Procedencia o Lugar de muestreo: Los Olivos - Lima																																																																																																																																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA</th> <th colspan="10">PROCESOS DE ENSAYO</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">N.º</th> <th rowspan="2">Punto de muestreo / Etiqueta</th> <th rowspan="2">Código de laboratorio</th> <th rowspan="2">Muestreo</th> <th rowspan="2">Clasificación</th> <th rowspan="2">Ubicación</th> <th colspan="2">N.º Precios</th> <th rowspan="2">V</th> <th rowspan="2">P</th> <th rowspan="2">T.º</th> <th rowspan="2">D.º</th> <th rowspan="2">C.F.</th> <th rowspan="2">OBSERVACIONES</th> </tr> <tr> <th>Grupos</th> <th>Sub-grupos</th> <th>Coeficiente de variación</th> <th>Coeficiente de variación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>AGT-A</td> <td>04021</td> <td>F: 26010202 H: 7:50 am</td> <td>A.R.</td> <td>A.R.D.</td> <td>N: 807989 E: 27084</td> <td>-</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Muestra de agua tratada</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>AGT-A</td> <td>04022</td> <td>F: 26010202 H: 8:16 am</td> <td>A.R.</td> <td>A.R.D.</td> <td>N: 807989 E: 27084</td> <td>-</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Muestra de agua tratada</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>AGT-B</td> <td>04023</td> <td>F: 26010202 H: 8:30 am</td> <td>A.R.</td> <td>A.R.D.</td> <td>N: 807989 E: 27084</td> <td>-</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Muestra de agua tratada</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>6</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>7</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>8</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>												DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA		PROCESOS DE ENSAYO										N.º	Punto de muestreo / Etiqueta	Código de laboratorio	Muestreo	Clasificación	Ubicación	N.º Precios		V	P	T.º	D.º	C.F.	OBSERVACIONES	Grupos	Sub-grupos	Coeficiente de variación	Coeficiente de variación	1	AGT-A	04021	F: 26010202 H: 7:50 am	A.R.	A.R.D.	N: 807989 E: 27084	-	3						Muestra de agua tratada	2	AGT-A	04022	F: 26010202 H: 8:16 am	A.R.	A.R.D.	N: 807989 E: 27084	-	3						Muestra de agua tratada	3	AGT-B	04023	F: 26010202 H: 8:30 am	A.R.	A.R.D.	N: 807989 E: 27084	-	3						Muestra de agua tratada	4															5															6															7															8														
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA		PROCESOS DE ENSAYO																																																																																																																																																															
N.º	Punto de muestreo / Etiqueta	Código de laboratorio	Muestreo	Clasificación	Ubicación	N.º Precios		V	P	T.º	D.º	C.F.	OBSERVACIONES																																																																																																																																																				
						Grupos	Sub-grupos							Coeficiente de variación	Coeficiente de variación																																																																																																																																																		
1	AGT-A	04021	F: 26010202 H: 7:50 am	A.R.	A.R.D.	N: 807989 E: 27084	-	3						Muestra de agua tratada																																																																																																																																																			
2	AGT-A	04022	F: 26010202 H: 8:16 am	A.R.	A.R.D.	N: 807989 E: 27084	-	3						Muestra de agua tratada																																																																																																																																																			
3	AGT-B	04023	F: 26010202 H: 8:30 am	A.R.	A.R.D.	N: 807989 E: 27084	-	3						Muestra de agua tratada																																																																																																																																																			
4																																																																																																																																																																	
5																																																																																																																																																																	
6																																																																																																																																																																	
7																																																																																																																																																																	
8																																																																																																																																																																	
Descripción de equipos utilizados:		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Legenda</th> <th>Clasificación de la Matriz Agua, Ref: NTP 214.042</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P: Filtro H: Horno E: Estufa P: Plástico</td> <td> <input type="checkbox"/> AGT: Agua Tratada <input type="checkbox"/> AGT: Agua no Tratada <input type="checkbox"/> AGT: Agua de Proceso <input type="checkbox"/> AGT: Agua de Consumo </td> </tr> </tbody> </table>										Legenda	Clasificación de la Matriz Agua, Ref: NTP 214.042	P: Filtro H: Horno E: Estufa P: Plástico	<input type="checkbox"/> AGT: Agua Tratada <input type="checkbox"/> AGT: Agua no Tratada <input type="checkbox"/> AGT: Agua de Proceso <input type="checkbox"/> AGT: Agua de Consumo																																																																																																																																																		
Legenda	Clasificación de la Matriz Agua, Ref: NTP 214.042																																																																																																																																																																
P: Filtro H: Horno E: Estufa P: Plástico	<input type="checkbox"/> AGT: Agua Tratada <input type="checkbox"/> AGT: Agua no Tratada <input type="checkbox"/> AGT: Agua de Proceso <input type="checkbox"/> AGT: Agua de Consumo																																																																																																																																																																
Muestreado por: Jhon Lozón		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nombre</th> <th>Clase</th> <th>Fecha</th> <th>Hora</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Jhon Lozón</td> <td>Jhon Lozón</td> <td>20210202</td> <td>10:02</td> </tr> </tbody> </table>										Nombre	Clase	Fecha	Hora	Jhon Lozón	Jhon Lozón	20210202	10:02																																																																																																																																														
Nombre	Clase	Fecha	Hora																																																																																																																																																														
Jhon Lozón	Jhon Lozón	20210202	10:02																																																																																																																																																														
Observaciones / Comentarios:		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Descripción de equipos utilizados:</th> <th>Legenda</th> <th>Clasificación de la Matriz Agua, Ref: NTP 214.042</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P: Filtro H: Horno E: Estufa P: Plástico</td> <td> <input type="checkbox"/> AGT: Agua Tratada <input type="checkbox"/> AGT: Agua no Tratada <input type="checkbox"/> AGT: Agua de Proceso <input type="checkbox"/> AGT: Agua de Consumo </td> <td> <input type="checkbox"/> AGT: Agua Tratada <input type="checkbox"/> AGT: Agua no Tratada <input type="checkbox"/> AGT: Agua de Proceso <input type="checkbox"/> AGT: Agua de Consumo </td> </tr> </tbody> </table>										Descripción de equipos utilizados:	Legenda	Clasificación de la Matriz Agua, Ref: NTP 214.042	P: Filtro H: Horno E: Estufa P: Plástico	<input type="checkbox"/> AGT: Agua Tratada <input type="checkbox"/> AGT: Agua no Tratada <input type="checkbox"/> AGT: Agua de Proceso <input type="checkbox"/> AGT: Agua de Consumo	<input type="checkbox"/> AGT: Agua Tratada <input type="checkbox"/> AGT: Agua no Tratada <input type="checkbox"/> AGT: Agua de Proceso <input type="checkbox"/> AGT: Agua de Consumo																																																																																																																																																
Descripción de equipos utilizados:	Legenda	Clasificación de la Matriz Agua, Ref: NTP 214.042																																																																																																																																																															
P: Filtro H: Horno E: Estufa P: Plástico	<input type="checkbox"/> AGT: Agua Tratada <input type="checkbox"/> AGT: Agua no Tratada <input type="checkbox"/> AGT: Agua de Proceso <input type="checkbox"/> AGT: Agua de Consumo	<input type="checkbox"/> AGT: Agua Tratada <input type="checkbox"/> AGT: Agua no Tratada <input type="checkbox"/> AGT: Agua de Proceso <input type="checkbox"/> AGT: Agua de Consumo																																																																																																																																																															