



FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y EN ECOTURISMO

EFICIENCIA DE LA *Opuntia ficus indica* COMO COAGULANTE PARA EL
TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS GRISAS EN EL
ASENTAMIENTO HUMANO VILLA SOLIDARIDAD - SAN JUAN DE
MIRAFLORES

Línea de investigación:

Tecnologías para residuos y pasivos ambientales, Biorremediación

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Jaco Rivera, Evilson

Asesor:

Zamora Talaverano, Noé
(ORCID: 0000-0002-4368-8955)

Jurado:

Alva Velásquez, Miguel
Ventura Barrera, Carmen Luz
Cesar Minga, Julio

Lima - Perú

2022

Referencia:

Jaco, E. (2021). *Eficiencia de la Opuntia ficus indica como coagulante para el tratamiento de las aguas residuales domésticas grises en el Asentamiento Humano Villa Solidaridad - San Juan de Miraflores*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio Institucional UNFV. <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/5812>



Reconocimiento - No comercial - Sin obra derivada (CC BY-NC-ND)

El autor sólo permite que se pueda descargar esta obra y compartirla con otras personas, siempre que se reconozca su autoría, pero no se puede generar obras derivadas ni se puede utilizar comercialmente.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y
ECOTURISMO**

EFICIENCIA DE LA *Opuntia ficus indica* COMO COAGULANTE PARA EL
TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS GRISES
EN EL ASENTAMIENTO HUMANO VILLA SOLIDARIDAD - SAN JUAN
DE MIRAFLORES

Línea de Investigación:

Tecnologías para residuos y pasivos ambientales, Biorremediación

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental

AUTOR:

Jaco Rivera, Evilson

ASESOR:

Noé Zamora Talaverano
(ORCID: 0000-0002-4368-8955)

JURADO:

Alva Velásquez, Miguel
Ventura Barrera, Carmen Luz
Cesar Minga, Julio

Lima - Perú

2022

Dedicatoria

A mis queridos padres Ana Rivera V. y Jaime Jaco U. por su apoyo incondicional, por el gran amor que me brindan desde siempre, por su compañía en cada paso que doy, inculcándome a ser responsable y mejor persona; apoyándome en cada objetivo, cada propósito, cada sueño; y haciendo que esto se haga realidad. A mi abuelita, Vilma Rivera N., quien siempre me brinda las fuerzas necesarias para continuar en este camino, inculcándome los buenos valores. A mis hermanos Coqui, Mirtha, Edith, Jaime Jaco Rivera, quienes me apoyan y brindan su atención en todo momento, preocupándose por mi bienestar de cada día.

A mis mamitas Juana Vergara S. y Ema Rivera N. A mi abuelo Sebastián Rivera R. Que desde el cielo me guían.

Agradecimiento

A Dios por iniciar y concluir este trabajo de pregrado de forma satisfactoria.

A mis padres por apoyarme a que mis sueños se hagan realidad, por guiarme en la vida y por ser lo seres que motivan mis pasos en los momentos más difíciles.

A mis hermanos por su cariño, apoyo y comprensión.

A mi asesor Dr. Noé Zamora Talaverano, por brindarme la oportunidad de desarrollar el presente trabajo bajo sus tutorías.

Agradecimiento especial a todos mis hermanos (as) del Instituto Especializado de Investigación y Gestión del Agua (INEIGA) por el apoyo incondicional, por acogerme y brindarme su amistad.

Al Dr. Jhon Walter Gómez L, Mg. Fredy Condori H, Mg. Frank Loroña C, Mg. Katherine Camacho Z, Ing. Víctor Gallo R, Ing. Omar Vásquez A, por las facilidades en el uso del Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo (FIGAE) de la Universidad Nacional Federico Villarreal (UNFV).

A mis amigos, maestros y compañeros de la promoción base 2014 por compartir años de grata experiencia en diferentes ámbitos de la carrera profesional de Ingeniería Ambiental.

Índice General

ÍNDICE GENERAL	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
RESUMEN	XII
ABSTRACT.....	XIII
I. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1. Descripción y formulación del problema.....	15
1.2. Antecedentes	16
1.3. Objetivos.....	22
1.3.1. Objetivo General.....	22
1.3.2. Objetivos Específicos.....	22
1.4. Justificación	23
1.5. Hipótesis	24
II. MARCO TEÓRICO	25
2.1. Aguas Residuales	25
2.1.1. Clasificación de las Aguas Residuales.....	25
2.2. Aguas Grises	27
2.2.1. Composición de las Aguas Grises según su Origen.....	28
2.2.2. Caracterización de Aguas Grises	29
2.3. Tratamiento de Aguas Grises.....	39
2.3.1. Sistemas de Tratamientos Primarios.....	41
2.3.2. Sistemas de Tratamientos Secundarios.....	42
2.4. Tipos de reúsos para Aguas Grises	42
2.4.1. Usos Urbanos	42
2.4.2. Usos Agrícolas	43
2.4.3. Restauración Ambiental y Usos Recreacionales.....	43
2.4.4. Usos Industriales y Mineros.....	43
2.4.5. Recarga de Acuíferos.....	43
2.5. Salud y Ambiente.....	44
2.5.1. Salud	44
2.5.2. Efectos en el Ambiente	46
2.6. Guías de Reutilización de Aguas Grises.....	47

2.7. Tuna o Nopal (<i>Opuntia ficus indica</i>)	48
2.7.1. Taxonomía	50
2.7.2. Descripción Física del <i>Opuntia ficus indica</i>	51
2.7.3. Métodos de Propagación.....	55
2.7.4. Composición Química General.....	57
2.8. El Mucílago de la Tuna (<i>Opuntia ficus indica</i>).....	60
2.8.1. Composición Química del Mucílago	62
2.8.2. Aplicaciones del Mucílago de la Tuna.....	64
2.8.3. La Tuna (<i>Opuntia ficus indica</i>) como Agente DEpurador.....	65
2.9. Partículas en Suspensión.....	66
2.10. Partículas Coloidales.....	67
2.10.1. Propiedades de los Coloides	68
2.10.2. Afinidad de las Partículas Coloidales con el Agua.....	70
2.10.3. Carga Eléctrica y Doble Capa.....	70
2.10.4. Factores de Estabilidad e Inestabilidad.....	70
2.10.5. Estabilidad de los Coloides.....	71
2.10.6. Remoción de las Partículas Coloidales	71
2.11. Coagulación	72
2.11.1. Mecanismos de Coagulación	73
2.11.2. Etapas o Fases de Coagulación	76
2.11.3. Tipos de Coagulación	77
2.11.4. Factores que Influyen en la Coagulación.....	77
2.11.5. Tipos de Coagulantes.....	81
2.12. Floculación.....	83
2.12.1. Floculación Pericínética.....	84
2.12.2. Floculación ortocinética.....	84
2.12.3. Tipos de Floc.....	84
2.13. Marco Legal.....	85
III: MÉTODO	89
3.1. Tipo de Investigación.....	89
3.2. Ámbito Temporal y Espacial	89
3.3. Variables	91
3.4. Población y Muestra	92

3.5. Instrumentos.....	93
3.6. Procedimientos.....	97
3.7. Análisis de Datos	119
IV: RESULTADOS	120
5.1. Parámetros Fisicoquímicos de las Aguas Grises Domésticas antes del Tratamiento con el Coagulante <i>Opuntia ficus indica</i>	120
5.2. Parámetros Óptimos de la <i>Opuntia ficus indica</i> como Coagulante.....	121
5.2.1. Resultados de los Parámetros Fisicoquímicos	121
5.2.2. Resultados de Parámetros Orgánicos y Nutritivos.....	131
5.2.3. Dosis óptima de coagulante natural <i>Opuntia ficus indica</i>	137
5.2.4. Comprobación Estadística de los Resultados	144
5.3. Determinación de los parámetros fisicoquímicos de las aguas grises domésticas tratados en el sistema piloto.....	149
5.4. Diseño e implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas grises a una escala de prueba	150
5.4.1. Cálculo de los flujos semanales de aguas grises.....	150
5.4.2. Determinación del caudal a partir del agua gris de abastecimiento.....	154
5.4.3. Diseño del sistema de prueba.....	155
5.4.4. Implementación del sistema de prueba	156
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	158
VI. CONCLUSIONES	161
VII. RECOMENDACIONES	163
VIII. REFERENCIAS.....	165

Índice de Tablas

Tabla 1. Características de la variable dependiente	91
Tabla 2 Características de la variable independiente	92
Tabla 3 Composición típica del agua residual doméstica sin tratar	26
Tabla 4 Resumen de caracterización de aguas grises, según diversas fuentes	31
Tabla 5 Características de aguas grises según origen	34
Tabla 6 Resumen de caracterización de aguas grises por origen según diversas fuentes.....	35
Tabla 7 Comparación de aguas según diversos parámetros.....	37
Tabla 8 Agentes infecciosos potencialmente presentes en Aguas Residuales Domésticas No Tratadas.....	46
Tabla 9 Taxonomía del nopal	50
Tabla 10 Análisis fitoquímico del Cactus <i>Opuntia ficus indica</i>	57
Tabla 11 Composición química de la Penca del Nopal	58
Tabla 12 Composición química de 100g de nopal fresco	58
Tabla 13 Composición química de cladodios de distintas edades (porcentaje materia seca) ..	59
Tabla 14 Propiedad del polvo de cactus <i>Opuntia ficus indica</i>	59
Tabla 15 Rendimiento de mucílago y composición química (g/100 g).....	62
Tabla 16 Peso molecular (PM) y monómero (galactosa, ramnosa, arabinosa, xilosa, ácido galacturónico) presentes en mucílago de <i>Opuntia</i> spp. Según diferentes estudios.....	62
Tabla 17 Principales compuestos en el mucílago	63
Tabla 18 Efecto al disminuir el tamaño de las partículas.	68
Tabla 19 Índice de floculación de Willcomb	84
Tabla 20 Esquema experimental de la muestra.....	93
Tabla 21 Estimación del gasto de agua en una vivienda de cinco (5) habitantes por día	100
Tabla 22 Aplicación de la dosis del coagulante natural.....	106
Tabla 23 Programación del equipo de jarras.....	107
Tabla 24 Parámetros físicoquímicos medidos	109
Tabla 25 Parámetros básicos registrados antes del tratamiento.....	120
Tabla 26 Parámetros de carga orgánica y nutrientes registrados antes del tratamiento.....	121
Tabla 27 Parámetro de pH registrados	122
Tabla 28 Parámetro de conductividad registrada	123
Tabla 29 Parámetro de salinidad registrada	125
Tabla 30 Parámetros de TDS registrados.....	127

Tabla 31 Parámetros de SST registrados	128
Tabla 32 Parámetros de turbidez registrados	130
Tabla 33 Parámetros de DBO registrados.....	131
Tabla 34 Parámetros de DQO registrados	132
Tabla 35 Parámetros de S.A.A.M detergentes registrados	134
Tabla 36 Parámetros de fosfato registrados	135
Tabla 37 Parámetros de nitrito registrados	136
Tabla 38 Dosis óptima del coagulante natural <i>Opuntia ficus indica</i> – parámetros físicoquímicos, carga orgánica y de nutrientes	139
Tabla 39 Prueba de normalidad de los datos de las variables.....	145
Tabla 40 Prueba ANOVA para el parámetro pH	146
Tabla 41 Prueba ANOVA para el parámetro conductividad eléctrica.....	146
Tabla 42 Prueba ANOVA para el parámetro TDS	146
Tabla 43 Prueba ANOVA para el parámetro SST	147
Tabla 44 Prueba ANOVA para el parámetro turbidez.....	147
Tabla 45 Prueba ANOVA para parámetros orgánicos – nutritivos	148
Tabla 46 Parámetros físicoquímicos de entrada y salida del sistema	149

Índice de Figuras

Figura 1 Fuentes de aguas grises	27
Figura 2 Composición de las aguas servidas según origen.....	28
Figura 3 Composición de las aguas grises según origen.....	29
Figura 4 Crecimiento y sobrevivencia de bacterias en aguas grises.....	31
Figura 5 Consumo de agua potable en las actividades desarrolladas en el hogar por persona por día.....	38
Figura 6 Sistemas de tratamiento de aguas grises.....	39
Figura 7 Descripción física del <i>Opuntia ficus indica</i>	49
Figura 8 Características de la tuna o nopal (<i>Opuntia ficus indica</i>).....	50
Figura 9 <i>Opuntia ficus indica</i> plantas de paisaje de desierto.....	51
Figura 10 Esquema de las partes del <i>Opuntia ficus indica</i>	52
Figura 11 Arquitectura de planta adulta tuna.....	53
Figura 12 Parámetros morfométricos del cladodio considerados en trabajos de investigación	54
Figura 13 Cladodios tiernos mostrando las hojas caducas.....	54
Figura 14 Plantación de Nopal bajo sistema tradicional.....	56
Figura 15 Plantaciones de Nopal bajo el sistema de siembra micro túnel.....	57
Figura 16 Estructura del cladodio de nopal	60
Figura 17 Estructura parcial propuesta del mucilago de <i>Opuntia ficus indica</i>	64
Figura 18 Distribución del tamaño de las partículas en el agua	67
Figura 19 Desestabilización del coloide	72
Figura 20 Reestabilización de partículas	74
Figura 21 Atrapamiento de las partículas en un floculo	75
Figura 22 Efecto de puente de las partículas en suspensión	75
Figura 23 Fases de la coagulación	76
Figura 24 Zona de coagulación.....	79
Figura 25 Floculación	83
Figura 26 Mapa de Sectores de San Juan de Miraflores.....	90
Figura 27 Mapa de ubicación Asentamiento Humano Villa Solidaridad 2° Etapa	91
Figura 28 Recolección de aguas grises, efluente de lavador	98
Figura 29 Recolección de aguas grises, efluente de fregadero y lavabo	99
Figura 30 Recolección de aguas grises, efluente de ducha.....	99

Figura 31 Unión de volúmenes iguales de agua gris de diferentes fuentes	100
Figura 32 Procedencia de las pencas de cactus <i>Opuntia ficus indica</i> - tunales de Corcona ..	103
Figura 33 Reducción de la pulpa de cactus.....	104
Figura 34 Tiras de cactus antes del proceso de secado y tiras de cactus deshidratado.....	104
Figura 35 Harina de tuna <i>Opuntia ficus indica</i> tamizado	105
Figura 36 Coagulante en forma de harina obtenido del cactus <i>Opuntia ficus indica</i>	105
Figura 37 Acondicionamiento de las cinco jarras con un litro de agua gris	106
Figura 38 Adición de la dosis de coagulante natural <i>Opuntia ficus indica</i>	107
Figura 39 Equipo de prueba de jarra en funcionamiento	108
Figura 40 Jarras en reposo con vasos precipitados tomadores de muestras	108
Figura 41 Monitoreo del agua gris antes de los ensayos en laboratorio	110
Figura 42 Monitoreo de las aguas grises después de los ensayos en el equipo de prueba de jarras.....	110
Figura 43	111
Figura 44 Prueba piloto de tratamiento de agua gris aplicando coagulante <i>Opuntia ficus indica</i>	111
Figura 45 Monitoreo de las aguas grises después del ingreso al sistema piloto	111
Figura 46 Componentes de la unidad de coagulación	112
Figura 47 Componentes de la unidad de sedimentación.....	113
Figura 48 Componentes de la unidad de filtración	113
Figura 49 Reservorio de almacenamiento de agua gris	114
Figura 50 Preparación de la unidad de Coagulación	114
Figura 51 Preparación de la unidad de Sedimentación.....	115
Figura 52 Preparación de la unidad de Filtración	116
Figura 53 Sistema automático para unidad de Coagulación.....	117
Figura 54 Sistema Piloto de Tratamiento de Aguas Grises	117
Figura 55 Valores de pH obtenidos posterior a los ensayos de prueba de jarras.....	123
Figura 56 Valores de conductividad obtenida posterior a los ensayos de prueba de jarra. ...	124
Figura 57 Valores de salinidad obtenida posterior a los ensayos de prueba de jarra.....	126
Figura 58 Valores de TDS obtenida posterior a los ensayos de prueba de jarra	128
Figura 59 Valores de SST obtenida posterior a los ensayos de prueba de jarra	130
Figura 60 Valores y comportamiento de turbidez obtenida en las pruebas de jarras	131
Figura 61 Valores y comportamiento de DBO obtenida luego de las pruebas de jarras	132

Figura 62 Valores de DQO obtenida posterior a los ensayos de prueba de jarra	133
Figura 63 Valores de S.A.A.M detergente obtenida posterior a los ensayos de prueba de jarra	135
Figura 64 Valores de fosfato obtenida posterior a los ensayos de prueba de jarra	136
Figura 65 Valores de nitrito obtenida posterior a los ensayos de prueba de jarra	137
Figura 66 Valores de pH que determinan la dosis óptima del coagulante natural <i>Opuntia ficus indica</i>	140
Figura 67 Valores de Conductividad que determinan la dosis óptima del coagulante natural	140
Figura 68 Valores de Salinidad que determinan la dosis óptima del coagulante natural	141
Figura 69 Valores de TDS que determinan la dosis óptima del coagulante natural <i>Opuntia ficus indica</i>	141
Figura 70 Valores de Turbidez que determinan la dosis óptima del coagulante natural <i>Opuntia ficus indica</i>	142
Figura 71 Valores de DBO que determinan la dosis óptima del coagulante natural <i>Opuntia ficus indica</i>	142
Figura 72 Valores de DQO que determinan la dosis óptima del coagulante natural <i>Opuntia ficus indica</i>	143
Figura 73 Valores de Detergente que determinan la dosis óptima del coagulante natural <i>Opuntia ficus indica</i>	143
Figura 74 Valores de Fosforo que determinan la dosis óptima del coagulante natural <i>Opuntia ficus indica</i>	144
Figura 75 Valores de Nitrito que determinan la dosis óptima del coagulante natural <i>Opuntia ficus indica</i>	144

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia del *Opuntia ficus indica* como coagulante natural de tipo vegetal en el tratamiento de las aguas grises, con la finalidad de utilizarlas posteriormente, para riego no restringido de vegetales (categoría D1 del ECA-2017). La investigación experimental y alcance explicativo, se aplicó una población de 50 L de aguas grises provenientes de viviendas del Asentamiento Humano Villa Solidaridad en San Juan de Miraflores, Lima. Con ello, se elaboró un diseño muestra en bloque, para 10 pruebas compuestas por 5 jarras cada una, para las cuales se estableció una dosis diferente de coagulante, haciendo un total de 50 muestras o dosis por cada 1L de aguas grises. Para aplicar el coagulante, este se preparó en polvo a partir de la tuna *Opuntia ficus indica*. Antes de su aplicación, se caracterizó el agua de las muestras, determinándose los parámetros fisicoquímicos y orgánicos. Posteriormente, se establecieron las dosis para la ejecución de las pruebas de jarras, para determinar la dosis óptima de coagulante mediante la variación de los parámetros de calidad. La dosis óptima fue aplicada en un sistema de tratamiento de aguas grises a escala piloto diseñada para tal fin. Los resultados mostraron un agua inicial alcalina, con pH 9.87, turbidez 625 NTU, conductividad eléctrica 2870 ($\mu\text{s}/\text{cm}$), 1435 mg/L TDS, 572 mg/L SST, 332 mg/L de DBO, 1519 mg/L DQO, 449.65 mg/L detergente, 16.32 mg/L fosfato y 0.21 mg/L de nitrito. En cuanto a la dosis óptima de tuna *Opuntia ficus indica*, esta resultó 1.625 g por cada 1L de aguas grises, con la cual se obtuvo una remoción de 90% de turbidez, 83% SST, 74% DBO, 19% de pH, 38% DQO, 85% detergente, 65% de fosfato y 73% de nitrito. En cuanto al sistema piloto con la aplicación de la dosis óptima, se determinaron remociones de pH 30.37 %, Conductividad eléctrica 16.42 %, Salinidad de 38.46 %, TDS 17.02%, SST 96.67%, Turbidez 88.19%, DBO 72.98 %, DQO 71.41%, S.A.A.M. Detergentes 90.64%, Fosfato 65.34% y Nitrito 72.81%. Los resultados se validaron estadísticamente a un 95% de confianza, para lo cual se comprobó que si hay diferencias significativas en los parámetros fisicoquímicos de las aguas grises tratadas con la dosis de coagulante natural para significancias menores a 0.05. Por lo que se concluye, que la tuna *Opuntia ficus indica* es eficiente para el tratamiento de aguas grises.

Palabras claves: Agua gris, tuna, *Opuntia ficus indica*, coagulante, calidad del agua, sistema piloto.

Abstract

The purpose the research aimed to evaluate the efficiency of *Opuntia ficus indica* as a natural plant-type coagulant in the treatment of gray water, in order to subsequently use it for unrestricted irrigation of vegetables (category D1 from ECA-2017). The experimental research and explanatory scope, a population of 50 L of gray water from homes of the Villa Solidaridad Human Settlement in San Juan de Miraflores, Lima was applied. With this, a block sample design was elaborated, for 10 tests composed of 5 jars each, for which a different dose of coagulant was established, making a total of 50 samples or doses for each 1L of gray water. To apply the coagulant, it was prepared into a powder from the *Opuntia ficus indica* prickly pear. Before application, the water in the samples was characterized, determining the physicochemical and organic parameters. Subsequently, the doses were established for the execution of the jar tests, to determine the optimal dose of coagulant through the variation of the quality parameters. The optimal dose was applied in a pilot-scale gray water treatment system designed for this purpose. The results showed an initial alkaline water, with pH 9.87, turbidity 625 NTU, electrical conductivity 2870 ($\mu\text{s} / \text{cm}$), 1435 mg / L TDS, 572 mg / L TSS, 332 mg / L BOD, 1519 mg / L COD, 449.65 mg / L detergent, 16.32 mg / L phosphate and 0.21 mg / L nitrite. Regarding the optimal dose of *Opuntia ficus indica* prickly pear, this was 1,625 g per 1L of gray water, with which a removal of 90% turbidity, 83% SST, 74% BOD, 19% pH, 38 % COD, 85% detergent, 65% phosphate and 73% nitrite. Regarding the pilot system with the application of the optimal dose, removals of pH 30.37%, electrical conductivity 16.42%, Salinity of 38.46 ‰, TDS 17.02%, SST 96.67%, Turbidity 88.19%, BOD72.98%, COD 71.41 were determined %, SAAM Detergents 90.64%, Phosphate 65.34% and Nitrite 72.81%. The results were statistically validated at 95% confidence, for which it was verified that there are significant differences in the physicochemical parameters of the gray water treated with the dose of natural coagulant for significance less than 0.05. Therefore, it is concluded that the prickly pear *Opuntia ficus indica* is efficient for the treatment of gray water.

Key words: Gray water, prickly pear, *Opuntia ficus indica*, coagulant, water quality, pilot system

I. INTRODUCCIÓN

Se sabe muy bien que el agua es uno de los recursos vitales y más importante para todos los seres vivos de nuestro planeta, ya que además de requerirse para la sobrevivencia de la vida, también se requiere en muchos aspectos de la actividad económica. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y el Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP), la importancia y relación del agua está más allá de los ámbitos sociales, económicos y ambientales, que desarrollados de manera integral forman los pilares del Desarrollo Sustentable.

De la revisión del estudio efectuado por la SUNASS (2008), se desprende que el 70% de las aguas residuales en el Perú no tienen tratamiento de aguas alguno; que de las 143 plantas de tratamiento residual que existen en el Perú, solo el 14% cumplen con la normatividad vigente para el cabal funcionamiento de estas. Así mismo en un estudio de la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2013) precisa además que: según datos del 2009, de 786 millones de metros cúbicos (MMC) de Aguas Residuales Domesticas (ARD) que se generan, 511 MMC se encontraban sin Tratamiento, de las cuales corresponden a Lima y Callao 325 MMC.

En el Perú el ahorro de agua y reúso de aguas residuales domésticas tratadas está normada mediante el D.S. N° 015-2015-Vivienda que aprueba el Código Técnico de Construcción Sostenible, sin embargo la aplicación de esta norma es opcional en el territorio nacional, en las edificaciones nuevas; haciendo que las viviendas no cuentan con separación de aguas residuales domésticas (negras y grises), lo que implica que las aguas grises son vertidas directamente a las redes de alcantarillado, donde se mezclan con las aguas negras, desechos orgánicos e inorgánicos para posteriormente ser conducidas a las plantas de tratamiento de aguas residuales esto dificulta su reutilización e incrementa los costos de tratabilidad.

Poder acceder al agua y contar con su disponibilidad tiene bastante relación con el bienestar social, un gran crecimiento económico, una seguridad en la alimentación y sobre todo con una afable salud humana, por lo que desarrollar y practicar buenos hábitos de uso y cuidado de este recurso es un gran reto para toda la humanidad; es por eso que en la presente investigación se evalúa la eficiencia del *Opuntia ficus indica* aplicada como coagulante natural de tipo vegetal para el tratamiento de aguas residuales domésticas grises, que a diferencia de los coagulantes convencionales no genera un impacto al medio ambiente, evita daños a la salud a largo plazo y es de fácil accesibilidad.

1.1.Descripción y formulación del problema

El mundo está experimentando cambios socioeconómicos globales que generan importantes problemas medioambientales como la escasez de agua dulce; el uso de agua sin restricciones ha crecido a nivel global a un ritmo de más del doble del aumento de la población en el siglo XX, hasta tal punto que en muchas regiones ya no es posible el suministro de un servicio de agua fiable (Nahim, 2020). La presión demográfica, el ritmo de desarrollo económico, la urbanización y la contaminación están ejerciendo una presión sin precedentes sobre un recurso renovable pero finito, sobre todo en regiones áridas y semiáridas (FAO, 2013). Asimismo, de acuerdo con Van Der Bliek et al. (2014), más del 90 % de las aguas residuales generadas en los países de bajos ingresos, y más del 70 % de las aguas residuales producidas en los países de renta media-baja, se descarga sin tratamiento a cuerpos de agua así mismo a nivel mundial, se estima que el volumen total de aguas residuales domésticas generadas está entre 680 y 960 millones de m³/día y la capacidad global de tratamiento avanzado para estas aguas es de aproximadamente 32 millones de m³/día, equivalentes al 4% del volumen total generado (GWI, 2010). Si no se opta por un uso responsable y el reaprovechamiento de este recurso, para el año 2025 cerca de 2000 millones de personas vivirán en países o en regiones donde la escasez de agua será absoluta y los recursos hídricos por persona estarán por debajo de los 500 metros cúbicos anuales recomendados, cantidad de agua que necesita una persona para llevar una vida sana e higiénica (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2009).

El agua gris representa habitualmente el 65-100 % de las aguas residuales generadas en un hogar; este puede representar un peligro cuando se descargan en un cuerpo de agua receptor (barranca, río o mar) sin ningún tipo de tratamiento o si se dejan escurrir de manera superficial, ya que causan contaminación, deterioro de los ecosistemas acuáticos, mal olor y riesgos a la salud (Suárez, et al., 2012). Pueden ser varias las causas de lo anterior, dependiendo de los elementos presentes en ellas y de sus cantidades (Sara Transformación, 2016). También existe el caso de que las redes centralizadas de eliminación de desechos por flujos de agua siguen siendo el método más común de saneamiento y evacuación de las aguas residuales de origen doméstico, comercial e industrial (UNESCO, 2017).

Por otro lado, en la actualidad se están utilizando coagulantes químicos como el sulfato de aluminio, aluminato de sodio, cloruro de aluminio (Andia, 2000). Ante esto algunos estudios han concluido que el aluminio residual en el agua de consumo humano puede ser muy peligroso para la salud, causando efectos graves en el sistema nervioso central, hasta el punto

de que se estima existe una relación entre los agentes etiológicos del mal de Alzheimer y la concentración de aluminio en el organismo humano, indicándose además que ocasiona el envejecimiento prematuro (Silva, 2017). Adicionado a esto el tratamiento se hace más costoso, trabajoso de operar y genera impactos negativos al medio ambiente.

Por tal motivo, en el presente trabajo de investigación se evaluará la eficiencia del *Opuntia ficus indica* como coagulante natural de tipo vegetal para el tratamiento de las aguas grises mediante ensayos de laboratorio y el análisis de sus parámetros fisicoquímicos para obtener la dosis óptima; con la finalidad de proponer un insumo natural que contribuya en la mejora de la calidad del agua gris, evitar daños a la salud, adquirirla a menor precio, tener facilidad en su acceso y sobre todo que sea una propuesta amigable con el ambiente.

1.2. Antecedentes

Antecedentes Internacionales

Gual (2005), en su tesis titulado **“Reutilización de aguas grises para la descarga de inodoros. Aspectos químicos relacionados”** tuvo como objetivo realizar el seguimiento y estudio de dos sistemas de reutilización de las aguas grises procedentes de los lavabos y duchas para la descarga de cisternas de los váteres de las propias habitaciones de los hoteles, el cuál consta de doble red de tuberías de recogida selectiva de aguas grises para su tratamiento mediante la sedimentación por gravedad, desinfección con hipoclorito de sodio, cloración y filtración con un filtro de arena de sílex previamente pasando por osmosis inversa; además, utilizó el método de la O - Tolidina y el método extracto - fotométrico para el análisis de los principales parámetros. Obteniéndose valores medios turbidez 18.2 y 32.0 UNT, sólidos suspendidos 16.5 y 27.3 mg/l, detergentes aniónicos 6.1 y 0 mg/l, DQO 78.1 y 54.6 mgO₂/l, nitrógeno 8.7 y 4.1 mgN/l, fosforo 0.34 y 2.3 mg/l y llegando a la conclusión que los dos sistemas hayan resultado ser económicamente rentables y viables, debido a que los niveles de contaminación de estas aguas fueron bajas; así mismo se evidenció cierta correlación entre los sólidos en suspensión, turbidez, COT, y DQO esto debido a su naturaleza orgánica.

Martínez et al. (2012), en su tesis titulado **“Evaluación del poder coagulante de la tuna (*Opuntia ficus indica*) para la remoción de turbidez y color en aguas crudas”** tuvo como objetivo evaluar el poder coagulante de la Tuna (*Opuntia ficus indica*) para la remoción de turbidez y color en aguas crudas mediante pruebas de jarra con muestras de agua cruda, la elaboración del agente coagulante en forma de polvo sometiendo a ciertos cambios físicos,

usando operaciones unitarias como remoción de cutícula, secado, triturado, tamizado y extracción de pigmentos; además se le determinó su densidad a granel, pH, contenido de carbohidratos y proteínas. Obteniéndose que el coagulante natural alcanzo una eficiencia satisfactoria (84.52%), además logró remover un gran porcentaje de turbidez (85.76%) y de color (57.14%). Llegando a la conclusión de que se logró remover la turbidez y el color en porcentajes significativos, utilizando solo pequeñas dosis del coagulante natural; las altas velocidades de agitación incrementaron la remoción de impurezas, no obstante, las bajas velocidades de agitación generaron flóculos más grandes y compactos.

Vargas (2015), en su tesis titulado “Prototipo para la recolección y reutilización de aguas residuales en la sede del claustro de la Universidad Católica de Colombia” tuvo como objetivo diseñar un prototipo para la recolección y tratamiento de aguas residuales mediante el análisis de muestras de agua producto de los lavamanos, la implementación de un prototipo con filtro natural, el cual permite una depuración físico-química del agua, elaborado con cuatro materiales: arena, grava, carbón activado, y material sintético (zabra), permitiendo una depuración físico-química; igualmente se realizaron encuestas a cincuenta y tres estudiantes de la sede con el fin de conocer la percepción frente a la disminución del recurso hídrico y el reúso de agua residual. Obteniéndose 7.1 UNT de turbidez, 5.10 de pH, 112.3 μS , 2.60 mg/l de oxígeno y 59.7 mg/l de sólidos suspendidos; escasa precipitación del jabón. En conclusión, este tipo de iniciativas generarían una reducción en el consumo de agua potable, representando una disminución significativa en el precio que paga la universidad por la prestación del servicio de agua potable, y generando conciencia en los estudiantes para el reúso de agua residual.

Parra et al. (2011), en su artículo titulado “**Clarificación de aguas de alta turbidez empleando el mucílago de *Opuntia wentiana* (britton y rose) / (cactaceae)**” tuvo como objetivo evaluar la efectividad de un coagulante extraído de la tuna *Opuntia wentiana* (Britton y Rose) en la clarificación del agua mediante la recolección de muestras de agua cruda natural en la planta de tratamiento Pueblo Viejo (Estado Zulia, Venezuela) y a partir de éstas se prepararon aguas diluidas con turbiedades iniciales de 100, 120, 160, 180 y 200 UNT, estas aguas fueron tratadas con diferentes dosis (300, 400, 500, 600 y 700 ppm) del coagulante natural, se evaluaron los parámetros pH, turbidez, color y alcalinidad en las aguas crudas y en las tratadas. Obteniendo que después de aplicar las dosis óptimas del coagulante (600 y 700 ppm), los porcentajes de remoción de turbidez oscilaron entre 85,25 y 94,84% antes y entre 91,82 y 98,34% después de la simulación de la filtración, el pH registrado con el tratamiento

(7.01-7.69). En conclusión, se demostró la efectividad del mucílago extraído de *Opuntia wentiana* (Britton y Rose) en la clarificación del agua.

Jiménez et al. (2012), en su artículo titulado **“Evaluación de la tuna (*Opuntia cochenillifera*) para la remoción del color en agua potable”**, tuvo como objetivo evaluar la eficiencia del cactus de la tuna para remover el color en agua de río Humo y agua artificial para el consumo humano, comparar con el coagulante sulfato de aluminio y un floculante catiónico mediante prueba de jarras. Obteniéndose que con 45 mg/l de coagulante de *Opuntia* se obtuvo una eficiencia de remoción de color del 94% en agua artificial, poco superior al tratamiento convencional (20 mg/l $Al_2(SO_4)_3$ y 2 mg/l del floculante catiónico) con una remoción del 89%; sin embargo, el agua tratada con tuna dejó un valor de DQO residual del doble (21 mg/l) con relación al tratamiento convencional. Así mismo 22,5 mg/l de tuna adicionado 7 mg/l de $Al_2(SO_4)_3$ mostró una remoción de color del 92% y una DQO residual de 31,5 mg/l. En conclusión, la tuna fue poco efectiva para remover el color generado por sustancias húmicas en aguas de baja turbidez y alcalinidad, pero su aplicabilidad como Coagulante / floculante en aguas de alta turbidez y alcalinidad es promisoria, incluso comparada con los productos comerciales.

Fuentes et al. (2012), en su artículo titulado **“Potencial coagulante de la tuna *Opuntia cochinellifera* (L.) mill. (cactaceae) en aguas para consumo humano”** tuvo como objetivo evaluar la efectividad de *Opuntia cochinellifera* como coagulante mediante la simulación coagulación-floculación, sedimentación y filtración en aguas diluidas (20, 40, 60 y 80 NTU) a las que se aplicó la mezcla coagulante (1000, 2000, 3000, 4000, 4500, 5000, 5500, 6000, 8000 ó 10000 ppm). Obteniéndose para las turbiedades 20, 40, 60 y 80 NTU, las dosis óptimas del coagulante fueron 4500, 8000, 8000 y 6000 ppm, respectivamente; la turbidez osciló entre 3,15 y 17,13 NTU, disminuyendo a valores permisibles al filtrar, se observaron porcentajes de remoción elevados antes de la filtración (78,59 - 85,88%) y después de ésta (86,10- 93,90%), los valores de pH para las dosis óptimas del coagulante no se ajustaron a los permisibles, pero la alcalinidad y el color no superaron el máximo aceptable. En conclusión, se demostró que el coagulante usado puede constituir una alternativa efectiva para reducir la turbidez en aguas diluidas y tratar aguas para consumo humano.

Villabona et al. (2013), en su artículo titulado **“Caracterización del *Opuntia ficus indica* para su uso como coagulante natural”** tuvo como objetivo caracterizar la Tuna (*Opuntia ficus-indica*) y extraer un coagulante de la misma, con el propósito de determinar

características necesarias que lo hacen un potencial para remover la turbidez, color y pH en aguas crudas; para tal caso se realizó el corte y pelado, secado, molienda y tamizado, extracción de clorofila y tamizado para obtener el coagulante, 65g de coagulante/Kg de material vegetal; la penca contiene alto porcentaje de humedad y pequeñas proporciones de saponinas, flavonoides, sales minerales de calcio y hierro; estos metabolitos y sales no son los responsables de su poder coagulante; sino las especies química como el ácido poligalacturónico y compuestos algínicos son realmente los que le confieren la cualidad al biomaterial. Finalmente, al evaluar el poder coagulante para una dosis de 90 mg/l en agua cruda se obtuvo una remoción de 72 y 54 % para turbidez y color respectivamente, mientras que el pH se mantuvo alcalino entre 7.5 y 7.9. Se concluye que el material extraído de la *Opuntia ficus-indica* presenta una alta actividad como coagulante para remover aguas crudas con alta turbidez inicial y no altera el pH.

Antecedentes Nacionales

López (2018), en su tesis titulado “**Evaluación del uso de la cactácea *Opuntia ficus indica* como coagulante natural para el tratamiento de aguas**” tuvo como objetivo, evaluar la eficiencia de la cactácea *Opuntia ficus indica* al usarla como coagulante natural de tipo vegetal para remover la turbiedad presente en las muestras de agua sintética, para tal caso se preparó turbiedades inicial de 20, 50, 100, 300 y 500 UNT; para ello, se determinaron los parámetros óptimos del coagulante natural: dosis, concentración y pH, por cada nivel de turbidez; asimismo, el coagulante natural se comparó con el coagulante químico sulfato de aluminio respecto a la variación de los parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua: turbiedad, pH, color y conductividad. Obteniendo los resultados, estos indican que al aplicar el coagulante natural en la prueba de jarras se obtuvo un rango de remoción de turbiedad del 58% al 86%; asimismo, las dosis óptimas para muestras de 20, 50, 100, 300 y 500 UNT fueron 30, 45, 55, 75 y 90 mg/L, respectivamente. El pH óptimo fue 9 para todos los niveles de turbiedad. Asimismo, se evidenció que el coagulante químico sulfato de aluminio es más eficiente en la remoción de turbidez que el cactus *Opuntia ficus indica*, sin embargo, este último alcanzó 86% de remoción de turbidez en muestras de 500 UNT. Llegando a la conclusión de que este es efectivo para ser aplicado en muestras de turbiedad bajas, medias y altas, mejorando su eficiencia en muestras de alta turbidez; asimismo, se comprobó que no genera variaciones

significativas en la conductividad y pH de las muestras, lo cual puede representar una ventaja al no necesitar modificadores de pH.

Tejada (2015), en su tesis titulado, “Efecto del uso del coagulante natural de tuna (*Opuntia ficus indica*) en la calidad del agua del lado bajo del centro poblado san Antonio, distrito de Moquegua en la provincia Mariscal Nieto, región Moquegua 2015” tuvo como objetivo determinar el efecto del uso del coagulante natural de la tuna (*Opuntia ficus indica*) en la calidad del agua de San Antonio mediante la aplicación de un diseño experimental completamente aleatorio en el que se comparan tratamientos cada uno con 3 réplicas (15 lecturas), la muestra se recogió en envases de plástico de boca ancha (1 L), se eligió como punto de muestreo el canal que se encuentra en la zona de Santa Rosa, punto céntrico de distribución del agua para cinco chacras aledañas; el coagulante se pesó en bolsitas de 1 gr., 0.70 gr., 0.50 gr., 0.15 gr., 0.10 gr. para ser utilizados en las muestras de agua recolectadas (M0, M1, M2, M3, M4, M5). Llegando a la conclusión de que el uso del coagulante natural de la tuna (*Opuntia ficus indica*), tiene un efecto positivo en los parámetros pH, oxígeno disuelto y color de la calidad del agua en la zona del lado bajo de San Antonio, pero no en la turbidez.

Quispe (2012), en su tesis titulado “**Aplicación del mucílago extraído de nopal (*Opuntia ficus indica*) en la clarificación del agua del río Uchusuma**” tuvo como objetivo determinar la eficiencia del mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) para la clarificación del agua del río Uchusuma mediante la obtención del mucílago fresco a través de una maceración y seco empleando las operaciones de molienda, escaldado, filtración, precipitación con alcohol etílico y secado teniéndose un polvo de color blanco soluble en agua y de consistencia gomosa. Los ensayos se realizaron a escala de laboratorio, preparando aguas turbias con valores de turbidez de 3,26; 20; 50; 100; 200, 500 y 1000 NTU, los parámetros a medir fueron la turbidez, el pH de la muestra de agua y la dosis del coagulante (mucílago fresco y seco). Obteniéndose que para el caso de mucílago fresco la mayor eficiencia de remoción es a turbiedades iniciales de 1000, 500 y 200 NTU con 95,39, 92,36 y 25,5%; para mucílago seco a solución de 1% a 1000 y 500 NTU con 41,1% y 39,8% respectivamente; para ambas formas de aplicación del coagulante se evidenció el poco efecto sobre el pH inicial (8,46). Se concluye que el efecto del coagulante fue influenciado por la dosis del mucílago por tal motivo no es conveniente realizar el proceso de tratamiento de clarificación usando el mucilago a turbiedades bajas.

Silva (2017), en su tesis titulado “**Extracción del mucílago de la penca de tuna y su aplicación en el proceso de coagulación-floculación de aguas turbias**” tuvo como objetivo

obtener altos rendimientos de extracción del mucílago de la penca de tuna, luego caracterizar químicamente a esta sustancia y evaluar su eficiencia en el tratamiento de aguas turbias mediante el diseño factorial fraccionado, considerando los siguientes factores y sus niveles: Cantidad de Agua - Penca: 3/1 – 4/1, Temperatura de extracción: 60 - 80°C y tiempo de extracción 2 - 4 h; obteniéndose como resultado un polvo blanquecino, con el mejor rendimiento porcentual de extracción de 2.41, cuando los factores de relación Agua: Penca, Temperatura y tiempo son 3:1, 80°C y 2 h respectivamente. En el proceso de clarificación de aguas como turbidez inicial de 500 y 1000 NTU y la concentración del mucílago con niveles de 30 y 50 ppm, se obtiene la máxima remoción en un intervalo de 86 % a 88.9 %, cuando la turbidez es de 1000 NTU. Realizando el análisis estadístico, mediante el programa Minitab e Infostat, se determina la significancia de estos 2 factores, en el caso de la turbidez se tiene una correlación positiva, es decir a medida que aumente sus valores, la remoción también se incrementará, a diferencia de la concentración del mucílago que tiene una influencia inversa, es decir, favorecerá la remoción cuando sus valores sean menores y pertenezcan al intervalo de trabajo de 30 a 50 ppm, donde se ubica la concentración óptima; se concluye de que las condiciones favorables para la extracción del mucílago son, Relación Agua-Penca igual a 4, 60°C Temperatura y 2 h de tiempo; promueve satisfactoriamente la remoción de la turbidez.

Moreno (2016), en su tesis titulado “Disminución de la turbidez del agua del río Crisnejas en la comunidad de Chuquibamba-Cajabamba utilizando *Opuntia ficus indica*, Aloe vera y *Caesalpinia spinosa*” tuvo por objetivo determinar la disminución de la turbidez del agua del río Crisnejas que consume la población de Chuquibamba-Cajabamba utilizando *Opuntia ficus indica*, Aloe vera y *Caesalpinia spinosa* mediante la observación de variables como la velocidad de agitación, tiempo de contacto y la cantidad del recurso vegetal a usar; la población se constituyó por las aguas del río Crisnejas, tomando en total 108 litros de agua, necesarios para la aplicación del tratamiento en el equipo de test de jarras. Obteniéndose reducir la turbidez en un 61,09% al usar *Opuntia ficus indica*, en un 48,47% al usar *Caesalpinia spinosa* y en un 42,48% en el caso del uso de *Aloe vera*, siendo *Opuntia ficus indica* la más efectiva. Así mismo la mejor cantidad recurso vegetal a usar es de 6 g del demostrando mayor eficiencia en la reducción de turbidez.

Formulación del Problema

Problema Principal

¿Cuál es la eficiencia de la *Opuntia ficus indica* como coagulante natural de tipo vegetal para el tratamiento de las aguas residuales domésticas grises y su posterior uso en riego no restringido de vegetales en el Asentamiento Humano Villa Solidaridad - San Juan de Miraflores?.

Problemas Específicos

¿De qué manera se determinará los niveles de concentración de los parámetros físico-químicos de las aguas residuales domésticas grises antes del tratamiento con el coagulante *Opuntia ficus indica* en el Asentamiento Humano Villa Solidaridad - San Juan de Miraflores?

¿Cuál es la dosis adecuada de la *Opuntia ficus indica* como coagulante en el tratamiento de aguas residuales domésticas grises?

¿Cómo se diseñará e implementará un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas grises a una escala de prueba?

1.3.Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Evaluar la eficiencia de la *Opuntia ficus indica* como coagulante natural de tipo vegetal para el tratamiento de las aguas residuales domésticas grises mediante prueba de jarras y el análisis de parámetros físico-químicos con la finalidad de utilizarlas de forma posterior para riego no restringido de vegetales en el Asentamiento Humano Villa Solidaridad - San Juan de Miraflores.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar los niveles de concentración de los parámetros físico-químicos de las aguas residuales domésticas grises antes del tratamiento con el coagulante *Opuntia ficus indica* en el Asentamiento Humano Villa Solidaridad - San Juan de Miraflores.
- Establecer la dosis adecuada de la *Opuntia ficus indica* como coagulante en el tratamiento de aguas residuales domésticas grises mediante ensayos en el equipo de prueba de jarras.
- Diseñar e implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas grises a una escala de prueba.

1.4. Justificación

Actualmente se usan coagulantes convencionales como el sulfato de aluminio, aluminato de sodio, sulfato férrico, cloruro de aluminio y entre otros de composición química, la disponibilidad de este tipo de coagulantes en países en vías de desarrollo como el Perú no logra satisfacer la demanda total. La idea es brindar una alternativa y que esta a su vez sea natural, que no aportan metales ni al agua ni al fango de esta manera favoreciendo la valoración del fango para uso como materia orgánica en áreas verdes o agrícolas, no aporta sales, por lo que no se altera la conductividad del efluente, son productos rentables por disminuir el coste del tratamiento y su accesibilidad de la especie vegetal, son más seguros para las personas, no son corrosivos ni peligrosos, reduce la contaminación y sobre todo sea amigable con el ambiente.

Los datos obtenidos en la presente investigación contribuirán para optar por un coagulante natural de tipo vegetal como una alternativa que puede remplazar o complementar el tratamiento químico, su posterior aplicación en diferentes actividades como el riego no restringido de vegetales en el Asentamiento Humano Villa Solidaridad - San Juan de Miraflores y de la misma manera para el uso en otros modelos de plantas de prueba para el tratamiento de aguas residuales.

Importancia

La presente investigación va dirigida a las instituciones públicas y privadas que operan plantas de tratamiento de aguas y que dentro de su proceso utilizan coagulantes convencionales, a los gobiernos Regionales y Locales que administran grandes extensiones de áreas verdes y utilizan agua potable para su riego. La importancia del presente trabajo consiste en replicar su uso y aplicación del coagulante natural a gran escala como un insumo alternativo para el reúso y aprovechamiento de las aguas residuales domésticas grises en actividades de riego de áreas verdes del Asentamiento Humano Villa Solidaridad - San Juan de Miraflores, así como también en zonas urbanas y rurales de distintas condiciones económicas. Ello con la finalidad de reducir los gastos de uso de agua en estas actividades y contribuir a mejorar la calidad de vida de las personas, con escasa contaminación y que no altera el medio ambiente.

1.5.Hipótesis

La aplicación de la *Opuntia ficus indica* como coagulante natural de tipo vegetal es eficiente para el tratamiento de aguas residuales domésticas grises, comparando de forma referencial las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos del agua tratada con los Estándares de Calidad Ambiental aprobados mediante Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, para el Riego de vegetales y bebida de animales Subcategoría D1: Riego de vegetales (Agua para riego no restringido) en el Asentamiento Humano Villa Solidaridad - San Juan de Miraflores.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Aguas Residuales

Son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado (Organización de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA], 2014). También son llamadas aguas servidas, fecales o cloacales, que habiendo sido usada el agua, constituyen un residuo, algo que no sirve para el usuario directo; y cloacales porque son transportadas mediante cloacas (del latín cloaca, alcantarilla), nombre que se le da habitualmente al colector. Algunos autores hacen una diferencia entre aguas servidas y aguas residuales en el sentido que las primeras solo provendrían del uso doméstico y las segundas corresponderían a la mezcla de aguas domésticas e industriales. Es decir, están constituidas por todas aquellas aguas que son conducidas por el alcantarillado e incluyen, a veces, las aguas de lluvia y las infiltraciones de agua del terreno (Dorea, 2006).

Los constituyentes convencionales presentes en aguas residuales domésticas son: sólidos suspendidos y coloidales, materia orgánica e inorgánica medida como demanda química y bioquímica de oxígeno (DQO y DBO, respectivamente), carbono orgánico total (COT), nitrógeno (amoniaco, orgánico, nitritos y nitratos), fósforo, bacterias, protozoarios y virus. La cuantificación de estos componentes es condición necesaria para definir una estrategia de tratamiento que garantice técnica y económicamente una calidad del agua residual tratada adecuada para su uso posterior y para minimizar el riesgo potencial para la salud pública y el ambiente (Silva et al., 2006).

2.1.1. Clasificación de las Aguas Residuales

Según el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2014), las aguas residuales se clasifican en:

2.1.1.1. Aguas Residuales Industriales. Las aguas residuales industriales son aquellas que resultan del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose a las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras (OEFA, 2014).

2.1.1.2. Aguas Residuales Municipales. Son aquellas aguas residuales domésticas que pueden estar mezcladas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial previamente tratadas, para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado (OEFA, 2014).

2.1.1.3. Aguas Residuales Domésticas. Son aquellas de origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos, entre otros, provenientes de la actividad humana, y deben ser dispuestas adecuadamente (OEFA, 2014).

Tabla 1

Composición típica del agua residual doméstica sin tratar

Contaminante	Unidad	Concentración		
		Baja*	Media**	Alta***
Sólidos totales (ST)	mg/l	390	720	1230
Sólidos disueltos totales (SDT)	mg/l	270	500	860
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/l	120	210	400
Sólidos sedimentables (SS)	mg/l	5	10	20
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	110	190	350
Carbono Orgánico Total (COT)	mg/l	80	140	260
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	250	430	800
Nitrógeno (como nitrógeno total)	mg/l	20	40	70
Orgánico	mg/l	8	15	25
Amoniaco	mg/l	12	25	45
Nitritos	mg/l	0	0	0
Nitratos	mg/l	0	0	0
Fosforo total	mg/l	4	7	12
Cloruros	mg/l	30	50	90
Sulfatos	mg/l	20	30	50
Grasas y aceites	mg/l	50	90	100
Coliformes totales	NMP/100 ml	$10^6 - 10^8$	$10^7 - 10^9$	$10^7 - 10^{10}$
Coliformes fecales	NMP/100 ml	$10^3 - 10^5$	$10^4 - 10^6$	$10^5 - 10^8$

Nota: *Concentración baja basada aproximadamente en un caudal de agua residual de 750 L/cápita día. **Concentración media basada aproximadamente en un caudal de agua residual de 460 L/cápita día. ***Concentración alta basada aproximadamente en un caudal de agua residual de 240 L/cápita día. Tomado de Metcalf y Eddy (2004), McGraw-Hill.

Las aguas residuales domésticas pueden ser clasificadas en dos subgrupos: las aguas negras que son las aguas provenientes de los inodoros y las aguas grises que son las aguas generadas en ciertos procesos de la actividad del hogar, que por lo general incluyen las aguas procedentes de los lavamanos, duchas y lavadoras. La reutilización de aguas residuales se focaliza hacia las aguas grises, en donde a pequeña escala las fuentes fuertemente contaminadas, tales como lavadoras y lavaplatos tienden a ser excluidas, mientras que a

mayor escala se utilizan todas las fuentes para maximizar el ahorro de agua (Pidou et al., 2008).

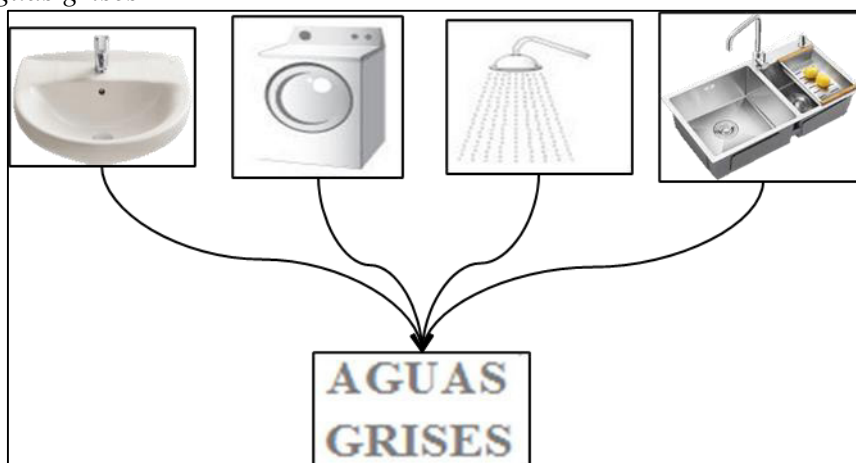
2.2. Aguas Grises

Existen diferentes definiciones dadas al término Aguas Grises. Según Franco (2007), la mayoría de los autores coinciden en que corresponden a aguas residuales domésticas con excepción de las provenientes de inodoros y urinarios, llamadas aguas negras, otros excluyen además de esta definición aguas provenientes de la cocina. Una subdivisión usual es separar las aguas grises en claras y oscuras, siendo las primeras las correspondientes a lavamanos, duchas y tinas, las segundas a lavadoras y lavaplatos (Figura 1).

Estudios realizados en diferentes países indican que el porcentaje de aguas grises, presentes en aguas servidas domésticas, se encontraría entre 50 a 80 % o, más acotado aún, entre 60 a 70 %.

Figura 1

Fuentes de aguas grises



Nota: Adaptado de *Fuentes de aguas grises* (p. 7), por M.V. Franco, 2007, Universidad de Chile.

Las aguas grises son aguas provenientes de las lavadoras, regaderas, tinas y lavabos. Son aguas residuales que tuvieron un uso ligero, que pueden contener jabón, cabello, suciedad o bacterias, pero que están suficientemente limpias para regar las plantas. En algunos lugares, el agua de la tarja de la cocina es considerada aguas grises, mientras que en otros lugares es clasificada como “aguas negras” lo mismo que el agua del inodoro. El agua proveniente del inodoro, así como el agua del lavado de pañales, no debe ser considerada aguas grises, así como los proveniente con productos químicos ni de casas que usan descalcificador de agua a base de sodio (Allen, 2015). Es el agua residual producida de lavaderos, duchas, pilas, etc. Su

característica principal es que contiene grandes cantidades de jabón y escasa presencia de bacterias coliformes. Por otro lado, agua gris significa aguas residuales de lavadoras, tinas de lavandería, duchas, lavabos y lavatorios donde se utiliza un dispositivo de desviación de agua gris. No incluye las aguas residuales de una cocina, inodoro, urinario o bidet (Aguilar, 2010).

Asimismo, las aguas grises son aguas residuales domésticas no tratadas que no han entrado en contacto con los desechos del inodoro. El agua gris incluye el agua usada de las bañeras, duchas, cuarto de baño, lavabos y agua de las lavadoras de ropa y de las tinas del lavadero. No incluye las aguas residuales de fregaderos o lavavajillas. Al respecto, Alkhatib (2008), dividió el agua gris en dos tipos de acuerdo con la carga, donde el primer tipo es el agua gris de alta carga, que comprende las aguas residuales generadas por la cocina, lavadora y lavavajillas. El segundo tipo es el agua gris de baja carga, que comprende las aguas residuales generadas por el baño, la ducha y el lavamanos.

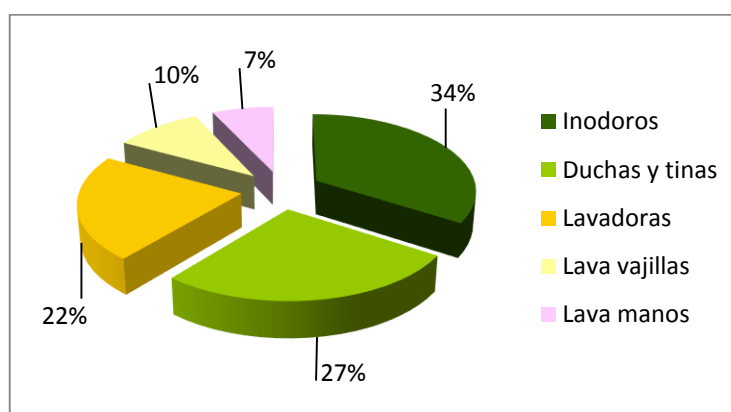
Para criterios de este trabajo de investigación, como muestra la Figura 1, se considerarán aguas grises las aguas residuales domésticas provenientes de la lavadora, lavamanos, ducha y del lavaplatos, con excepción de los provenientes de inodoros y urinarios.

2.2.1. Composición de las Aguas Grises según su Origen

En las Figuras 2 y 3 se presenta la composición porcentual media aproximada según origen de las aguas servidas y grises respectivamente (Franco, 2007).

Figura 2

Composición de las aguas servidas según origen



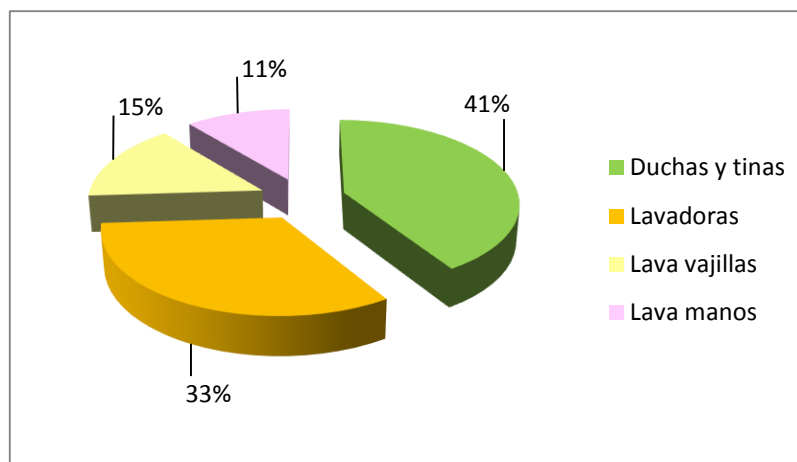
Nota: Composición en porcentaje (%) de las aguas servidas. Adaptado de *Composición de las aguas servidas según origen* (p. 8), por M.V. Franco, 2007, Universidad de Chile.

Es claro que estos porcentajes en cada vivienda varían según el lugar, el ingreso económico, las costumbres, el clima, la época del año, etc. No obstante, la figura 2 sirve como

parámetro de referencia, obteniéndose según este, que la producción de aguas grises se encontraría en el rango de 60 a 70 % del total de agua residual.

Figura 3

Composición de las aguas grises según origen



Nota: Composición en porcentaje (%) de las aguas servidas. Adaptado de *Composición de las aguas servidas según origen* (p. 8), por M.V. Franco, 2007, Universidad de Chile.

2.2.2. Caracterización de Aguas Grises

La formación o la composición de las aguas grises en sí mismo es un factor variable, esto debido a que depende de muchos factores tanto externos como internos, así como: las costumbres de las personas, la edad y el sexo, el nivel de vida de las personas, el número de personas en la vivienda, el tipo de suministro, los productos de limpieza utilizados, las características del agua potable, los hábitos de higiene, la época del año, la hora de uso, el clima, el tiempo de almacenamiento etc. Por otro lado, es posible caracterizar las aguas grises de acuerdo a sus parámetros físicos, químicos y microbiológicos, las variaciones entre dichos parámetros radican en el origen de los vertimientos y los factores mencionados con anterioridad.

2.2.2.1. Características Generales de las Aguas Grises. Las características de las aguas grises dependen en primer lugar de la calidad del agua suministrada, en segundo lugar, del tipo de red de distribución del agua potable y gris (biopelícula en las paredes de las tuberías), y en tercer lugar de las actividades en el hogar (Rivadavía, 2018). Los compuestos presentes en las aguas grises varían de una fuente a otra, donde los estilos de vida, las costumbres, las instalaciones y el uso de productos químicos de uso doméstico serán de importancia en su composición. La composición puede variar significativamente en términos de tiempo y lugar, debido a las variaciones en el consumo de agua en relación con las

cantidades de sustancias vertidas. Además, podría haber degradación química y biológica de los compuestos químicos, dentro de la red de transporte y durante el almacenamiento (Eriksson et al., 2002).

Estudios realizados en diferentes países han permitido conocer la composición aproximada de las aguas grises. Las diferencias en calidad de agua potable, así como las diferentes costumbres entre países, ciudades, pueblos y familias, hacen que no se pueda estandarizar la calidad de las aguas grises, no obstante, los análisis realizados en diferentes partes del mundo pueden ayudar a tener una idea de las características más marcadas de estas aguas (Franco, 2007).

Las aguas grises están constituidas en un elevado porcentaje (en peso) por agua, cerca del 99.9 % y un 0.1 % de sólidos suspendidos, de los cuales el 70% son orgánicos y el 30% son inorgánicos como arenas, sales y metales; siendo éste 0.1% el que debe ser sometido a tratamiento. La composición del agua grises está en función del uso, ésta depende tanto de las características sociales y económicas de la población, así como del clima, la cultura y del uso del suelo entre otras (Palacios, 1991).

La composición puede variar significativamente en términos de tiempo y lugar, debido a las variaciones en el consumo de agua en relación con las cantidades de sustancias vertidas. Además, podría haber degradación química y biológica de los compuestos químicos, dentro de la red de transporte y durante el almacenamiento (Niño et al., 2013).

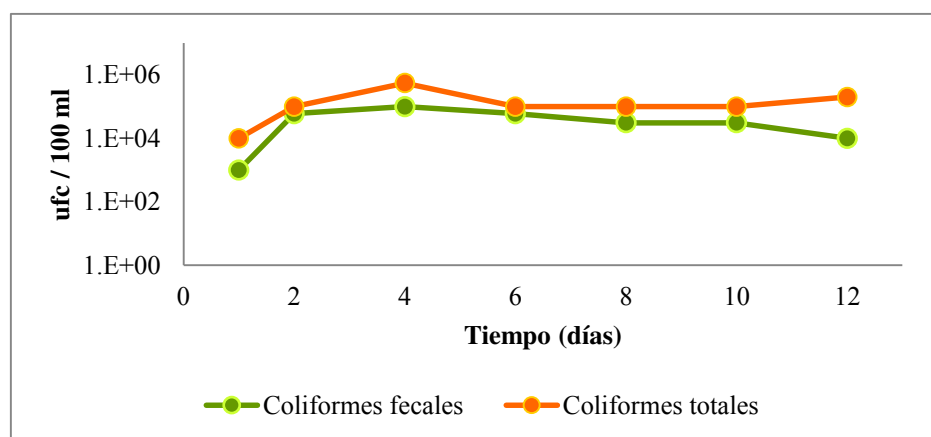
Las aguas grises son aguas con un bajo nivel de contaminantes y la casi ausencia de productos orgánicos, por lo cual puede ser reutilizada en las viviendas para limpieza, uso en el sanitario y riego. Es importante tener en cuenta que no hay una solución única o establecida para la gestión de las aguas grises, por lo cual se seleccionan los tratamientos que posiblemente se adapten mejor a las necesidades y usos finales, a su vez, es importante a la hora de seleccionar un tratamiento de aguas grises tener en cuenta el costo y la vulnerabilidad del mismo (Niño et al., 2013).

Las aguas grises poseen nutrientes en cantidades mucho menores que las negras, presentando aproximadamente solo el 10 % del nitrógeno y el 21 % del potasio, del total en aguas servidas domésticas (Vineras, 2002); citado por Jenssen et al. (2003). La misma fuente informa que solo un 26 % del fósforo total corresponde a aguas grises, sin embargo, este valor es sub- dimensionado para países como el nuestro, ya que estos datos corresponden a Noruega, país que fomenta el uso de detergentes sin fosfato.

Por su parte, Zalukazana et al. (2006), indica que las aguas grises aportarían el 58 % del fosforo total, lo que podría acercarse más a nuestra situación. Si en N y el K de las aguas grises son bajos, en relación a las aguas servidas, estudios han demostrado que, al regar con aguas grises sin tratar, las plantas y cultivos tienen un mayor crecimiento que al regar con agua cruda. Por otro lado, la World Health Organization (2006), indica que los patógenos se encuentran en bajas cantidades en las aguas grises, siendo generalmente sobreestimada la carga fecal al medir bacterias indicadoras, ya que pueden presentar crecimiento mostrando en aguas almacenadas un importante incremento de coliformes fecales y totales las primeras 24 horas, cuyo efecto se puede apreciar en la figura 4.

Figura 4

Crecimiento y sobrevivencia de bacterias en aguas grises



Nota: Comparación de la duración de los coliformes fecales y coliformes totales (en días). Adaptado de *Crecimiento y sobrevivencia de bacterias en aguas grises*, de Zabrocki (p. 10), por M.V. Franco, 2007, Universidad de Chile.

En la tabla 4 se muestra un resumen de los principales parámetros que caracterizan las aguas grises.

Tabla 2

Resumen de caracterización de aguas grises, según diversas fuentes

PARÁMETROS	UNIDADES	PROMEDIO	MÍN.	MÁX.
FÍSICOS				
C.E	dS/m	-	0.33	1.48
SST	mg/l	77.0	20	1500
SDT	mg/l	-	420	1700
Turbiedad	UNT	100	20	200

PARÁMETROS	UNIDADES	PROMEDIO	MÍN.	MÁX.
QUÍMICOS				
DBO ₅	mg/l	158.2	26	550
DQO	mg/l	515.8	77	1135
Fósforo	mg/l	3.3	0.28	27.3
Nitrógeno Total	mg/l	10.2	1.7	50
Nitrógeno Kjeldahl	mg/l	10.7	0.6	50
Nitrato (NO ₃)	mg/l	4.1	0	11.5
pH		7.0	5	8.7
MICROBIOLÓGICOS				
Coliformes Fecales	Ufc/100 ml	3*10 ⁶	10 ¹	10 ⁷
Coliformes Totales	Ufc/100 ml	-	10 ²	8.03*10 ⁷

Nota: Para el cálculo de los promedios se consideraron solo los estudios con registros medios. Adaptado de *Resumen de caracterización de aguas grises, según diversas fuentes* (p. 12), por M.V. Franco, 2007, Universidad de Chile.

En la tabla 4, se observa que el nitrógeno, correspondería prácticamente al total, esto debido a que gran parte de la materia orgánica es producto de restos de comidas y en mucha menor medida a material fecal, que pueda oxidarse en nitritos y nitratos. Siendo gran parte nitrógeno de tipo orgánico. El valor 4.1 de nitrato es bastante alto en relación a la mayoría de las referencias, ya que está influenciado por el valor 11.5, muy superior a todos los demás registros; por lo que podría considerarse como atípico.

El fósforo encontrado es producto de detergentes y elementos de limpieza. El pH es neutro, lo que puede no ser representativo ya que se espera un valor más alto debido a la presencia de detergentes y jabones, esto se puede explicar ya que en el cálculo sólo se ocuparon 3 valores, 2 de los cuales eran inesperadamente menores a 7.

La presencia de coliformes fecales indica que existe contaminación fecal y la mayor cantidad de coliformes totales, se explica por la contaminación relacionada con los residuos de alimentos contaminados, introducidos por el lavaplatos y también de ropas contaminada lavadas en lavadora. De acuerdo a lo observado, estos valores podrían estar sobre dimensionados (Franco, 2007).

2.2.2.2. Características Físicas, Químicas y Microbiológicas de las Aguas Grises.

Las propiedades físicas corresponden principalmente, a su color, el cual es gris por lo general (Eriksson et al., 2002), las partículas de comida y animales crudos en la cocina, y las partículas del suelo, pelo y fibras de las aguas de lavandería son ejemplos de material sólido presente en las aguas grises, estas partículas y coloides causan turbidez en el agua. Las mayores concentraciones de sólidos en suspensión se encuentran típicamente en las aguas grises de la cocina y el lavadero. Igualmente, las concentraciones de sólidos suspendidos dependen fuertemente de la cantidad de agua utilizada (Morel y Diener, 2006).

Por su parte, las propiedades químicas, representan los elementos o compuestos presentes en las aguas grises se debe principalmente a los productos químicos sintéticos compuestos de nitratos, fosfatos y agentes tensoactivos, que se utilizan en grandes cantidades para la limpieza doméstica y son vertidos directamente a la red de alcantarillado (Narváez et al., 2012). Adicionalmente, las aguas grises domésticas contienen sodio, calcio, magnesio, compuestos de sales de potasio, aceites, grasas y nutrientes (Al-Hamaiedeh y Bino, 2010), que se derivan de las actividades diarias desarrolladas en los hogares, y delimitan el potencial de utilización de las aguas grises crudas (Matos et al., 2012). Adicional a ello se pueden encontrar Sodio, Potasio, Surfactantes; también el Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) (Collazos, 2008).

En cuanto a las características microbiológicas, están relacionadas con los coliformes fecales, totales, *Escherichia coli*, entre otros, los cuales se deben fundamentalmente a los desechos humanos y animales, ya que los agentes patógenos – bacterias y virus – se encuentran en las heces, orina y sangre (León y Moscoso, 1996).

Los indicadores bacterianos o coliformes fecales en aguas grises exhiben gran variabilidad, las concentraciones detectadas van desde 0 a 10^7 unidades formadoras de colonias (ufc) en 100 mL (Ottosson y Stenstrom, 2003), (Friedler et al., 2006). Bacterias enteropatógenas, como *Escherichia coli* y distintas especies de *Shigella*, *Salmonella* y *Campylobacter*, entre otras, pueden estar presentes en las aguas grises aportadas por las piletas de las cocinas o por contaminación fecal cruzada al lavar telas contaminadas como pañales (Rose et al., 1991). En Inglaterra Birks y Hills (2007) observaron en aguas grises provenientes de duchas y lavabos, la presencia de *Salmonella veltereden* y *Giardia sp.* Sin embargo, hacen falta estudios que determinen las cargas microbianas y que caractericen los patógenos de aguas grises en el Perú.

2.2.2.3. Características de Aguas Grises según Origen. El agua gris presenta diferentes características, según el empleo que se le da al agua potable, a continuación se presenta una lista de características según uso (New South Wales Department of Health, 2000), (Imhof y Muhlemann, 2005).

Tabla 3

Características de aguas grises según origen

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

Nota: Tomado de *Características de aguas grises según origen*, de Imhof y Muhlemann, 2005, por M.V. Franco, 2007 (p. 13), Universidad de Chile.

En la tabla 6 se pueden observar características diversas de aguas grises según el origen de las mismas.

Tabla 4

Resumen de caracterización de aguas grises por origen según diversas fuentes

PARÁMETROS	UNIDADES	PROMEDIO			MÍNIMO			MÁXIMO		
		DUCHA	LAVAPLATO	LAVADORA	DUCHA	LAVAPLATO	LAVADORA	DUCHA	LAVAPLATO	LAVADORA
FÍSICO										
Conductividad	dS/m	0.1		0.2	2.0		2.5			
SST	mg/l	340.8	505.0	283.3	48.0	134.0	70.0	470.0	1300.0	665.0
SDI	mg/l	330.0	312.0	2385.0	70.0	165.0	290.0	530.0	445.0	3835.0
Turbiedad (UNT)	UNT	374.7	133.0	444.3	20.0	111.0	14.0	539.0	168.0	494.0
QUÍMICO										
DBO5	mg/l	203.5	42.1	250.3	60.0	25.0	48.0	424.0	73.0	462.0
DQO	mg/l	382.0	314.2	508.3	72.0	26.0	76.0	695.0	1600.0	1339.0
Fósforo (P)	mg/l				0.1	3.1	0.1	2.2	10.0	57.0
Nitrógeno Total	mg/l				0.6	13.0	6.0	7.3	60.0	21.0
Nitrato (NO3)	mg/l				0.0		0.4	4.9		0.6
pH		7.3	7.1	8.1	5.0	6.3	7.5	8.1	7.7	10.0
Surfactantes	mg/l	10.1	41.9	118.3	0.5	23.9	18.8	17.6	76.5	114.0
MICROBIOLÓGICOS										
Coliformes Fecales	ufc/100ml				9.0	1.0		4x10 ⁶	8x10 ⁶	4x10 ⁶
Coliformes Totales	ufc/100ml				70.0		56.0	2.8x10 ⁷		8.9x10 ⁵

Nota: Descripción de los parámetros (físicos, químicos y microbiológicos) de las principales aguas grises, considerando el mínimo, máximo y promedio de concentración. Tomado de *Resumen de caracterización de aguas grises por origen según diversas fuentes*, por M.V. Franco, 2007 (p. 15), Universidad de Chile.

De las características mostradas en las tablas 5 y 6, se realiza las siguientes acotaciones relacionado a algunos de los parámetros físicos y químicos de calidad considerados tales como:

- **Sólidos Suspendidos (SST):** Son, en general, mayores en lavaplatos que en los otros usos, esto se debería a los residuos de comida diaria que son vertidos debido al lavado de utensilios usados en la cocina. Cabe precisar también que de las fuentes comparadas el intervalo en el que varía el valor de SST se encuentra entre 48 mg/l para ducha y 1300 mg/l para lavaplatos.

- **Sólidos Disueltos y Conductividad:** Son significativamente mayores en las aguas utilizadas en el lavado de ropa a lavadora, esto debido a la gran cantidad de sales disueltas, producto de los diferentes detergentes como los aniónicos, catiónicos, tensioactivos y los biodegradables en cantidades considerables. Los sólidos disueltos y la conductividad eléctrica tienden a variar en una proporción que va de 1 a 2 respectivamente, debido a que se encuentran estrechamente relacionadas.

- **Turbiedad:** La turbiedad mayor es disputada entre las aguas provenientes de la ducha y de lavadora. Siendo la fuente de turbiedad de las primeras la suciedad, el jabón, shampoo y grasas; y de las segundas principalmente los productos de lavado, la suciedad de las prendas de vestir y el desteñido de color en algunos casos.

- **Fósforo-Fosfatos:** Son muy superiores en aguas de la lavadora que, en las otras, debido a que éstos están presentes en importante cantidad en los detergentes (como sustancias químicas) y mayor aún si estos no son biodegradables.

- **pH:** El pH también es mayor en lavadoras, lo que se puede atribuir a la alcalinidad de los detergentes, incorporados para mejorar el poder de limpieza y controlar la espuma.

- **Surfactantes:** En la mayoría de los casos, están en mayor cantidad en aguas de lavadora, debido a la presencia de éstos en detergentes. En menor medida son registrados en los otros usos, cuyo origen está en jabones y lavalozas.

2.2.2.4. Comparación de Aguas Grises y Negras. Según Franco (2007), entre las diferencias en materia contaminante de las aguas grises con respecto a las aguas negras se puede mencionar lo siguiente:

- **Menor cantidad de patógenos:** Esto se explica debido que la gran fuente de patógenos en el agua residual son los excrementos.

- **Menor cantidad de nitrógeno:** Es cerca de la décima parte del correspondiente a las aguas negras. Aproximadamente la mitad de este nitrógeno,

corresponde a tipo orgánico, el cual puede ser consumido por plantas. A diferencia de éste él perteneciente a las aguas negras, se convierte rápidamente en nitrito y nitrato, cancerígenos, difíciles de remover.

- **Mayor cantidad de fósforo:** Esto se explica debido al uso de detergentes ricos en fósforo, en lavadoras y lavaplatos.

- **Mayor tasa de decaimiento de contaminantes:** Ocurre ya que los componentes orgánicos de las aguas negras han pasado previamente por el aparato digestivo humano, lo cual los hace menos disponibles a los microorganismos, que la materia orgánica correspondiente a las aguas grises. Debido a esta alta tasa de descomposición, la descarga de aguas grises a ríos o lagos trae efectos más inmediatos que las aguas negras. Sin embargo, debido a la misma razón, en suelo con actividad biológica, la rápida descomposición de las aguas grises hace que éstas no sean tan contaminantes como las aguas servidas o las negras, ya que, por la lenta degradación de estas últimas, pueden contaminar sectores alejados del lugar de infiltración.

En la tabla 7 se presenta la comparación entre aguas grises y negras, de acuerdo a parámetros relevantes:

Tabla 5
Comparación de aguas según diversos parámetros

Parámetros	Aguas Negras	Aguas Grises
Coliformes fecales	xxx	x
DBO ₅ / DBO _u	xxx	xxx
Fósforo	xx	xxx
Nitrato	xxx	< x
Nitrógeno	xxx	x
Sólidos suspendidos	xxx	xxx
Surfactantes	-	xx
Turbiedad	xxx	xxx

Leyenda

x: Valor escaso.

xx: Valor moderado.

xxx: Valor alto

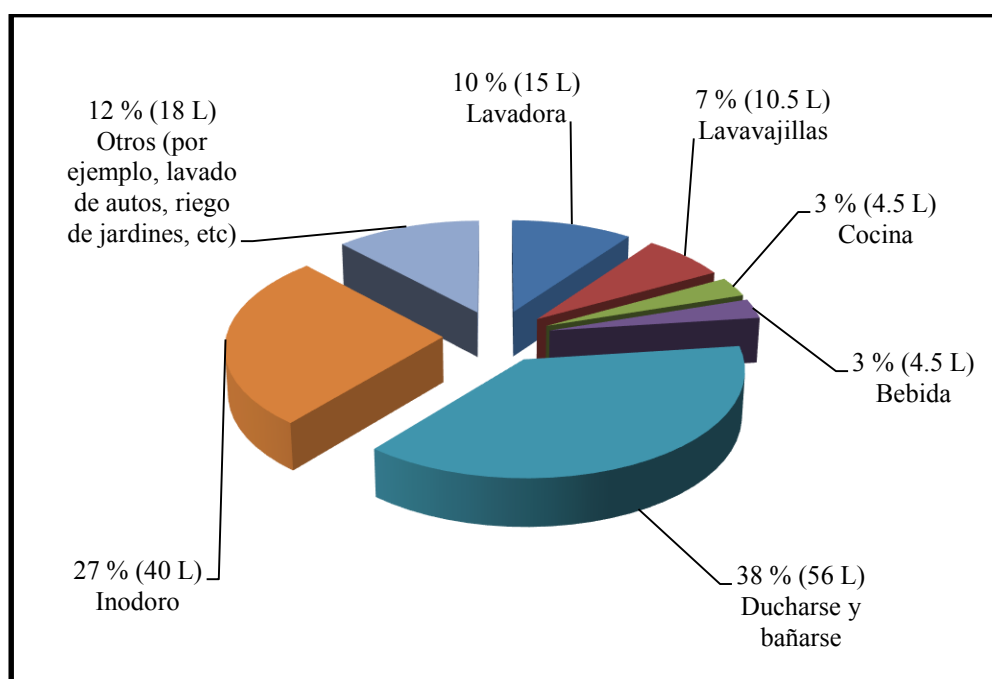
-: Ausente.

Nota: El valor de la x se explica en la leyenda. Tomado de *Comparación de aguas según diversos parámetros*, por M.V. Franco, 2007 (p. 19), Universidad de Chile.

El porcentaje de consumo de agua potable en cada actividad desarrollada en el hogar y el consumo medio de agua potable por persona por día se muestran en la figura 5. Estas aguas se diferencian de las aguas negras, porque generalmente contienen una carga orgánica contaminante inferior y contienen bajas concentraciones de bacterias del tipo *Escherichia coli* (contenidas en la materia fecal), comparado con las aguas residuales municipales combinadas, lo que las convierte en un recurso atractivo, porque pueden ser de gran utilidad para los usuarios residenciales, y a su vez éstas generalmente se recuperan más fácil que las aguas negras ya que tienen menos nitrógeno y fósforo (Revitt, 2011).

Figura 5

Consumo de agua potable en las actividades desarrolladas en el hogar por persona por día



Nota: El consumo de agua potable se expresa en litros (L) y porcentajes (%). Adaptado de *Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application in Ireland*, por Li et al. (2010), *Desalination*, 1(3).

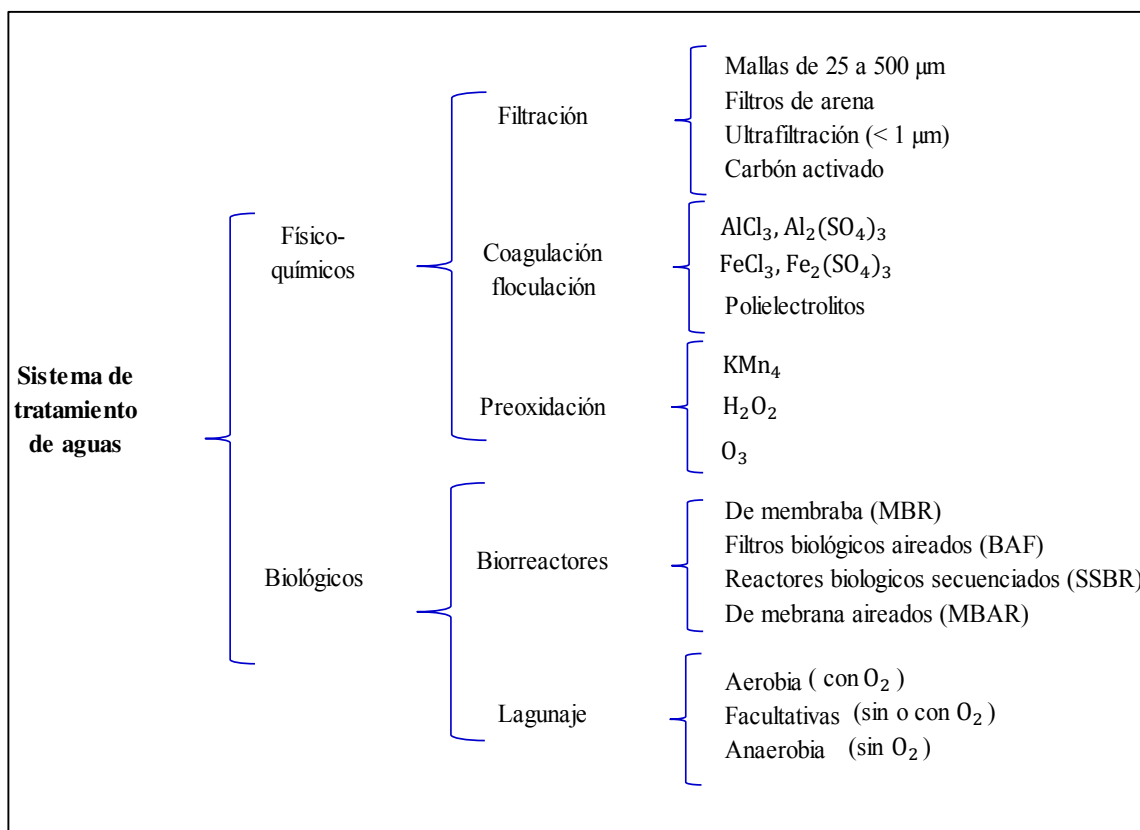
Gracias a ello el interés en el reciclaje de aguas grises ha sido planteado y se acepta ahora como una solución sostenible dado el aumento general de la demanda de agua dulce, la escasez de agua y la protección del medio ambiente. Entre las diferentes opciones para la reutilización del agua, el reciclaje del agua en entornos urbanos es la menos desarrollada y generalmente integra la reutilización de aguas grises con aguas de lluvia (Arila, 2013).

2.3. Tratamiento de Aguas Grises

Son muchas las posibilidades de tratamiento de las aguas grises; tantas como para las aguas residuales, o incluso más, puesto que para las grises se han diseñado sistemas a pequeña escala que no se usan con otros tipos de aguas residuales. En la figura 6 se agrupan los tratamientos más utilizados para aguas grises (Gual, 2005).

Figura 6

Sistemas de tratamiento de aguas grises



Nota: Se presentan los 2 tipos de sistemas de tratamiento de aguas residuales, mostrando las técnicas y los insumos o características fundamentales. Adaptado de *Sistemas de tratamiento de aguas grises* (p. 30), por M. Gual Frau, 2005, Universitat de les Illes Balears.

En general, se pueden distinguir tratamientos físico-químicos y tratamientos biológicos, que también pueden combinarse entre sí. La mayoría de los sistemas descritos incluyen como primera etapa una filtración simple para eliminar los materiales de mayor tamaño (pelos, etc.). Esta filtración se suele llevar a cabo con filtros de arena o con mallas de tela u otro material de hasta 0.5 mm de luz. Los sistemas de tratamiento más simples y usados consisten en una filtración simple seguida de una desinfección (normalmente con derivados del cloro, aplicado

en forma de pastillas o mediante dosificación líquida) (Al-Jayyousi, 2003). Este tipo de sistemas pueden tener fallos puntuales en la desinfección, debido a entradas especialmente cargadas de contaminantes. Esta gran variabilidad en la composición de las aguas grises supone una dificultad añadida al tratamiento (Jefferson et al., 1999).

Evidentemente, se han utilizado sistemas de filtración más complejos, puesto que la filtración simple no es barrera suficiente para los sólidos en suspensión y el filtrado es turbio. Se ha propuesto la ultrafiltración (UF) a través de membranas de 0.45 μm (o incluso de poro inferior), que sí retiene los sólidos en suspensión, además de microorganismos. No obstante, no se eliminan los nutrientes en disolución y el agua queda expuesta a una muy probable recontaminación; por ello se recomienda una posterior desinfección residual (Al-Jayyousi, 2003).

En cuanto a los tratamientos biológicos, son útiles para eliminar los compuestos biodegradables y permiten obtener efluentes de gran calidad, especialmente en términos de turbidez y sólidos en suspensión.

Dentro de los biorreactores, podemos considerar los biorreactores de membrana (*MBR*), los filtros biológicos aireados (*BAF*), los reactores biológicos secuenciados (*SBR*) y los biorreactores de membrana aireados (*MBAR*). En general, estos biorreactores consisten en dispositivos en los que se ha fijado una determinada flora bacteriana que es la encargada de la degradación de los compuestos orgánicos presentes en el agua. El efluente obtenido suele ser de buena calidad, mejor cuanto más lentamente circula el agua (depende de cada diseño) y, en general, requieren un bajo mantenimiento. No obstante, son sistemas caros, lo que se traduce en un precio elevado para el agua regenerada (del orden de 3 € m^{-3}) (Shin et al., 1998); (Jefferson et al., 2000) y (Lazarova et al., 2003).

El lagunaje (Terrasa et al., 1987) consiste en la depuración biológica en estanques de estabilización. En la primera laguna tiene lugar la homogeneización del caudal; le sigue una sedimentación primaria y después un tratamiento de los residuos orgánicos, bien por oxidación bacteriana aeróbica (laguna aerobia), bien por digestión anaeróbica (laguna anaerobia) o bien una combinación de ambos procesos (laguna facultativa). El lagunaje es una opción poco usada, a pesar del menor coste de las instalaciones, del mantenimiento y de proporcionar un efluente de muy buena calidad, debido a que las correspondientes instalaciones requieren de una mayor superficie y los tratamientos son temporalmente más prolongados.

Por otro lado, Franco (2007) menciona que, existe una gran variedad de sistemas de tratamiento para recuperar aguas grises. Estos sistemas ocupan procesos que pueden ser de tipo

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

Los tratamientos usados corresponden a los mismos que se aplican para agua potable o aguas servidas. La diferencia está en la composición del agua, qué determina el nivel y tipo de tratamiento a ocupar, así, por ejemplo, en caso de considerar agua de cocina se debe incluir tratamiento secundario, para producir la degradación de la materia orgánica, o en caso de aguas grises de lavadora, podría ser necesario usar un tratamiento terciario, a fin de disminuir la alta concentración de fósforo. Algunos tratamientos se describen a continuación.

2.3.1. Sistemas de Tratamientos Primarios

Lagunas de Sedimentación. Es un tratamiento muy simple y de construcción económica, en ellas se genera sedimentación de sólidos y degradación anaeróbica de material orgánico (Imhof et al., 2005), en general poseen buena capacidad de sedimentación y estabilización. Requieren de menor operación y mantención que los estanques sedimentadores, necesitando, generalmente, remoción de lodos sólo 1 o 2 veces por año según (New South Wales Department of Health, 2000). Su principal inconveniente es que requieren de gran disponibilidad de terreno, debido a que se diseñan para un alto tiempo de retención. Agregando a esto que, para asegurar su operación continua, se requieren por lo menos dos unidades en paralelo. El sedimento extraído y el líquido efluente requieren tratamiento adicional.

Tanque Séptico. Son muy usados en aguas servidas domésticas, para remover los sólidos de mayor tamaño. Están compuestos por 2 o 3 cámaras, en las cuales el lodo sedimenta y es estabilizado por digestión anaeróbica. El material disuelto y suspendido deja el tanque sin tratamiento. Cada cierto tiempo el lodo debe ser removido mediante bombeo. En estos tanques la DQO es removida en un 25-50% (Imhof et al., 2005).

Estanques Sedimentadores. En ellos se produce decantación de partículas por gravedad. Remueven además una pequeña parte de los microorganismos, por fijación de éstos a las partículas. Para aumentar la remoción de sólidos, se puede agregar coagulantes e inducir a agitación, a fin de formar flocs, permitiendo remover partículas de menor tamaño, mejorando también la remoción de microorganismos.

2.3.2. Sistemas de Tratamientos Secundarios

Humedales y Biofiltros. Son sistemas de infiltración que requieren de previa sedimentación. En estas unidades el agua se distribuye en un sistema sub - superficial. Permiten filtrar, reducir materia orgánica disuelta y disminuir patógenos. Es necesario que el lugar donde se ocupe este sistema no tenga un nivel freático muy superficial, deben ser bien drenados, pero no extremadamente permeables como son los de grava o arena gruesa. Para una adecuada remoción de patógenos y materia orgánica, se requiere de al menos tres metros de suelo no saturado debajo del sistema. Es necesario además que se encuentren lejos de pozos de extracción y asegurar un mínimo tiempo de permanencia.

Membranas. Este proceso usa una membrana semipermeable, a través de la cual pasa el agua por diferencia de presión, con lo que se eliminan sólidos. Los sistemas de membranas incluyen microfiltración, ultrafiltración y nanofiltración y osmosis inversa, los cuales retienen diferentes rangos de partículas, siendo la última la de mayor retención eliminando prácticamente todos los sólidos disueltos del agua. Uno de los problemas asociados es que las membranas son susceptibles a bloqueos.

Lodos Activados. Es un proceso biológico aeróbico, que funciona en base a microorganismos los cuales se encuentran en una concentración predeterminada dentro de un estanque, mezclados con la materia orgánica, debido a la agitación de aire los organismos flocculan formando los llamados “lodos activados”. El conjunto de aguas servidas y lodos activados es llamado el “licor de mezclado”, el que luego es llevado a un sedimentador secundario donde los lodos activados decantan, permitiendo un efluente clarificado. Parte de los lodos es retornado al estanque para mantener el equilibrio de microorganismos.

2.4. Tipos de reúsos para Aguas Grises

Entre los usos dados a las aguas grises tratadas se encuentran los de tipo: urbano, agrícola, industrial y minero, ambiental, recreacional y recarga de acuíferos (Franco, 2007).

2.4.1. Usos Urbanos

Los usos urbanos dados a las aguas grises tratadas son de tipo no potable, entre estos están:

- Riego de áreas verdes tales como: parques, canchas deportivas, campos de golf, césped residencial, cementerios, etc. Riego de caminos de tierra.
- Limpieza de calles, vehículos, ventanas, lavado de ropa en lavadoras, entre otros.

- Estanques de inodoros y urinarios.
- Paisajismo, por ejemplo, uso en fuentes y caídas de agua.
- Control de incendios.
- Derretimiento de nieve, a fin de evitar su acumulación en calles (Suzuki et al., 2006).

Los principales usos urbanos dados al agua tratada son en riego y en estanques de inodoros. El uso en estanques de inodoros permite un ahorro de un 30 a un 40% del agua usada al interior de la casa. En el caso de uso en riego residencial, es posible reusar el 60 a 70% del agua residual generada, correspondiente a aguas grises, permitiendo un considerable ahorro de este recurso y/o un aumento de áreas verdes residenciales. El nivel de calidad exigida a las aguas de riego depende del tipo de riego usado y del acceso existente a estas áreas.

2.4.2. Usos Agrícolas

En agricultura las aguas grises recuperadas son ocupadas principalmente en riego, dirigido a cultivos, huertos, viñas, árboles frutales y prados. También son usadas para dilución de fertilizantes y pesticidas. Según el tipo de uso agrícola, la forma de consumo de los alimentos producidos y la exposición de trabajadores y otras personas a la zona regada; varían las exigencias de calidad de agua de riego. Así, por ejemplo, el uso que requiere agua de mejor calidad, es el riego de cultivos de consumo crudo.

2.4.3. Restauración Ambiental y Usos Recreacionales

Algunos de estos usos son aumento de esteros y lagunas, ya sea con fines de preservación ambiental o de agrado como paseos en bote, pesca y natación (Camp et al., 1992).

2.4.4. Usos Industriales y Mineros

Los rubros industriales y minero son importantes consumidores de agua que frecuentemente reutilizan su propia agua residual de procesos, sin embargo, no es muy común que las aguas grises tratadas sean empleadas en ellos. No obstante, en países como EE.UU., las industrias son grandes demandantes de las aguas efluentes de plantas de aguas servidas, por lo que son potenciales usuarios de aguas grises recuperadas. Entre estos usos se tienen: agua de refrigeración, agua de lavado, agua de procesos y riego de caminos. Algunas de las industrias demandantes son las papeleras, la industria textil y la química (Camp y Mckee, 1992).

2.4.5. Recarga de Acuíferos

En países desarrollados, se usa también esta opción. Entre los objetivos se encuentran: establecer barreras a intrusiones salinas de la costa, ocuparlo como tratamiento adicional,

aumentar acuíferos, proveer agua de reserva o para ser usada y para prevenir la depresión de la napa (Camp y Mckee, 1992).

2.5. Salud y Ambiente

Los usuarios de sistemas de tratamiento y reutilización de aguas grises deben tener presente el potencial riesgo para la salud y medio ambiente que puede causar el mal diseño, implementación o manejo de los sistemas, ante lo expuesto Franco (2007) menciona algunas consideraciones a tomar en cuenta cuando se trata de la salud de la población y los efectos en el ambiente.

2.5.1. Salud

Vías de Infección y Medidas de Precaución. Si bien las aguas grises son mucho menos contaminadas que las aguas negras, éstas también contienen excretas humanas provenientes de baños de ducha o tina y del lavado de ropas. Personas que gozan de buena salud pueden también excretar patógenos, los cuales son parte normal de la flora intestinal.

No hay registros de serios efectos en salud humana por la reutilización de aguas grises. El riesgo de transmitir enfermedades a los humanos, asociado al uso de aguas grises domésticas en terrenos y jardines, es considerado como bajo (Australian Capital Territory, 2004). Sin embargo, parte de la población es más susceptible, éstos son: niños, ancianos y personas con compromisos inmunológicos. El riesgo de transmisión aumenta, cuando existe un manejo centralizado de aguas residuales, debido a que la diversidad de microorganismos patógenos aumenta con la población.

Posibles Vías de Infección. Ingesta de agua contaminada, por situaciones casuales o, por ejemplo, producto de extracción de agua de acuíferos contaminados.

- Por el consumo de frutas o verduras crudas regadas con aguas grises.
- Inhalación de agua por aerosoles, producto de limpieza de patios, regado de caminos, riego por aspersión etc.
- Contacto con medio de tratamiento, por ejemplo, con filtros y suelo contaminado, en el caso de irrigación.
- Transmisión por medio de manos contaminadas, por contacto con ojos, boca y fosas nasales, o indirectamente por tocar elementos contaminados.
- Contacto directo (absorción de la piel), por ejemplo, durante vaciado de estanque de inodoro o al usar la lavadora.
- Transmisión por medio de mascotas, o de vectores como insectos y ratones.

Prácticas para Minimizar la Probabilidad de Transmisión de Enfermedades.

- Evitar contacto humano con aguas grises no tratadas y minimizarlo con las tratadas y suelo regado, por ejemplo, colocando barreras o carteles que adviertan que se debe evitar el contacto.
- Educación de trabajadores, en adecuados hábitos de higiene. Eliminar contacto directo con cultivo.
- Tratamientos adecuados al tipo de agua y uso.
- No regar con aguas grises sin tratar, y evitar hacerlo con tratadas plantas comestibles las cuales son consumidas crudas, a excepción de las que su fruto se encuentre separado de la tierra.
- Desinfección para usos como inodoros, urinarios y lavadoras.
- No acumular aguas grises excepto para regulación, a menos que sea tratada y desinfectada.
- Minimizar permanencia de agua en superficie y asegurarse que las aguas grises no creen molestias como olores, charcos o escurrimiento fuera del recinto de uso.
- Mantener conexión a alcantarillado y prevenir cruce de tuberías de aguas grises con agua potable. Esto es posible que se dé cuando las aguas grises son usadas para estanques de inodoro. Diferenciar tuberías según agua.
- Usar productos de limpieza que sean ambientalmente benignos, por ejemplo, productos de limpieza bajos en sales y fosfatos.
- Las aguas grises no deben contener químicos peligrosos. En caso de usar, por ejemplo, residuos de actividades como pintura, no se deben descargar al sistema de aguas grises, y al lavar ropa contaminada, es preferible evacuar las aguas al sistema tradicional.
- El sistema de aguas grises debe estar fuera de áreas inundables.
- Evitar que queden gotas suspendidas en el aire, como sucede en limpieza de patios, regado de caminos, riego por aspersion, etc.
- Los estanques acumuladores de aguas grises deben ser tapados, para evitar mosquitos u otros vectores, en especial cuando se incluyen aguas de lavaplatos.
- En caso de uso en riego, debe haber una distancia mínima entre el punto de aplicación de las aguas grises y la napa subterránea (Arizona, exige 1.5 m).
- En caso de riego, se debe preferir los horarios de bajo público.

- Preferir riego sub- superficial.

Agentes infecciosos en aguas residuales domesticas no tratadas. La tabla 8 muestra los principales agentes infecciosos que pueden llegar a estar presentes en aguas residuales de origen domestico no tratadas

Tabla 6

Agentes infecciosos potencialmente presentes en Aguas Residuales Domésticas No Tratadas

ORGANISMOS	ENFERMEDAD
Bacterias	
Echerichia coli (enterotoxigeno)	Gastroenteritis
Leptospira (spp.)	Leptospirosis
Salmonella typhi.	Fiebre tifoidea
Salmonella (2100 serotipos)	Salmonelosis
Shigella (4 spp.)	Shigellosis (disentería bacilar)
Vibrio cholerae	Cólera
Protozoos	
Balantidium coli	Balantidiasis
Cryptosporidium parvum	Cryptosporidiasis
Entamoeba histolytica	Amebiasis (disentería amebica)
Giardia lamblia	Giardiasis
Helmintos	
Ascaris lumbricoides	Ascariasis
T. solium	Teniasis
Trichuris trichiura	Tricuriasis
Virus	
Enterovirus (72 tipos; por ejemplo: virus es echo y coxsackie del pollo)	Gastroenteritis, anomalías del corazón y meningitis.
Hepatitis A	Hepatitis de tipo infeccioso
Agente de Norwlk	Gastroenteritis
Rotavirus	Gastroenteritis

Nota: Muestra las enfermedades producidas por los organismos presentes en las aguas residuales grises. Tomado de M.V. Franco, 2007 (p. 29), Universidad de Chile.

2.5.2. Efectos en el Ambiente

Es evidente que el principal beneficio de reutilizar el agua, en este caso las aguas grises, es la disminución de la demanda de agua de las fuentes tradicionales, vale decir, agua potable, pozos, ríos, etc. En lugares donde el agua es muy escasa y costosa, permite que ésta sea una forma económica de riego, pudiendo tener así cultivos, frutales etc., los cuales se traducen en fuente de alimento y/o ingreso. Por otro lado, una posibilidad de ahorro importante de agua potable es en los inodoros, una de las grandes demandas de agua al interior de la casa, la cual, si bien debe cumplir cierto grado de calidad, en especial referente a microorganismos, no tiene por qué tener calidad de agua de consumo humano.

Otro efecto positivo del reúso de las aguas grises, incluso si éstas han recibido tratamiento, es el actuar como fertilizante en riego, aportando fósforo, nitrógeno y potasio al suelo y algunos micronutrientes como boro. Sin embargo, en cantidades excesivas estos nutrientes pueden ser dañinos.

Uno de los principales riesgos ambientales es la contaminación de acuíferos, es por esto que algunos reglamentos incluyen restricciones al riego, según el nivel freático en el lugar. Una condición favorable es que en el contexto doméstico la cantidad de aguas grises ocupada es muy pequeña, por lo que la mayoría del agua y nutrientes son captados por las plantas, y la materia orgánica es degradada en el terreno más superficial (Center For The Study Of The Built Environment, 2003).

Las aguas grises contienen productos de limpieza ocupados en los hogares, los cuales pueden ser dañinos para las plantas. La mayoría de los detergentes, en particular los en polvo, contienen cantidades excesivas de compuestos de sodio, por lo que es mejor usar detergentes líquidos, en caso de reutilización en riego. También aportan compuestos de sodio, gran parte de los jabones de uso personal, los cuales se fabrican en base a hidróxido de sodio y se usa para ello cloruro de sodio, los jabones alternativos a éstos son los en base a potasio. Los detergentes además pueden contener iones de boro y cloruro, peróxidos y destilados de petróleo (Center For The Study Of The Built Environment, 2003). También los blanqueadores, generalmente contienen gran cantidad de cloruros.

Algunos ablandadores de agua también aportan compuestos de sodio, ya que intercambian iones de calcio y magnesio por iones de sodio, por lo cual deben ser evitados donde las aguas grises son reusadas. Los detergentes aportan grandes cantidades de fósforo a las aguas grises, el cual en exceso puede generar problemas. El uso de detergentes altos en fósforo está prohibido en algunos países, sugiriéndose en cambio los detergentes en base a potasio (Government of Western Australia. Department of Env, 2005).

2.6. Guías de Reutilización de Aguas Grises

Son necesarias leyes, normativas, guías y recomendaciones para el tratamiento y reutilización de las aguas grises (OMS, 1998); (Stone, 1996); (Anderson, 1996); (Marecos et al., 1996); (Gregory y Lugg, 1995); (Crook y Surampalli, 1996); (Chang et al., 1996); (Jefferson et al., 1999); (Dixon et al., 1999); (Ottherpohl, 2002). Actualmente muy pocos países disponen de legislación al respecto. Destacan las iniciativas de California (EUA) y sobre todo del ayuntamiento de Brisbane (Australia), que elaboró una completa guía tras comprobar que el

agua gris había sido reutilizada sin control durante años por ganaderos y agricultores (Bingley, 1996); (Devine et al., 1998). A pesar de estas iniciativas, la heterogeneidad del agua gris (debida a múltiples factores), junto con la escasa información disponible en la actualidad, dificultan la correcta evaluación de los riesgos y posibilidades de reutilización de las aguas grises, lo cual se traduce en una falta de recomendaciones generales.

Según la Organización Mundial de la Salud (1998), el objetivo de las guías de reutilización es “desarrollar normas que establezcan los límites y prácticas que minimicen el impacto ambiental sin afectar a los beneficios”. Estos límites no son valores absolutos para todos los países ni regiones, sino que se han de adaptar y varían con el desarrollo científico, factores geo-económicos y la aceptación social según cultura y costumbres (Hespanhol y Prost, 1994).

Las guías para la reutilización (no potable) de aguas grises deben tener como principal objetivo la protección de la salud pública, basada generalmente en el control de microorganismos (Crook y Surampalli, 1996). Estas guías, además de facilitar y promover el uso de agua reciclada, deben establecer, para cada tipo de sistema y uso (Gregory et al., 1995):

- La calidad del agua
- El tipo de tratamiento
- Los parámetros a seguir, frecuencia de las determinaciones, valores guía e intervalos permitidos
- Los criterios de seguridad (mantenimiento y utilización)

Además, las guías deben expresar claramente las prácticas prohibidas y las permitidas; téngase en cuenta que muchos proyectos se limitan a seguir la legislación (Higgins et al., 2002).

2.7. Tuna o Nopal (*Opuntia ficus indica*)

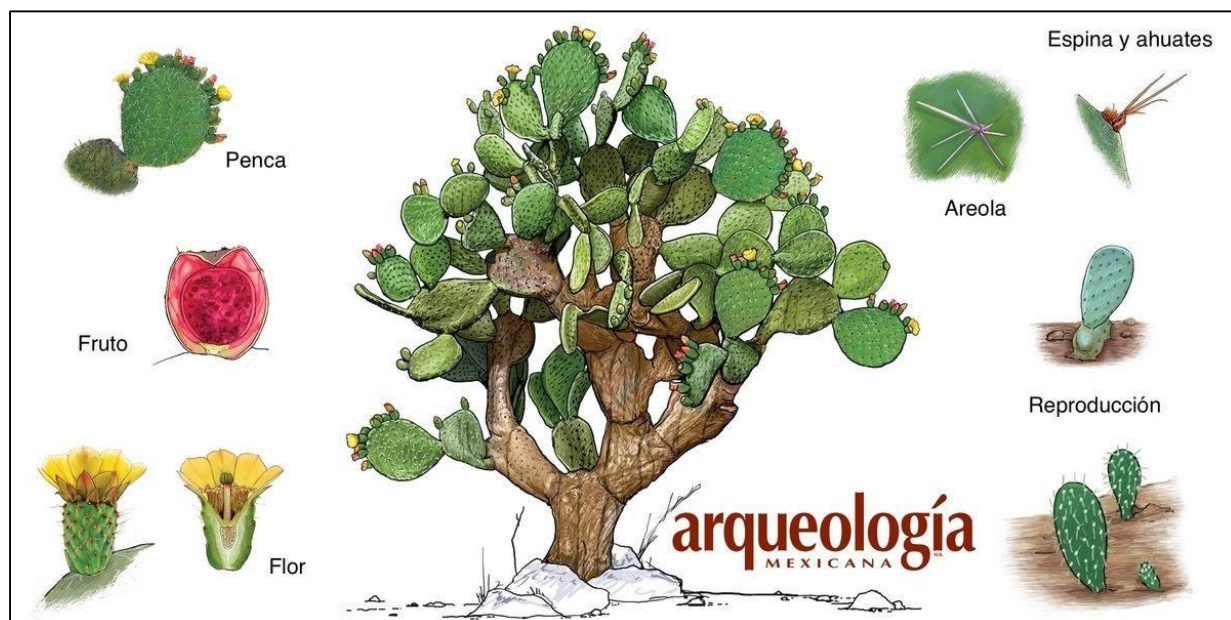
Es una planta cactácea conocido también como tuna o cactus, son plantas arborescentes, arbustivas o rastreras, con forma simple o de matorrales. Poseen un tronco leñoso muy definido, con ramificaciones esparcidas o en forma de copa, con tallos y ramas articuladas (Warner, 1972) son endémicos del continente americano. El nombre científico le fue asignado por Tournefort en 1700, por su semejanza con una planta espinosa que crecía en el poblado de Opus en Grecia (Velásquez, 1998).

Es una planta que se adapta fácilmente a zonas con escasas de agua. Las hojas no poseen gran cantidad de espinas (figura 7), presenta un tallo color verdoso y succulento, las flores presentan coloraciones llamativas y sus frutos son pulposos y comestibles (Nogués et al.,

2013). Presenta un alto contenido nutricional tanto para el ser humano como para animales como caprinos y ovinos. Es rica en carbohidratos y bajo en valor proteico (Beale, 2013).

Figura 7

Descripción física del Opuntia ficus indica



Nota: Adaptado de *Las Partes del Nopal*, por R. Ríos, 2020, *Las partes del Nopal*, 3

Es así como actualmente existen en forma silvestre o cultivada en el sur de España, y en toda la cuenca del Mediterráneo: Francia, Grecia, Italia y Turquía, llegando hasta Israel. Los árabes la llevaron desde España a África, difundiéndose en Argelia, Egipto, Eritrea, Etiopia, Libia, Marruecos y Túnez. Sin embargo, su distribución es aún mayor; en el continente americano, se encuentra desde Canadá a Chile, en Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Estados Unidos de América, México, Perú, y Venezuela y varios países de América Central y el Caribe; en otros continentes se encuentra en Angola y Sudáfrica, en Australia y la India, existiendo especies tanto cultivadas como silvestres. En estos países, se encuentra parte de las más de 5 000 millones de hectáreas de zonas áridas y semiáridas del planeta y sus pueblos buscan especies que puedan desarrollarse y prosperar en ese peculiar y restrictivo hábitat (Silva, 2017).

Dentro de nuestro territorio peruano existe una gran variedad de climas, temperaturas y altitudes a las cuales los cactus se han adaptado en millones de años para sobrevivir y eso explica las muchas formas, tamaños y texturas que presentan los cactus. De los múltiples géneros de cactáceas, el *Opuntia* cuenta con 258 especies reconocidas (Ostolaza, 2011). La determinación del origen del nopal en el Perú puede atribuirse al uso de la cochinilla

(*Dactylopius* spp.). Este insecto, cuya hembra ha sufrido grandes modificaciones en su morfología para adaptarse a una vida sésil sobre los cactus, es endémico del continente americano al igual que las cactáceas (Claps y Haro, 2001); (Novoa, 2006) y fue de gran importancia en las culturas prehispánicas, en especial para el teñido de fibras y tejidos.

2.7.1. Taxonomía

Según Saenz (2006), se conocen casi 300 especies del género *Opuntia*. Sin embargo, hay solo 10 o 12 especies hasta ahora utilizadas por el hombre, ya sea para producción de fruta y nopalitos para alimentación humana, forraje o cochinilla para obtención de colorante. Entre ellas se encuentran, como especies cultivadas para producción de fruta: *Opuntia ficus indica*, *O. amyclaea*, *O. xoconostle*, *O. megacantha* y *O. streptacantha*. Como especies silvestres: *Opuntia hyptiacantha*, *O. leucotricha* y *O. robusta*. De las especies citadas, la más ampliamente cultivada en distintas partes del mundo es *Opuntia ficus indica* (figuras 8 y 9) (tabla 9); es más, en la cuenca del Mediterráneo es la única *Opuntia* que se cultiva (Uzun, 1997) y se emplea con diferentes propósitos.

Figura 8

Características de la tuna o nopal (Opuntia ficus indica)



Nota: Adaptado de *Características de la tuna o nopal (Opuntia ficus-indica)*, de Fuentes, 2016 (p. 7), por B.J. Morejón, 2017, Universidad Técnica del Norte.

Tabla 7

Taxonomía del nopal

Clasificación Científica	
Reino	Vegetal
Sub-Reino	Embryophita

Clasificación Científica	
División	Angiospermae
Clase	Dicotyledonea
Sub-Clase	Dialipetalas
Orden	Opuntiales
Familia	Cactaceae
Sub-Familia	Opuntioideae
Tribu	Opuntiae
Género	<i>Opuntia</i>
Subgénero	5
Especie	300

Nota: Tomado de P. Barrientos (1983), por Silva (2017) (p. 13), Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Figura 9

Opuntia ficus indica plantas de paisaje de desierto



Nota: Fotografía de cultivo de *Opuntia ficus indica*. Adaptado de *Procedencia de las tunas que se cosechó para los fines del proyecto – Tunales de Chilca*, por Silva (2017) (p. 69), Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

2.7.2. Descripción Física del *Opuntia ficus indica*

Las características de estas especies son variables, diferenciándose en la forma de los cladodios, en la presencia o ausencia de espinas, en el tamaño y color de los frutos y en otras características botánicas. Por ejemplo, los frutos de *Opuntia ficus indica* son dulces, jugosos, de color amarillo, anaranjado, rojo o púrpura, con mucha pulpa y cascara de grosor variable, pero generalmente delgada (Saenz, 2006).

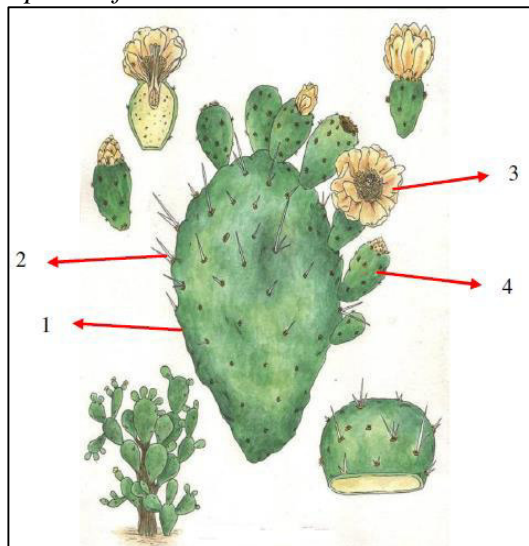
Son plantas, suculentas arborescentes, arbustivas o rastreras, se caracterizan por tener tallos o cladodios en forma de paletas, que son planos, suculentos y articulados, llamados comúnmente pencas, que alcanzan hasta 60-70 cm de longitud. Sobre ambas caras del cladodio se hallan las yemas, llamadas areolas, que presentan en su cavidad espinas (Aguero et al., 2005).

Además, según Ríos y Quintana (2004), el *Opuntia ficus indica* tiene el tronco leñoso y mide entre 20 y 50 cm. de diámetro, forma artículos oblongos (pencas o cladodios) de 30 a 60 cm. de largo x 20 a 40 cm. de ancho y de 2 a 3 cm. de espesor. Sus ramas están formadas por pencas de color verde opaco con areolas que contienen espinas más o menos numerosas, amarillas y produce flores de 7 a 10 cm. de largo, su fruto es oval de 5 a 10 cm. de largo x 4 a 8 cm. de diámetro y su color puede ser amarillo, anaranjado, rojo o púrpúreo con abundante pulpa carnosa y dulce (figura 10).

A continuación, se cita la descripción morfológica del *Opuntia ficus indica* de acuerdo al manual “Cultivo de Tuna” *Opuntia ficus indica* de la Gerencia Regional Agraria La Libertad (Amaya, 2009):

Figura 10

Esquema de las partes del Opuntia ficus indica



Nota: se identifica: 1) Cladodio o Penca, 2) Espinas, 3) Flor y 4) Fruto. Adaptado de *Esquema de la Opuntia Ficus Indica*, por Silva (2017) (p. 16), Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Tallo. Es un vegetal arborescente de 3 a 5m de alto, su tronco es leñoso y mide de entre 20 a 50cm de diámetro. En el Perú las variedades más usuales desarrollan portes de aproximadamente 1.5 a 2 m de altura. El tallo, a diferencia de otras especies

de cactáceas, está conformado por un tronco y ramas aplanadas que posee cutícula gruesa de color verde de función fotosintética y de almacenamiento de agua en los tejidos (figura 11).

Figura 11

Arquitectura de planta adulta tuna



Nota: Fotografía de cultivo de *Opuntia ficus indica*. Adaptado de *Arquitectura de planta adulta tuna* mostrando las pencas o cladodios que forman el tallo y dan origen a los frutos, por Amaya (2009) (p. 9), Gerencia Regional Agraria La Libertad.

Cladodios. También denominadas pencas de 30 a 60 cm. de largo x 20 a 40 cm de ancho y de 2 a 3 cm de espesor. Sus ramas están formadas por pencas de color verde opaco con areolas que contienen espinas más o menos numerosas de color amarillas. Estas estructuras transforman la luz en energía química a través de la fotosíntesis y están recubiertos por una cutícula del tipo lipídica, interrumpida por la presencia de estomas, los mismos que permanecen cerrados durante el día. La cutícula del cladodio evita la deshidratación provocada por las altas temperaturas del verano. La hidratación normal del cladodio alcanza hasta un 95% de agua en peso. El sistema radicular es profundo; no obstante, dependiendo de la humedad ambiental, pueden desarrollar raíces laterales superficiales.

Figura 12

Parámetros morfométricos del cladodio considerados en trabajos de investigación



Nota: a) largo, b) ancho c) perímetro y d) grosor. Adaptado de *Parámetros morfométricos del cladodio considerados en trabajos de investigación*, por Amaya (2009) (p. 10), Gerencia Regional Agraria La Libertad.

Hojas. Solo en cladodios internos, transformadas en espinas en forma de garra, engrosadas en su base, para defensa; las caducas sólo se observan sobre tallos tiernos. Cuando se produce la renovación de pencas, en cuyas axilas se hallan las aréolas de las cuales brotan las espinas, de aproximadamente 4 a 5 mm de longitud (figura 13). Las hojas desaparecen cuando las pencas han alcanzado un grado de desarrollo y en cuyo lugar quedan las espinas.

Figura 13

Cladodios tiernos mostrando las hojas caducas



Nota: Adaptado de *Cladodios tiernos mostrando las hojas caducas*, por Amaya (2009) (p. 10), Gerencia Regional Agraria La Libertad.

Longevidad. La longevidad promedio de las plantaciones de nopal es de 5 a 7 años, alcanzando algunas veces hasta 10 años con buenos rendimientos. En terrenos apropiados con pH neutro y con prácticas constantes de cultivo, sin problema de plagas, el nopal puede llegar a vivir hasta 80 años, alcanzando de 80 a 90 t/ ha/año. Las plantaciones comerciales de explotaciones intensivas, pueden durar 3 años. Cabe resaltar que la parte comestible del nopal son los rebrotes tiernos, los mismos que pueden ser aprovechados desde los 8 ó 10 días luego de haber brotado (Ríos y Quintana, 2004).

Hábitat. En las zonas áridas y semiáridas existen diferentes factores ambientales que limitan el crecimiento de las plantas, tales como temperaturas altas y bajas, escasez de agua y limitación en la disponibilidad de nutrientes. La evolución de las cactáceas en estos ambientes ha conducido a que las diferentes especies del género *Opuntia* desarrollen características morfológicas, fisiológicas y bioquímicas que les permitan adaptarse a estas condiciones ambientales adversas (Amaya, 2009).

Asimismo, menciona que la proliferación masiva de ciertos tejidos parenquimatosos, asociados con un aumento en el tamaño de las vacuolas y una disminución en los espacios intercelulares, le permite a la planta acumular agua en breves períodos de humedad. Por otra parte, las formas esféricas o suculentas representan los cuerpos más eficientes para evitar la evapotranspiración. Para su óptimo desarrollo, la planta requiere una temperatura anual entre los 18 y 25°C, aunque existen algunas especies resistentes a las bajas temperaturas donde pueden soportar hasta 16 grados centígrados bajo cero, siempre y cuando no se presenten estas temperaturas por períodos prolongados. El *Opuntia ficus indica* se le encuentra en zonas con lluvias de 125 o más milímetros al año, aunque los excesos de humedad pueden provocar enfermedades fungosas y daños por insectos.

Y en lo que respecta a suelos, se adapta bien a diversas texturas y composiciones, pero se desarrolla mejor en suelos sueltos, arenosos, de profundidad media, con un pH preferentemente alcalino, también pueden encontrarse a altitudes menores cerca de la costa.

2.7.3. Métodos de Propagación

Selección de la Raqueta o Planta Madre. Según Ríos y Quintana (2004), la raqueta se debe de obtener de huertos o viveros con un buen manejo, lo que garantiza su sanidad y calidad. Para ello, se deben de cumplir las siguientes cualidades:

- Presencia de buen vigor.
- Libre de plagas y enfermedades.

- Que no presenten malformaciones físicas.
- Edad de 6 meses a 1 año.
- El tamaño mínimo debe de ser de 30 cm de ancho por 20 cm de largo.
- Presencia de buen grosor y succulencia.
- Antes de ser plantada la raqueta debe ser desinfectada con el fin de evitar problemas de pudrición en la producción.

Sistema Tradicional de Siembra. En este sistema se cultiva nopal en hileras con 1 a 1.5 m. de separación (figura 14); las pencas se plantan de 0.25 a 0.5 m. y se dejan crecer plantas entre 1 a 1.5 m de altura (se forman macizos de nopal a lo largo de la hilera). Las densidades varían de 15,000 a 20,000 plantas por hectárea, siendo las más comunes las de 17,000 plantas (Ríos y Quintana, 2004).

Figura 14

Plantación de Nopal bajo sistema tradicional



Nota: Adaptado de *Sistema tradicional*, por Amaya (2009) (p. 31), Gerencia Regional Agraria La Libertad.

Sistema de Siembra Micro Túnel. Este sistema intensivo se desarrolló en la Universidad Autónoma de Chapingo, México, en la década de los 60' y ha incentivado un fuerte desarrollo en la producción de nopal, principalmente en los meses de invierno. Consiste en establecer camas de 1.2 a 2 metros de ancho (figura 15). El largo varía de 40 a 47 metros. Las pencas se plantan unas junto a las otras con una separación de 5 cm. y las hileras tienen una distancia de 20 a 30 cm entre sí (Ríos y Quintana, 2004).

Figura 15

Plantaciones de Nopal bajo el sistema de siembra micro túnel



Nota: Adaptado de *Sistema micro túnel*, por Amaya (2009) (p. 32), Gerencia Regional Agraria La Libertad.

2.7.4. Composición Química General

Estudios fitoquímicos realizados al *Opuntia ficus indica* han indicado la presencia de proteínas, carbohidratos y metabolitos secundarios (saponinas y flavonoides), así como, la ausencia de taninos y alcaloides Kiesling et al. (2005), y Vásquez (1994), citados por Villabona et al. (2013). En la tabla 10 se muestra la comparación del análisis fitoquímico del cactus *Opuntia ficus indica* realizado por tres investigadores, en el cual se advierte que el mayor porcentaje de su composición corresponde al agua almacenada en sus tejidos, representando 90% de humedad.

Tabla 8

Análisis fitoquímico del Cactus Opuntia ficus indica

Parámetro	Valor	Referencia
pH	4.42	Rodríguez et al. (2007)
	4.25	Villabona et al. (2013)
Humedad %	90.83	Vásquez (1994)
	90.23	Villabona et al. (2013)
Calcio %	2.71	Vásquez (1994)
	1.35	Rodríguez et al. (2007)
Hierro (ppm)	0.27	Villabona et al. (2013)
	42.67	Vásquez (1994)
	12.35	Rodríguez et al. (2007)
Flavonoides (mg/g)	32.55	Villabona et al. (2013)
	5.23	Vásquez (1994)
Saponinas (mg/g)	10.16	Villabona et al. (2013)
	0.56	Vásquez (1994)
	0.70	Villabona et al. (2013)

Nota: la tabla muestra los valores de los parámetros fitoquímicos del Cactus *Opuntia ficus indica*. Adaptado de Vásquez (1994), Rodríguez et al., (2007) y Villabona (2013).

Los cladodios tienen interés desde el punto de vista industrial ya que cuando los brotes son tiernos (10-15 cm) se usan para la producción de nopalitos y cuando están parcialmente lignificados (cladodios de 2-3 años), para la producción de harinas y otros productos. Las tablas 11 y 12 muestran la composición química del nopal.

Tabla 9

Composición química de la Penca del Nopal

Componentes	Penca
Energía (kcal)	27 – 37
Proteínas (mg)	1,1 – 1, 7
Carbohidratos (g)	5,6 – 8,8
Cenizas (g)	0,9
Calcio (mg)	93 – 110
Fósforo (mg)	20
Hierro (mg)	0,5
Vitamina a (µg)	41 – 50
Tiamina (mg)	0,04
Riboflavina (mg)	0,04
Niacina (mg)	0,2
Vitamina c (mg)	19

Nota: Tomado de SARH (1987), de Quispe (2012) (p. 18), Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.

Tabla 10

Composición química de 100g de nopal fresco

Parámetro	Contenido
Porción comestible	78.00
Energía (kcal)	27.00
Proteínas (g)	1.70
Grasa (g)	0.30
Carbohidratos (g)	5.60
Calcio (mg)	93.00
Parámetro	Contenido
Hierro (mg)	1.60
Tiamina (mg)	0.03
Riboflavina (mg)	0.06
Niacina (mg)	0.03

Ascórbico (mg)	8.00
----------------	------

Nota: Tomado de *De la Rosa y M. Santana (2001)*, CONAZA-UACH-CIESTAAM

El contenido de los macro componentes en el cladodio cambia con su edad, como lo muestra la tabla 13 Los nopalitos contribuyen con una alta proporción de agua (alrededor del 90%) y son altamente cotizados por su contenido de fibra, comparable al de varias frutas y hortalizas (Zambrano et al., 1998); (Ruales y Zumba, 1998).

Tabla 11

Composición química de cladodios de distintas edades (porcentaje materia seca)

Edad (años)	Proteína	Grasa	Ceniza	Fibra cruda	Extracto no nitrogenado
0.5	9.4	1.00	21.0	8.0	60.6
1	5.4	1.29	18.2	12.0	63.1
2	4.2	1.40	13.2	14.5	66.7
3	3.7	1.33	14.2	17.0	63.7
4	2.5	1.67	14.4	17.5	63.9

Nota: Valores expresados en porcentaje (%). Tomado de *López (1977)*, por Saenz (2006), Servicios Agrícolas de la FAO

Son ricos también en minerales, entre ellos el calcio y el potasio (93 y 166 mg/100 g, respectivamente), y tienen bajo contenido de sodio (2 mg/ 100 g), lo que es una ventaja para la salud humana. Su alto contenido en calcio, los hacen muy interesantes por la importancia de este mineral en la dieta. Según los investigadores (McConn y Nakata, 2004) en un estudio efectuado en nopalitos señalan, sin embargo, que el calcio no estaría disponible para la utilización por el cuerpo humano, ya que se encuentra bajo forma de cristales de oxalato de calcio. Contienen, además, cantidades moderadas de carotenoides (30 $\mu\text{g}/100\text{ g}$) y vitamina C (11 mg/100 g) (Rodríguez y Cantwell, 1988). La composición química de las cenizas varía en las distintas especies y también dentro de una misma especie, de acuerdo a la composición química del suelo y con los complicados fenómenos mediante los que esas plantas disponen de sus nutrientes. Estos fenómenos se relacionan con la acidez, salinidad, conductividad, grado de disociación o ionización, humedad y textura del suelo.

Por otro lado, (Villabona et al., 2013) realizó una caracterización de las propiedades del polvo de cactus, las cuales se presentan en la tabla 14.

Tabla 12

*Propiedad del polvo de cactus *Opuntia ficus indica**

Parámetro	Valor
-----------	-------

Parámetro	Valor
pH	6.19
Estado físico	Sólido
Color	Blanco marfil
Nitrógeno X 6.35 (%)	7.39
Carbohidratos	58.77
Densidad (g/mL)	0.626

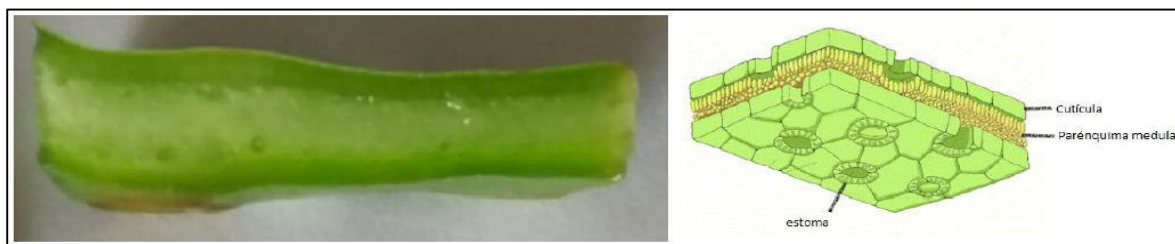
Nota: Tomado de A. Villabona *et al.* (2013), Universidad de Cartagena.

2.8. El Mucílago de la Tuna (*Opuntia ficus indica*)

Según Saag *et al.* (1975), citado por Guzmán *et al.* (2013), el género *Opuntia* (familia *cactaceae*), se caracteriza por la producción de un hidrocoloide, conocido como mucílago, el cual, forma redes moleculares que pueden retener grandes cantidades de agua (figura 16).

Figura 16

Estructura del cladodio de nopal



Nota: Adaptado de *Estructura del cladodio de nopal*, por Nobel *et al.* (1992), Oxford University Press.

El mucílago es un polisacárido fibroso, de una forma altamente ramificada, compuesto por un contenido alto en azúcares (Parra *et al.*, 2011); este polisacárido es una sustancia pegajosa y por lo tanto poco manejable, cada molécula del mucílago puede contener más de 30 000 subunidades de azúcar, o residuos. La estructura del mucílago del género *Opuntia* es altamente ramificada (Medina *et al.* 2000), citado por (Guzmán *et al.*, 2013) y según la especie contiene proporciones variables de L-arabinosa, D-galactosa, L-ramnosa, D-xilosa (Gybson y colab, 1986) citado por (Quispe, 2012) y el ácido galacturónico, siendo este último su componente principal (Parra *et al.*, 2011); y (Trachtenberg y Mayer, 1982); (Henríquez *et al.*, 2009); (Moreno *et al.*, 2008); (Goycoolea *et al.*, 2010); citado por Guzmán *et al.* (2013). Al respecto, Miller *et al.* (2008) afirman que al añadir de manera independiente el ácido

galacturónico a muestras de agua, fue capaz de reducir la turbidez en un porcentaje mayor al 50%, por lo cual, señala que puede haber otros componentes adicionales que se encuentren en el mucílago y que contribuya al proceso de coagulación, siendo necesario la ejecución de más estudios para determinar dichos componentes.

Se ha visto que los derivados del azúcar difieren mucho en el cactus y no muestran ningún orden sistemático de composición. También se encontró en el mucílago la presencia de fructosa, sacáridos y maltosa. De esta manera, el gel del cactus contiene polisacáridos de varios tipos y composición, así como proteínas (Chandra [1998], citado por Quispe, [2012]).

Este compuesto se presenta tanto en los cladodios como en la piel y pulpa de la fruta, aunque en muy diversas proporciones. Estudios efectuados por Saenz y Sepulveda (1993) indican que el rendimiento en todos los casos es bajo: 0,5 por ciento en la cáscara y 1,2 por ciento en los cladodios. Por las propiedades, la sustancia gelatinosa, se la ha empleado en diferentes aplicaciones dentro de la industria alimenticia (Rodríguez et al., 2009), farmacéutica (Villanueva y Torrestiana, 2012), cosmética, construcción, en el sector energético, agroindustrial y en la industria de aditivos naturales (Saenz, 2006).

El contenido del mucílago de tuna representa un compuesto muy complejo por la capacidad de formar redes moleculares, es un biopolímero que contiene polisacáridos similares a las pectinas que permiten el encapsulamiento y la separación de los sólidos disueltos del agua (Gutiérrez et al., 2011). Su estructura y composición de polisacáridos con la presencia de compuestos como L-arabinosa, ácido D-galacturónico, D-galactosa, D-xilosa, L-ramnosa, permiten aglutinar sustancias presentes en el agua (Sepulveda y Graham, 2007); (Loza et al., 2012).

Asimismo, por las propiedades de este mucílago, diferentes autores, entre ellos Miller et al. (2008) han propuesto el mecanismo de adsorción y formación de puente, mediante el cual operan las especies del género *Opuntia spp.* en el proceso de coagulación, ya que, las moléculas del polímero pueden ser suficientemente largas y flexibles para ser adsorbidas sobre diversas partículas coloidales, lo cual se ha comprobado con la formación de flóculos ramificados y no esféricos (Parra et al., 2011), por lo cual, Miller et al. (2008) sugiere que la adsorción se produce a través de enlaces de hidrógeno o interacciones dipolo, siendo probable que los electrolitos naturales del *Opuntia spp.*, en especial cationes divalentes (polímeros aniónicos importantes para la coagulación), faciliten la adsorción en las partículas coloidales.

2.8.1. Composición Química del Mucílago

El mucílago es un carbohidrato complejo, entre los monómeros contenidos en la cadena se encuentran: L-arabinosa, D-galactosa, L-ramnosa, D-Xilosa y ácido galacturónico, la proporción de estos monómeros en la molécula varía de acuerdo a diversos factores como: variedad, edad, condiciones ambientales y estructura empleada para la extracción (fruto, cáscara, cladodio), entre otros factores. La tabla 15 muestra la composición química del mucílago de *Opuntia ficus indica* y la tabla 16 los monómeros presentes en el mucílago de diferentes especies de *Opuntia*, así como su peso molecular, según distintas referencias bibliográficas consultadas. El mucílago está presente como su sal de calcio en las células de mucílago del parénquima de la penca (Trachtenberg, y Mayer, 1982).

Tabla 13

Rendimiento de mucílago y composición química (g/100 g)

AUTOR	% RENDIMIENTO	HUMEDAD	PROTEINA	CENIZAS	GRASA	FIBRA	CARBOHIDRATO
BASE HÚMEDA							
Almendárez, (2004)	0.78	7.56	5	38.74	0.47	0.47	55.32
Sepúlveda, <i>et al.</i> , (2007)	1.51 ± 0.1	6.0 ± 0.1	7.23 ± 0.1	37.3 ± 1.0	-	-	49.47
Hong y Ibrahim, (2012)	2.12	13.69	4.81	28.67	-	-	52.83
BASE SECA							
Bayar, <i>et al.</i> , (2016)	10.24	10.25	0.92	35.52	-	-	63.45
Abraján, (2008)	-	-	3.65	22.78	0.75	0.52	72.3
Martinez y González, (2012)	-	-	7.39	-	-	-	58.77

Nota: Tomado de Abraján (2008), Universidad Politécnica de Valencia.

Tabla 14

Peso molecular (PM) y monómero (galactosa, ramnosa, arabinosa, xilosa, ácido galacturónico) presentes en mucílago de Opuntia spp. Según diferentes estudios

Autor	MW (g/mol)	Galactosa	Ramnosa	Arabinosa	Xilosa	Ácido urónico
-------	------------	-----------	---------	-----------	--------	---------------

Autor	MW (g/mol)	Galactosa	Ramnosa	Arabinosa	Xilosa	Ácido urónico
Srivastava (1974)		+		+		
Saag (1975)		+	+	+	+	+
Paulsen and Lund (1979)		+	+	+	+	+
Mc Garvie and Parolis (1979)		+	+	+	+	+
Trachtenberg y Mayer (1981)	4.3 x 10 ⁶	+	+	+	+	+
Mc Garvie and Parolis (1979)		+		+	+	
Mc Garvie and Parolis (1981)		+	+	+	+	+
Trachtenberg y Mayer (1982)	1.56 x 10 ⁶					
Nobel (1992)		+	+	+	+	+
Sáenz (1993)		+	+	+	+	+
Fomi (1994)		+		+	+	+
Cárdena (1997)	3 x 10 ⁶	+	+	+		+
Medina (2000)	2.3 x 10 ⁶	+	+	+	+	+
Cárdenas (2008)		+	+	+	+	
Majdoub (2001)	6.92 x 10 ⁶	+	+	+	+	+
Majdoub (2001)	2.25 x 10 ⁵		+			+
Majdoub (2001)	13.3 x 10 ⁶	+	+	+	+	+
Habibi (2004)		+	+	+	+	+

Nota: + → indica presencia del polisacárido por fuente bibliográfica. Abraján (2008), Universidad Politécnica de Valencia.

Tomando en cuenta las investigaciones más recientes, se puede concluir que los principales compuestos presentes en el mucilago de *Opuntia ficus indica* son los mostrados en la tabla 17.

Tabla 15

Principales compuestos en el mucílago

Componente	Porcentaje (%)
L – Arabinosa	24.6 – 42
D – Galactosa	21 – 40.1
L – Ramnosa	7 – 13.1
D – Xilosa	22 – 22.2
Componente	Porcentaje (%)
Ácido D – Galaturónico	8 – 21.7

Nota: Tomado de Sáenz (2004), *El Nopal, Tópicos de actualidad*.

De acuerdo a Trachtenberg y Mayer (1982), el mucilago es un polisacárido, que contiene 10% de ácido urónico, arabinosa, galactosa, ramnosa y xilosa. La composición del

alternativas de tratamiento de aguas basadas en la utilización de coagulantes naturales en los procesos de clarificación, y se hace imprescindibles, teniendo en cuenta las condiciones económicas actuales de muchos países (Rodríguez et al., 2007).

En un estudio efectuado en Cuba se comparó la capacidad clarificante del mucílago de la tuna, con otros agentes tradicionales como el sulfato de aluminio y se llegó a la conclusión que el mucílago de *Opuntia ficus indica* y de *Opuntia stricta* variedad Dillenii tienen una conducta similar al sulfato de aluminio para clarificar el agua (López, 2000).

Trabajos como los de Vaca-Mier et al, (2014) concluyen la aplicabilidad del polvo de nopal como un coagulante primario alternativo, de bajo costo, gran efectividad y sin efectos tóxicos al medio ambiente, que, acompañado de otros procesos como la desinfección con sustancias alternativas, representaría una opción de tratamiento sustentable para el reúso de aguas negras en actividades de riego.

Otros como los de Guzmán et al. (2013) determinaron que el material extraído de *Opuntia ficus indica* presenta una alta actividad como coagulante debido a su capacidad para remover 50% del color y 70% de turbidez de aguas crudas con alta turbidez inicial. También se logró establecer que el material no altera significativamente el pH del agua tratada. Todo lo anterior evidenció su potencial aplicación como alternativa a los coagulantes sintéticos. No obstante, se expone la necesidad de evaluar la dosis óptima de coagulante, y el efecto de otras variables, tales como la velocidad de agitación, en el desempeño del material en procesos de clarificación, con el fin de diseñar procesos sustentables.

2.8.3. La Tuna (*Opuntia ficus indica*) como Agente DEpurador

Aproximadamente hace dos siglos atrás el mucílago del nopal o tuna (*Opuntia ficus indica*) era la mejor fuente depuradora de agua empleado por los antepasados mexicanos al ser un método de fácil utilización, completamente natural y de mínimo costo, siendo actualmente una alternativa viable en zonas privadas del servicio de agua potable (Mannise, 2012).

Según Ríos y Quintana (2004), el nopal ha sido estudiado ampliamente como una alternativa para la remoción de contaminantes. La baba contiene glucosa, la cual es soluble en el agua y, por lo tanto, atrapa los contaminantes de la materia fecal y a su vez actúa reemplazándolos por nutrientes naturales, al tiempo que elimina malos olores, proporciona buen sabor y regula el pH del agua.

Con la aplicación de este tipo de coagulante vegetal se logra minimizar recursos económicos que a veces es el principal factor limitante al momento de la desinfección del agua

para consumo humano. Requiere de bajas dosis de aplicación para contrarrestar los agentes que polucionan el agua y que representan una eficacia similar o superior al Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) (Guzmán et al., 2013).

Asimismo, se disminuye la turbidez y a la vez se remueven características que están directamente proporcionales a ella, como es el pH y la conductividad. Según Buttice et al. (2010), el coagulante presente en el mucílago de nopal o tuna muestra también un potencial bactericida, cuya aplicabilidad viene desde años atrás adaptándolas de acuerdo a su aceptabilidad.

Para Antillón et al. (2012), el tratamiento de agua a partir del mucílago del nopal o tuna como mecanismo neutralizante de color sobre el agua comprobaron que, en agua con alta alcalinidad y turbidez presentó un mejor resultado que en condiciones inversas sobre estas variables.

El Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$), es uno de los coagulantes que más se emplean en los procesos de tratamiento de agua para consumo humano, representando un valor económico muy elevado por la cantidad que se requiere para obtener el mejor resultado. Muchos países lo emplean sin tomar en cuenta que al ser un producto químico produce reacciones negativas en la salud humana

Entre tanto, Quirós et al. (2010) y Parra et al. (2011) corroboran que altos niveles de aluminio residual mayores a 0.110 mg/l en aguas tratadas ponen en peligro la salud de las personas en 1.5 veces mayor el riesgo de contraer la enfermedad del síndrome de Alzheimer. Las acciones depuradoras del nopal o tuna representan una función importante al momento de implementar un tratamiento, el nopal o tuna cuenta con una acción efectiva al remover arsénico que es perjudicial para la salud del hombre, un problema en las zonas mineras donde se extrae oro (Plitt, 2010).

2.9. Partículas en Suspensión

Las partículas en suspensión de una fuente de agua superficial provienen de la erosión de suelos, de la disolución de sustancias minerales y de la descomposición de sustancias orgánicas. A este aporte natural se debe adicionar las descargas de desagües domésticos, industriales y agrícolas. En general la turbiedad del agua es causada por las partículas de materias inorgánicas (arcillas), en tanto que el color está formado por las partículas de materias orgánicas e hidróxidos de metal (hierro, por ejemplo). Las partículas se clasifican de acuerdo a

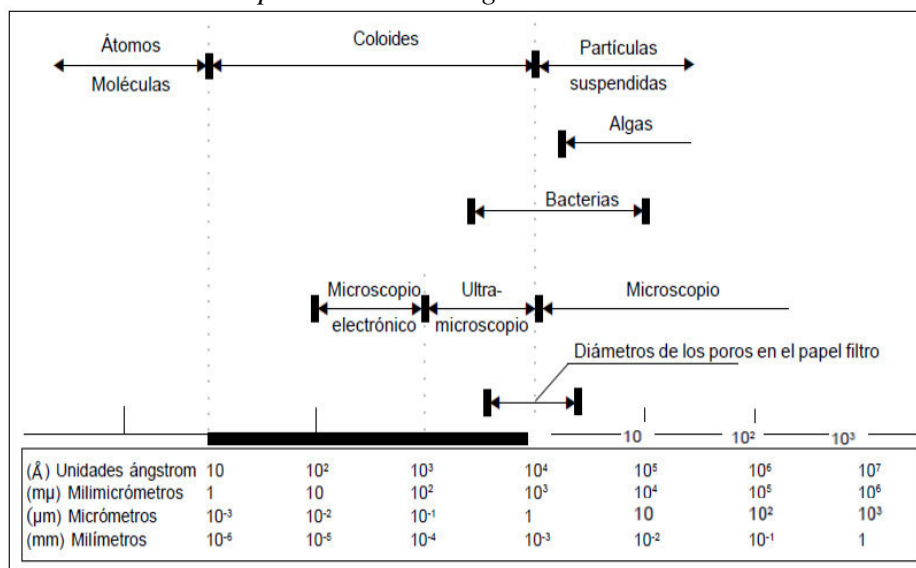
su tamaño; así las partículas con diámetro inferior a 1 micrómetro (μm) que corresponden a partículas de materias orgánicas o inorgánicas, se depositan muy lentamente (Silva, 2017).

2.10. Partículas Coloidales

El agua es un solvente universal porque puede disolver o dispersar la mayoría de sustancias y formar con ellas iones, complejos solubles e insolubles, coloides o simplemente partículas dispersas de diferente tamaño y peso (Vargas et al., 2004). Al respecto, Richter et al. (1984) ilustraron el tamaño aproximado de las partículas presentes en el agua y su distribución, tal como se muestra en la Figura 18.

Figura 18

Distribución del tamaño de las partículas en el agua



Nota: Adaptado de *Distribución del tamaño de las partículas en el agua*, por Richter et al. (1984), PE.CEPIS.

A las partículas coloidales o coloides se les atribuye la turbiedad y el color del agua, presentan un diámetro aproximado entre 1 y 1 000 micrómetros y su comportamiento depende de su naturaleza y origen. Presentan una carga superficial, por lo general negativa, que impide que se aproximen entre ellas, y hace que permanezcan de manera estable y suspendida en el líquido que los rodea. Por este motivo, para que sean removidas es precisa la adición de una sustancia denominada “coagulante” (Vargas et al., 2004).

La estabilidad coloidal es afectada por los electrolitos del coagulante que alteran la carga superficial de los coloides, consecuentemente se consolidan agregados de mayor tamaño que precipitan por efecto de la gravedad; de esta manera, se remueve la turbiedad y el color,

asimismo, también se da la eliminación de algas, bacterias, virus y organismos patógenos; así como, de sustancias productoras de sabor y olor (Molano, 2011).

Asimismo, los coloides poseen una gran superficie específica que les da una gran capacidad de adsorción y, por tanto, no resulta práctico sedimentar las partículas coloidales sin tratamiento previo (Molano, 2011). Al respecto, en la tabla 18 se puede ver el efecto de la disminución del tamaño de las esferas sobre el área total superficial y el tiempo de sedimentación requerido, donde se aprecia que la sedimentación de las partículas coloidales podría durar entre días y años.

Tabla 16

Efecto al disminuir el tamaño de las partículas.

Diámetro de la partícula (mm)	Escala de tamaños	Área superficial total	Tiempo requerido para sedimentar
10	Grava	3.15 cm ²	0.3 seg
1	Arena gruesa	31.50 cm ²	3.0 seg
0.1	Arena fina	315.00 cm ²	38.0 seg
0.01	Sedimento	3150.00 cm ²	33.0 min
0.001	Bacteria	3.15 m ²	55.0 horas
0.0001	Partícula coloidal	31.50 m ²	230.0 días
0.00001	Partícula coloidal	0.28 ha	6.3 años
0.000001	Partícula coloidal	2.83 ha	63.0 años

Nota: Adaptado de *Distribución del tamaño de las partículas en el agua*, por Richter et al. (1984), PE.CEPIS.

Según Vargas et al. (2004), los tipos de coloides de acuerdo a su comportamiento en el agua pueden ser *hidrófobos* cuando repelen el agua, aunque estos no repelen completamente al agua; e *hidrófilos* cuando presentan afinidad con el agua. Asimismo, señala que, en los sistemas coloidales hidrófobos, las propiedades de la superficie de las partículas son muy importantes. Las arcillas y algunos óxidos metálicos son coloides hidrófobos muy importantes en el tratamiento del agua. Por su parte, los coloides hidrofílicos comprenden soluciones verdaderas, que abarcan polímeros tanto sintéticos como naturales y numerosas sustancias biológicas como proteínas, ácidos nucleicos, almidones y otras macromoléculas.

2.10.1. Propiedades de los Coloides

Entre las propiedades que presentan las partículas coloidales o coloides, Richter et al., (1984) citan las siguientes:

- ***Movimiento browniano***

Consiste en el movimiento constante e irregular de los coloides, como resultado del choque desigual y casual de las partículas en suspensión por las moléculas del líquido. Este movimiento constante y desordenado les impide a los coloides sedimentar, aunque las partículas sean más densas que el líquido que las rodea; sin embargo, este movimiento solo puede explicar la estabilidad de las dispersiones coloidales más pequeñas.

- ***Difusión***

El movimiento constante de las moléculas del líquido ocasiona que las partículas coloidales se encuentren en movimiento Browniano constante, lo que origina que estas tiendan a dispersarse por todas partes en el disolvente; sin embargo, la velocidad de difusión es menor que el movimiento Browniano.

- ***Electrocinética***

Toda partícula coloidal está eléctricamente cargada, la carga varía su magnitud de acuerdo a la naturaleza del material coloidal y puede ser positiva o negativa. La estabilidad de los coloides depende de su carga eléctrica. Los de igual signo se repelen y no dejan formar aglomerados de muchas partículas (García, 2007); (Kirchmer, 1983).

Presión osmótica. Se refiere a la presión hidrostática necesaria para que el flujo osmótico (movimiento espontáneo del solvente hacia el sistema coloidal) se detenga y se alcance un estado de equilibrio.

- ***Opalescencia***

Las soluciones coloidales generalmente son incoloras; sin embargo, algunas pueden ser coloreadas, dependiendo de la diseminación de la luz y adsorción selectiva de cierta longitud de onda.

- ***Efecto de Tyndall-Faraday***

Fenómeno por el cual las partículas coloidales provocan la dispersión de la luz cuando esta pasa a través de una suspensión coloidal, siendo esta dispersión directamente proporcional al tamaño de las partículas.

- ***Superficie- adsorción***

Las partículas coloidales se caracterizan por tener una gran superficie específica -definida como la relación entre el área superficial y la masa-, razón por la cual tienen

una gran capacidad de adsorción, siendo la adsorción selectiva, la base fundamental de la estabilidad de algunas dispersiones coloidales.

2.10.2. Afinidad de las Partículas Coloidales con el Agua

Las partículas coloidales se caracterizan por ser hidrofílicas (tienen afinidad por el agua) e hidrófobas (es decir, que rechazan al agua), los primeros se dispersan espontáneamente dentro del agua y son rodeados de moléculas de agua que previenen todo contacto posterior entre estas partículas; las partículas hidrofóbicas no son rodeados de moléculas de agua, su dispersión dentro del agua no es espontáneo por lo que requiere de la ayuda de medios químicos y físicos.

Las partículas hidrófobas son en general partículas de materias inorgánicas mientras que las hidrofílicas son materias orgánicas; en realidad solo un poco son las partículas que son exclusivamente hidrofílicas o hidrofóbicas; se obtienen más bien partículas hidratadas a los diferentes grados.

La carga eléctrica y la capa de agua que rodean las partículas hidrófilas tienden a desplazar las partículas unas de otras y, en consecuencia, los estabiliza entro de la solución (Silva, 2017).

2.10.3. Carga Eléctrica y Doble Capa

Dentro del Agua Superficial, las partículas coloidales, son las causantes de la turbiedad y del color por lo que el tratamiento del agua está orientado a la remoción de estas partículas; estas poseen normalmente una carga eléctrica negativa situado sobre su superficie. Estas cargas llamadas cargas primarias, atraen los iones positivos del agua, los cuales se adhieren fuertemente a las partículas y atraen a su alrededor iones negativos acompañados de una débil cantidad de iones positivos (Silva, 2017).

Los iones que se adhieren fuertemente a la partícula y se desplazan con ella, forman la capa adherida o comprimida, mientras que los iones que se adhieren débilmente constituyen la capa difusa, por lo tanto, hay un gradiente o potencial electrostático entre la superficie de la partícula y la solución, llamado Potencial Zeta.

2.10.4. Factores de Estabilidad e Inestabilidad

Las partículas coloidales están sometidas a dos grandes de fuerzas (Silva, 2017):

- Fuerzas de atracción de Van der Waals: “Ea” (factores de Inestabilidad); son fuerzas de atracción producidas por el movimiento continuo de las partículas.

- Fuerzas de repulsión electrostáticas: “Eb” (columbicas – factor de estabilidad); son fuerzas que impiden la aglomeración de las partículas cuando estas se acercan unas a otras.

2.10.5. Estabilidad de los Coloides

De acuerdo a Kirchmer (1983), los sistemas coloidales están propensos a ser estabilizados y desestabilizados. En el primer caso, las fuerzas de estabilización o repulsión son: la carga de las partículas y la hidratación (en coloides hidrofílicos). En el segundo caso, las fuerzas de desestabilización o atracción, son: la gravedad, el movimiento Browniano, y las fuerzas de Van Der Waals, de las cuales, la fuerza de gravedad es insignificante en la desestabilización de las partículas coloidales. Asimismo, Andia (2000) señala que el equilibrio de una suspensión coloidal depende de la fuerza resultante entre la fuerza de atracción y la fuerza de repulsión.

Considerando que las partículas coloidales tienen una carga eléctrica, los iones con carga contraria (contra-iones) del solvente son atraídos hacia la superficie de la partícula, este fenómeno unido a la agitación térmica de todo el sistema (difusión térmica), da lugar a una distribución de carga alrededor de la partícula coloidal cuya estructura adopta la forma de una doble capa eléctrica (Rodríguez, 2006).

Según diferentes investigadores, el modelo que mejor explica el fenómeno de la doble capa eléctrica es el de Stern-Gouy. Mediante este modelo, la doble capa eléctrica, está constituida por dos regiones claramente diferenciadas, la primera región denominada capa rígida o compacta está más cerca de la superficie de la partícula, en la región de interfaz (sólido-líquido), es de poco espesor y está conformada por los contra-iones fuertemente adheridos a la partícula; la segunda región denominada capa difusa es una capa más extendida, en donde la difusión térmica de los iones en la solución y la atracción electrostática a la partícula coloidal, permiten una mayor dispersión iónica (Rodríguez, 2006); (Richter et al., 1984).

2.10.6. Remoción de las Partículas Coloidales

De acuerdo a Kirchmer (1983), la acción que tienen los coagulantes en la remoción de los coloides se basa en dos procesos: la coagulación y la floculación. La coagulación comienza en el instante en que se agrega el coagulante y consiste en la desestabilización de los coloides mediante la remoción de las fuerzas que los mantenían separados; por su parte, la floculación se refiere al transporte de las partículas coloidales en el líquido para que hagan contacto y permitir

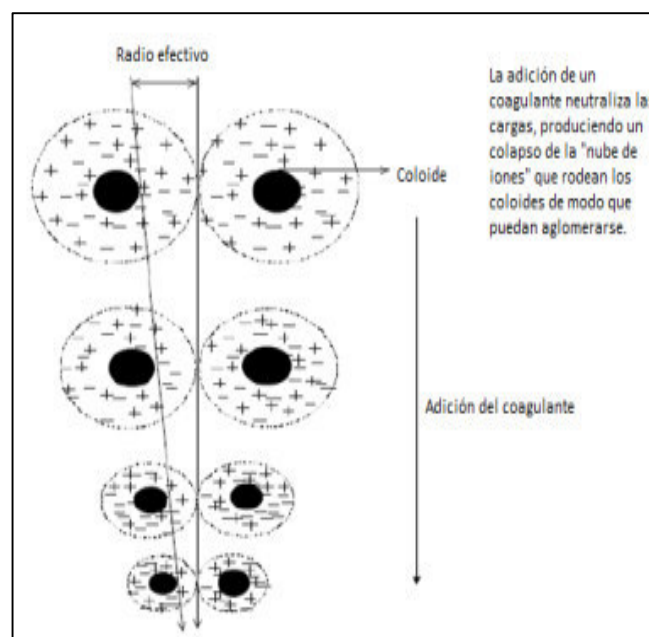
su crecimiento, dando origen a un “flóculo” suficientemente grande y pesado, que puede sedimentar con facilidad.

Sin embargo Weber (1979) también señala que los conceptos aceptados por los investigadores refieren que, al ser procesos simultáneos y siendo difícil de identificar el término de la coagulación y el inicio de la floculación, la coagulación puede aplicarse para el proceso global de agregación de partículas incluyendo la desestabilización y su transporte, mientras que la floculación solamente se emplea para describir el transporte de la partícula.

En la figura 19 se puede ver cómo los coagulantes cancelan las cargas eléctricas sobre la superficie del coloide permitiendo la aglomeración y la formación de flóculos, los cuales, inicialmente son muy pequeños, pero se juntan y forman aglomerados mayores capaces de sedimentar.

Figura 19

Desestabilización del coloide



Nota: Adaptado de *Desestabilización del coloide*, por Andia, (2000) (p. 10), SEDAPAL.

Tomando en cuenta lo mencionado, a continuación, se describen ambos procesos, y se describen las etapas, tipos y factores relacionados con la coagulación:

2.11. Coagulación

El término coagulación se deriva de la palabra latina *coagulare* que significa “recolectar”, se refiere a las reacciones que suceden al agregar un coagulante en el agua,

originando productos insolubles. La coagulación comienza al agregar el coagulante al agua y dura fracciones de segundo (Quispe, 2012).

La coagulación es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de reactivos llamados coagulantes y la aplicación de la energía de mezcla (Andia, 2000).

La coagulación no solo elimina la turbiedad sino también la concentración de las materias orgánicas y los microorganismos (Silva, 2017). Asimismo, Richter et al., (1984) resaltaron que del proceso de coagulación depende fundamentalmente la eficiencia de los procesos subsiguientes en el tratamiento del agua.

La coagulación es el tratamiento más eficaz pero también es el que representa un gasto elevado cuando no está bien realizado. Es igualmente el método universal porque elimina una gran cantidad de sustancias de diversas naturalezas y de peso de materia que son eliminados al menor costo, en comparación con otros métodos. El proceso de coagulación mal realizado también puede conducir a una degradación rápida de la calidad del agua y representa gastos de operación no justificadas. Por lo tanto, que se considera que la dosis del coagulante condiciona el funcionamiento de las unidades de decantación y que es imposible de realizar una clarificación, si la cantidad de coagulante está mal ajustada (Silva, 2017).

2.11.1. Mecanismos de Coagulación

La coagulación es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales, consiste en una serie de reacciones físicas y químicas entre los coagulantes, la superficie de las partículas, la alcalinidad del agua y el agua misma. Según (Pérez, 1977), la desestabilización se puede obtener por los mecanismos fisicoquímicos siguientes:

- Compresión de la doble capa.
- Adsorción y neutralización de cargas.
- Atrapamiento de partículas en un precipitado.
- Adsorción y puente.

Compresión de la Doble Capa. Cuando se aproximan dos partículas semejantes, sus capas difusas interactúan y generan una fuerza de repulsión, cuyo potencial de repulsión está en función de la distancia que los separa y cae rápidamente con el incremento de iones de carga opuesta al de las partículas, esto se consigue sólo con los iones del coagulante. Si la distancia que separa a las partículas es superior, entonces las partículas, no se atraen.

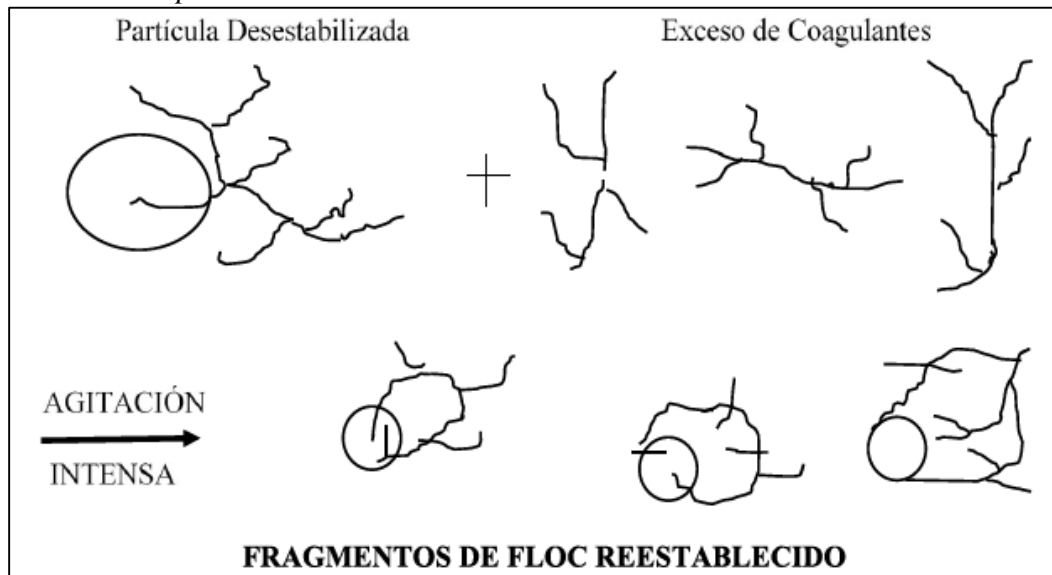
Existe por otro lado un potencial de atracción o fuerzas de atracción entre las partículas, denominadas fuerzas de Van Der Waals, las cuales dependen de los átomos que constituyen las partículas y de la densidad de estos últimos. Contrariamente a las fuerzas de repulsión, las fuerzas de Van Der Waals no son afectados por las características de la solución.

Adsorción y Neutralización de Cargas. Las partículas coloidales poseen carga negativa en su superficie, estas cargas llamadas primarias atraen los iones positivos que se encuentran en solución dentro del agua y forman la primera capa adherida al coloide. El potencial en la superficie del plano de cizallamiento es el potencial electrocinético potencial ZETA, este potencial rige el desplazamiento de coloides y su interacción mutua. Después de la teoría de la doble capa, la coagulación es la considerada como la anulación del potencial obtenido por adición de productos de coagulación –floculación, en la que la fuerza natural de mezcla debido al movimiento browniano no es suficiente requiriéndose una energía complementaria necesaria; por ejemplo, realizar la agitación mecánica o hidráulica.

Cuando se adiciona un exceso de coagulante al agua a tratar, se produce la reestabilización de la carga de la partícula (figura 20); esto se puede explicar debido a que el exceso de coagulante es absorbido en la superficie de la partícula, produciendo una carga invertida a la carga original.

Figura 20

Reestabilización de partículas



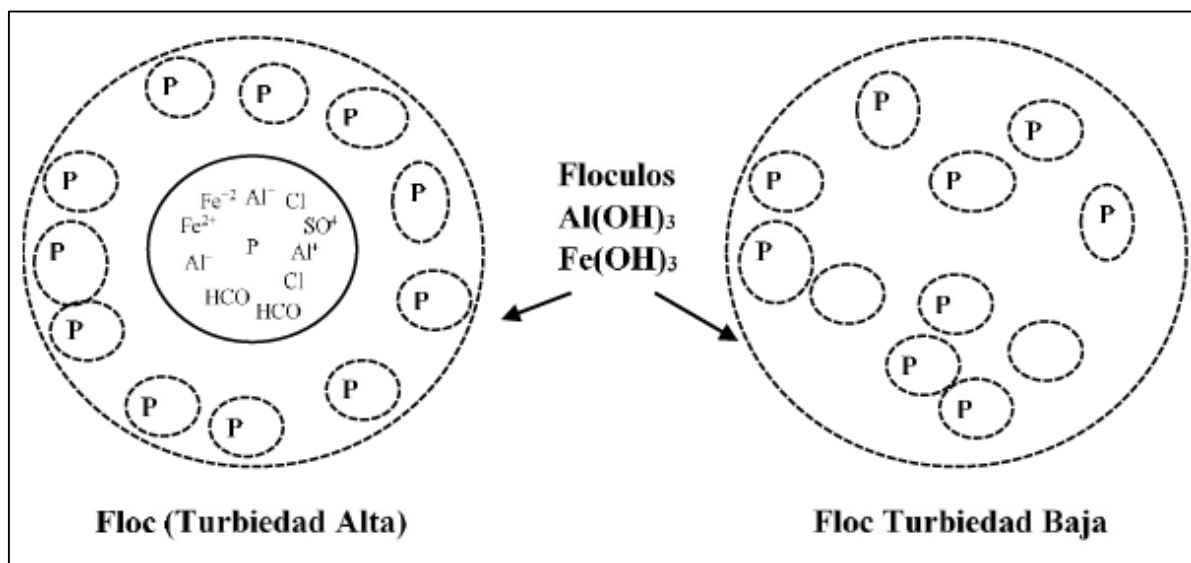
Nota: Adaptado de *Reestabilización de partículas*, por Andia, (2000) (p. 12), SEDAPAL.

Atrapamiento de Partículas en un Precipitado. Las partículas coloidales desestabilizadas, se pueden atrapar dentro de un floc (figura 21), cuando se adiciona una

cantidad suficiente de coagulantes, habitualmente sales de metales trivalente como el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$, o Cloruro Férrico $FeCl_3$, el floc está formado de moléculas de $Al(OH)_3$ o de $Fe(OH)_3$. La presencia de ciertos aniones y de las partículas coloidales acelera la formación del precipitado. Las partículas coloidales juegan el rol de anillo durante la formación del floc; este fenómeno puede tener una relación inversa entre la turbiedad y la cantidad de coagulante requerida. En otras palabras, una concentración importante de partículas en suspensión puede requerir menor cantidad de coagulante.

Figura 21

Atrapamiento de las partículas en un floculo

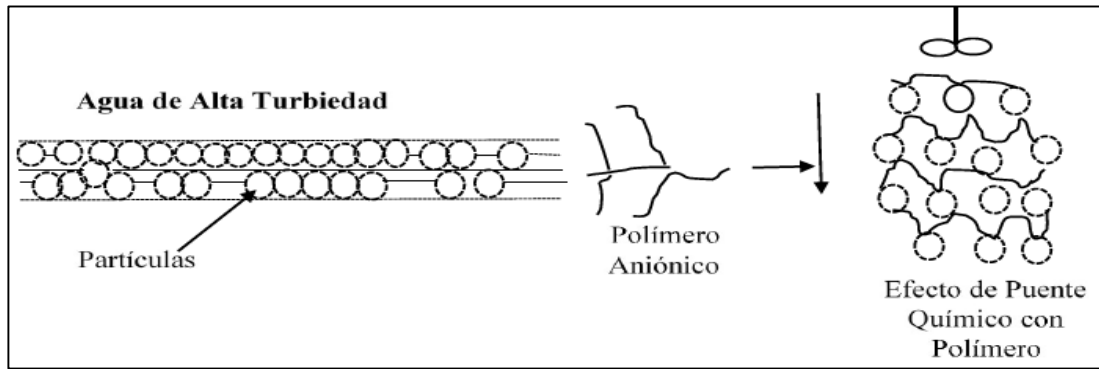


Nota: Adaptado de *Atrapamiento de las partículas en un floculo*, por Andia, (2000) (p. 13), SEDAPAL.

Adsorción y Puente. Se obtiene el tratamiento más económico utilizando un polímero aniónico, cuando las partículas están cargadas negativamente. Este fenómeno es explicado por la teoría del "puente". Las moléculas del polímero muy largas contienen grupos químicos que pueden adsorber las partículas coloidales. La molécula de polímero puede así adsorber una partícula coloidal en una de sus extremidades, mientras que los otros sitios son libres para adsorber otras partículas. Por eso se dice que las moléculas de los polímeros forman el "puente" entre las partículas coloidales (figura 22). Esto puede tener un re-estabilización de la suspensión, por una excesiva carga de polímeros.

Figura 22

Efecto de puente de las partículas en suspensión



Nota: Adaptado de *Efecto de puente de las partículas en suspensión*, por Andia, (2000) (p. 14), SEDAPAL.

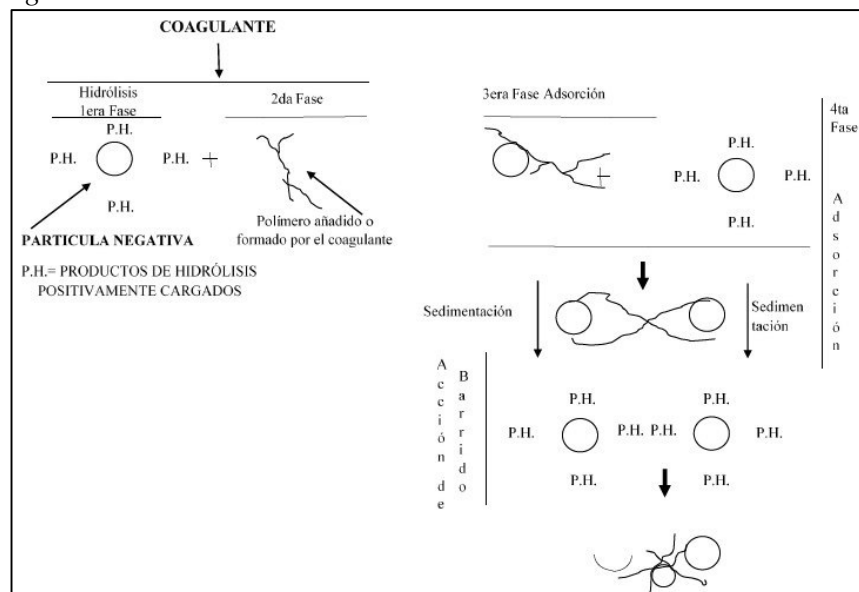
2.11.2. Etapas o Fases de Coagulación

Según Richter et al (1984) y Andia (2000) el proceso de coagulación se desarrolla en un tiempo muy corto, y en 5 fases de forma consecutiva y simultánea, según el detalle:

- Fase 1: Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas en suspensión.
- Fase 2: Formación de Compuestos químicos poliméricos.
- Fase 3: Adsorción de cadenas poliméricas por los coloides.
- Fase 4: Adsorción mutua de coloides.
- Fase 5: Acción de barrido.

En la Figura 23 se ilustra la secuencia de estas fases:

Figura 23
Fases de la coagulación



Nota: Adaptado de *Fases de la coagulación*, por Andia, (2000) (p. 26), SEDAPAL.

2.11.3. Tipos de Coagulación

Pérez (1977) menciona 2 tipos básicos de coagulación: por adsorción y por barrido, los cuales se detallan a continuación:

Coagulación por Adsorción. Este tipo se da cuando el agua presenta una alta concentración de partículas en estado coloidal, donde al aplicar el coagulante las especies hidrolíticas solubles son adsorbidas por los coloides formándose los flóculos en un tiempo muy corto, de forma casi instantánea.

La reacción inmediata se debe a la gran cantidad de partículas coloidales presentes, las cuales al encontrarse más próximas entre ellas tendrán una fuerza de atracción mayor, lo que favorecerá el proceso de coagulación.

Cuando se agrega sulfato de aluminio o sales de hierro al agua en condiciones especiales de dosis de coagulante y pH, se forman una serie de especies solubles hidrolizadas. Las especies hidrolizadas se adhieren o forman complejos superficiales con los grupos SILANOL (SiOH) y el coloide, y lo desestabilizan, permitiendo la formación de flóculos. Este mecanismo es denominado neutralización de carga (también se le llama de desestabilización-absorción). Cuando la cantidad de coloides presentes en el agua es grande, la distancia entre ellos es pequeña, siendo por lo tanto mayor la fuerza de atracción y la energía requerida para su desestabilización menor, así como el potencial zeta resultante.

Coagulación por Barrido. Este tipo de coagulación se presenta cuando el agua es de baja turbiedad y el porcentaje de partículas coloidales es pequeño. En este caso la coagulación se efectuará porque las partículas serán enredadas al producirse una sobresaturación del coagulante añadido. En este caso, debido a la distancia de las partículas, las fuerzas de atracción son menores, por lo cual, se requiere de una mayor cantidad de coagulante y energía para desestabilizarlas.

2.11.4. Factores que Influyen en la Coagulación

Según Andia (2000), Richter et al. (1984) y Pérez (1977), se deben tener en cuenta los factores que influyen en el proceso de coagulación, con la finalidad de optimizarlo, asimismo, la interrelación entre cada uno de ellos permite predecir cuáles son las cantidades de los coagulantes para adicionar al agua. Entre los factores que tienen una mayor influencia se encuentran los siguientes:

Factor de Hidrógeno (pH). El pH es un factor que influye en la coagulación. De acuerdo a las investigaciones realizadas se tiene que el pH óptimo para tratar aguas con color es

más bajo (entre 4 y 6) que en agua con turbiedad (entre 6.5 y 8.5). Asimismo, se sabe que entre las sales férricas y las de aluminio, las primeras son efectivas en un rango más amplio de pH. El rango de pH es función del tipo de coagulante a ser utilizado y de la naturaleza del agua a tratar; si la coagulación se realiza fuera del rango de pH óptimo entonces se debe aumentar la cantidad del coagulante; por lo tanto, la dosis requerida es alta.

Sales Disueltas. La alcalinidad influye en la velocidad de reacción de los coagulantes, produciéndose reacciones lentas con baja alcalinidad (< 30 mg/L) e instantáneas con valores de alcalinidad superiores a 70 mg/L. Las sales contenidas dentro del agua ejercen las siguientes influencias sobre la coagulación y floculación:

- Modificación del rango de pH óptimo.
- Modificación del tiempo requerido para la floculación.
- Modificación de la cantidad de coagulantes requeridos.
- Modificación de la cantidad residual del coagulante dentro del efluente.

Temperatura. Pérez (1977) analizó la influencia de la temperatura en el proceso de coagulación, estableciendo dos regiones de variaciones muy marcadas: una entre 0° - 10°C y la segunda entre 10° - 40°C . En la primera zona se determinó que a medida que el agua se acerca a 0°C la remoción de turbiedad disminuye, en estas condiciones se estaría impidiendo el acercamiento de las partículas para su desestabilización, asimismo, la viscosidad del agua se incrementa y con ello el transporte de las partículas coloidales se anula, por lo cual, la agitación exterior del agua no es suficiente para conseguir la aglomeración de las partículas pequeñas; además, el rango de pH óptimo también disminuye. Sin embargo, en la segunda región (10° - 40°C) determinaron que la eficiencia en la remoción de turbiedad mejoraba al aumentar la temperatura, debido al incremento de las colisiones de las partículas.

Dosis de coagulante. La influencia de este factor se debe a la variación de la turbiedad residual en función a la dosificación del coagulante. Las curvas de coagulación pueden dividirse en cuatro zonas:

Zona 1: La dosis de coagulante no es suficiente para desestabilizar las partículas y por lo tanto no se produce la coagulación.

Zona 2: Al incrementar la dosis de coagulantes, se produce una rápida aglutinación de los coloides.

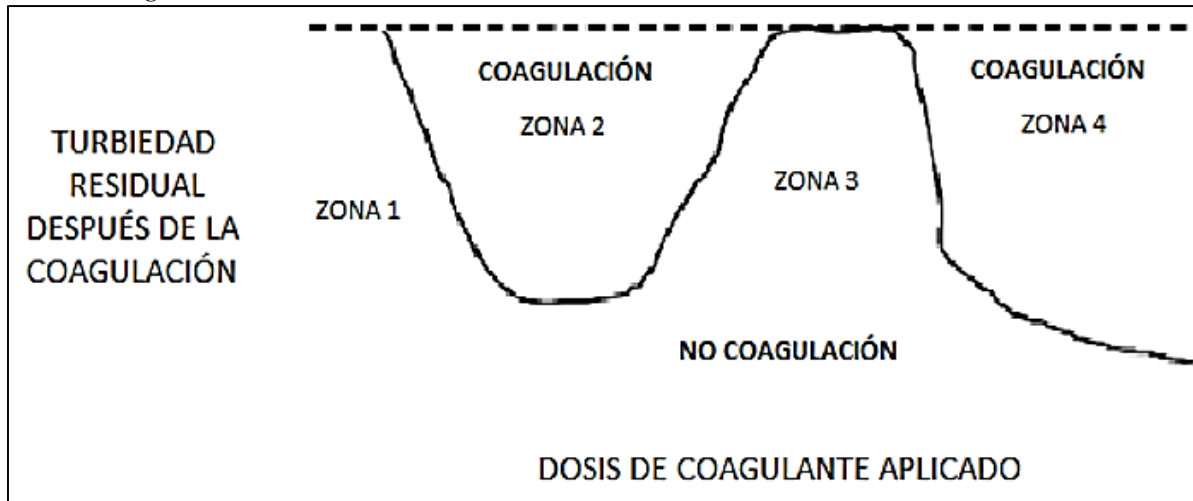
Zona 3: Si se continúa incrementando la dosis, se pueden reestabilizar los coloides con ciertos valores de pH.

Zona 4: Al aumentar aún más la dosis, hasta producir una supersaturación se produce de nuevo una rápida precipitación de los coagulantes que hace un efecto de barrido, arrastrando en su descenso las partículas que conforman la turbiedad.

En la Figura 24 se representa esquemáticamente los tipos de zonas descritas, al aplicar una dosis de coagulante.

Figura 24

Zona de coagulación



Nota: Adaptado de *Fases de la coagulación*, por Andia, (2000) (p. 30), SEDAPAL.

La cantidad del coagulante a utilizar tiene influencia directa en la eficiencia de la coagulación, así:

- Poca cantidad del coagulante no neutraliza totalmente la carga de la partícula, la formación de los microfloculos es muy escaso, por lo tanto, la turbiedad residual es elevada.
- Alta cantidad de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula, conduce a la formación de gran cantidad de microfloculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación muy bajas, por lo tanto, la turbiedad residual es igualmente elevada.
- La selección del coagulante y la cantidad óptima de aplicación; se determina mediante los ensayos de pruebas de jarra.

Asimismo, según Pérez (1997) existe una relación entre la dosis de coagulante y la concentración coloidal, al respecto, cuando la turbiedad del agua es baja y no hay suficientes partículas en suspensión para producir el contacto necesario para la formación del floculo, se necesita mayores dosis de coagulante; mientras que para mayores concentraciones de coloide se

necesitan menores dosis. En la Figura 26 se representa la relación entre la dosis de coagulante y la concentración coloidal:

Concentración Óptima. Para simular el proceso de coagulación de manera eficiente, se debe tener en cuenta que la cantidad de coagulante añadido es muy pequeña en comparación al volumen del agua a ser tratado, para lo cual, es necesario una suficiente turbulencia que asegure la dispersión del coagulante en toda la masa de agua para que entre más rápido y más fácilmente en contacto con el mayor número de partículas coloidales. Asimismo, soluciones muy diluidas pueden hidrolizarse antes de su aplicación, formando productos que no son favorables en el proceso de coagulación.

Mezcla y Aplicación. Entre los factores físicos que van a influir en el proceso de coagulación se encuentran: la intensidad de agitación, el tiempo de mezcla, el sistema de aplicación del coagulante, el punto de aplicación y el tipo de dispositivo de mezcla. Para asegurar una coagulación homogénea se requiere de una intensa mezcla para distribuir uniformemente el coagulante a través del agua, de modo que el mismo entre en contacto con las partículas coloidales antes de que la reacción se complete; asimismo, el punto de aplicación del coagulante debe ser donde se produzca la mayor turbulencia, por lo cual, debe evitarse aplicarse superficialmente.

El grado de agitación que se da a la masa de agua durante la adición del coagulante, determina si la coagulación es completa; turbulencias desiguales hacen que cierta porción de agua tenga mayor concentración de coagulantes y la otra parte tenga poco o casi nada; la agitación debe ser uniforme e intensa en toda la masa de agua, para asegurar que la mezcla entre el agua y el coagulante haya sido bien hecha y que se haya producido la reacción química de neutralización de cargas correspondiente.

Turbiedad. Es una forma indirecta de medir la concentración de las partículas suspendidas en un líquido; mide el efecto de la dispersión que estas partículas presentan al paso de la luz; y es función del número, tamaño y forma de partículas. La turbiedad del agua superficial es gran parte debido a partículas de lodos de sílice de diámetros que varían entre 0.2 a 5 μm . La coagulación de estas partículas es muy fácil de realizar cuando el pH se mantiene dentro del rango óptimo.

2.11.5. Tipos de Coagulantes

Entre los tipos de coagulantes utilizados en el tratamiento del agua, se tienen los siguientes:

A. Coagulantes Sintéticos

Son utilizados para el tratamiento del agua de tipo industrial y doméstico, pero también para la eliminación de metales pesados, aceites, grasas, fosfatos, etc. (Nieto y Orellana, 2011). Entre los principales coagulantes químicos utilizados para desestabilizar las partículas y producir los flóculos son:

- Sulfato de aluminio - $Al_2(SO_4)_3$
- Aluminato de sodio - $NaAlO_2$
- Cloruro de aluminio - $AlCl_3$
- Cloruro férrico - $FeCl_3$
- Sulfato férrico - $Fe_2(SO_4)_3$
- Sulfato ferroso - $FeSO_4$
- Polielectrolitos (como ayudantes de floculación).

Siendo los más utilizados las sales de aluminio y de hierro (Andia, 2000; Richter et al. 1984). En la actualidad, el uso de polímeros como ayudantes de coagulación y floculación está bastante extendido y es práctica común en muchas plantas de tratamiento de agua, principalmente de países industrializados (Laines et al., 2008).

B. Coagulantes Naturales

Los coagulantes naturales son sustancias solubles en agua, procedentes de materiales de origen vegetal o animal (Kawuamura, 1991); (Lee et al., 1995); (Ganjidoust et al., 1997); (Broekaert et al., 1997), que actúan de modo similar a los coagulantes sintéticos, aglomerando las partículas en suspensión que contiene el agua cruda, facilitando su sedimentación y reduciendo la turbidez inicial de ésta. Algunos de estos coagulantes poseen además propiedades antimicrobianas, por lo que reducen o eliminan el contenido de microorganismos patógenos susceptibles de producir enfermedades. Su origen natural, garantiza la inocuidad para el ser humano, y la biodegradabilidad de los lodos producidos permite además su utilización en la agricultura. Su aplicación, no solo puede ir dirigida a países en vías de desarrollo, sino también a potabilización convencional y al tratamiento de aguas residuales (Arboleda, 2000).

En Jahn (1988), publicó una lista de coagulantes naturales de origen vegetal que adicionalmente se habían utilizado en África subsahariana, la India y América del Sur. Entre

ellos, se encontraban las semillas de almendra, albaricoque, melocotón, Cactus *Opuntia*, legumbres, guisantes, lentejas, nueces, habas, guar y *Moringa oleifera*. Algunos de ellos han sido estudiados con mayor profundidad, proporcionando resultados positivos en relación a su actividad coagulante.

Dentro de algunos coagulantes alternativos empleados en América Latina están la papa, cactus, maíz, trigo y yuca, que han sido utilizados en la clarificación de agua dentro de la extensa gama de productos estudiados hasta la actualidad en el mundo (Ledo et al., 2009). Así también, en el trabajo de Carpinteyro (2011), se demuestra la aplicabilidad de biopolímeros (goma guar, algarrobo, mezquite y mucílago de nopal) en la coagulación y floculación tanto de agua residual municipal como de agua residual industrial con carga orgánica alta. De otro lado, la importancia en la selección del coagulante y la dosis óptima se debe a que determinará la buena o mala calidad del agua clarificada y el buen o mal funcionamiento de los procesos posteriores en el tratamiento del agua (Andia, 2000); (Guzmán et al., 2013).

De acuerdo a Van Benchosten y Edzwarld (1990), Boisvert et al. (1997) y Najm et al. (1998), el uso de coagulantes de origen sintético para la potabilización, tales como el sulfato de aluminio o el cloruro férrico, es cuestionada debido entre otros motivos a que se encuentra relacionada con:

- Problemas medioambientales que conlleva fundamentalmente a la generación de lodos tóxicos que no pueden ser utilizados en la agricultura.
- Relación con la enfermedad de Alzheimer.
- Empeoramiento de enfermedades neurodegenerativas.
- Relación con el cáncer.

Con lo señalado se advierte que se ha relacionado la existencia de algunas enfermedades con la presencia de aluminio residual en el agua potable, por lo cual, existe un interés global por investigar coagulantes sustitutos de los actuales, que sean más seguros para el ser humano.

De todos los coagulantes naturales, el coagulante primario de origen vegetal más conocido y estudiado en la actualidad es la semilla de *Moringa Oleifera*. Algunas investigaciones sugieren que, para aguas de baja turbiedad, sus semillas pueden ser un sustituto potencialmente viable del sulfato de aluminio para la clarificación de las aguas (Ledo et al., 2009). Sin embargo, el principal inconveniente que presentan los coagulantes naturales, es que cuando se adicionan al agua pulverizadas, incrementan la carga orgánica de manera

significativa, añadiendo hasta un 90% de sustancias orgánicas que no actúan como agentes floculantes (Jahn, 1988); (Ndabigengesere et al., 1995); (Okuda et al., 2001). El agua tratada con tuna dejó un valor de DQO residual del doble con relación al tratamiento convencional con sulfato de aluminio (Jiménez et al., 2012).

A pesar de ello, en los últimos años se estudia la efectividad de los coagulantes naturales en comparación con el sulfato de aluminio y su aplicación a escala piloto en sistemas de coagulación-floculación-filtración (Raghuwanshi et al., 2002), en sistemas comunitarios de potabilización en comunidades rurales (Jahn, 1986); (Folkard et al., 1990), y en filtración directa (Al-Khalili et al., 1997) con lechos filtrantes duales compuestos por *Strychnospotatorumy Moringa Oleifera* o de arroz (Barnes y Mampitiyarachichi, 1983).

Además de su aplicación en clarificación y potabilización de aguas crudas, se ha estudiado la aplicación de coagulantes naturales en el tratamiento de aguas residuales procedentes de la industria textil (Vasudevan y Gopalakrishna, 2002), de industrias de extracción de aceite de oliva (Meysami y Kasaeian, 2005), en aguas con elevado contenido de metales pesados como el cadmio (Sharma et al., 2006) o en deshidratación de lodos (Özacar y Sengil, 2002) obteniéndose resultados positivos.

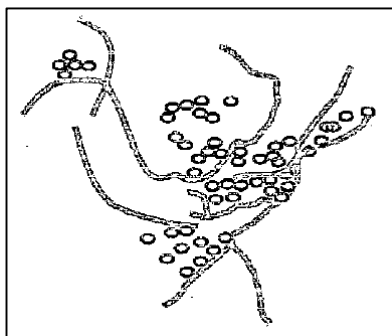
2.12. Floculación

Floculación se deriva del latín *flocculus* que significa "pequeña mota de algodón" (Quispe, 2012). La floculación consiste en la aglomeración de las partículas que se desestabilizaron durante la coagulación, mediante la agitación moderada del agua para formar partículas de mayor tamaño y peso específico superior al agua, denominados flóculos, a fin de que puedan sedimentar con facilidad (Restrepo, 2009); (Andia, 2000).

La floculación se favorece durante la mezcla lenta, lo que permite que los flóculos se junten, ya que una mezcla intensa podría romperlos (figura 25).

Figura 25

Floculación



Nota: Adaptado de *Floculación*, por Andia, (2000) (p. 33), SEDAPAL.

Asimismo, según Andia (2000), el proceso de floculación puede mejorarse con la adición de un reactivo de floculación o ayudante de floculación, en los casos que los flóculos formados por la aglomeración de varios coloides no sean lo que suficientemente grandes para sedimentar, por lo cual, al aplicar un floculante se forman puentes que permiten enlazar una superficie de otra, enlazando las partículas individuales en aglomerados para formar flóculos más grandes fácilmente sedimentables.

2.12.1. Floculación Pericinética

Es promovida internamente dentro del líquido, por el movimiento de agitación que las partículas tienen dentro de aquel (movimiento browniano, movimiento constante e irregular de los coloides) o por la gravedad (peso de las partículas) que al caer tienden a aglomerarse, y se realiza en un tiempo muy corto después de estar desestabilizadas las partículas (Acosta, 2006).

2.12.2. Floculación ortocinética

Se basa en las colisiones de las partículas debido al movimiento del agua, el que es inducido por una energía exterior a la masa de agua y que puede ser de origen mecánico o hidráulico. Después de que el agua es coagulada, es necesario que se produzca la aglomeración de los microflóculos; para que esto suceda, se produce primero la floculación pericinética, luego se produce la floculación ortocinética (Acosta, 2006).

2.12.3. Tipos de Floc

El flóculo o también conocido como el floc es una masa coagulada de partículas en un líquido que puede existir de forma natural, pero a menudo se forma a partir de un sistema coloidal disperso al que se adiciona una sustancia floculante (tabla 19). Las partículas de arcilla y los polímeros en agua pueden flocularse para formar flóculos (Acosta, 2006).

- Floc dendrítico

Es el tipo de floc producido de acuerdo a una agitación correcta. El floc dendrítico además de ser mucho más útil debido a que detiene impurezas en todo su volumen, es más resistente y más denso, sedimentando con mayor facilidad.

- Floc grumoso

Es el floc producido de acuerdo a una agitación deficiente.

Tabla 17
Índice de floculación de Willcomb

N° del índice	Descripción
---------------	-------------

0	Floc coloidal. Ningún signo de aglutinación.
2	Visible. Floc muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado.
4	Disperso. Floc bien formado pero uniformemente distribuido (sedimenta muy lentamente o no sedimenta)
6	Claro. Floc de tamaño relativamente grande pero que precipita con lentitud.
8	Bueno. Floc que se deposita fácil, pero no completamente.
10	Excelente. Floc que se deposita completamente dejando el agua cristalina.

Nota: Tomado de *Giordani et al. (2008)*, Revista Científica Juvenil.

2.13. Marco Legal

Desde el año 1969 el Perú presentaba la Ley General de Aguas aprobada por Decreto Legislativo N° 17752, el cual tenía como objetivo principal la protección de la calidad de las aguas superficiales. Sin embargo, a partir de 1990 con el Código de Medio Ambiente y de los Recursos Naturales aprobado por Decreto Legislativo N° 613, se da el inicio de un gran interés acerca de la protección del ambiente. Posteriormente, se aprueba la Ley General del Ambiente (Ley N° 28611) y el año 2008 con la creación del Ministerio del Ambiente se dio la promulgación y aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua por Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el cual fue actualizado por el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, y a su vez este último actualizado por el D. S. N° 004-2017-MINAM. Además, se aprobaron los Límites Máximos Permisibles (LMP) para las diferentes industrias y el sector saneamiento.

En el año 2009 se dio la promulgación de la Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338) y su reglamento (D.S. N° 001-2010-AG), la cual designó a la Autoridad Nacional del Agua (ANA) como el ente rector del sistema de los recursos hídricos.

Como se hizo mención, en el Perú se han establecido normas que permiten establecer criterios de regulación de la calidad del agua a tratar y de los efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas. Por otro lado, en nuestro país no se cuenta con una normativa que controle la red de separación de aguas grises y su posterior vertimiento; sin

embargo, se debe tener en cuenta que la calidad de los efluentes se encuentra regulado al tipo de cuerpo receptor vertido o al tipo de uso posterior del agua tratada.

Teniendo en cuenta lo mencionado, a continuación, se detalla el marco normativo nacional e internacional de la calidad de aguas residuales tratadas.

Ley N° 28611 – Ley General del Ambiente

Artículo 121°.- Del vertimiento de aguas residuales

“El estado emite en base a la capacidad de carga de los cuerpos receptores, una autorización previa para el vertimiento de aguas residuales domésticas, industriales o de cualquier otra actividad desarrollada por personas naturales o jurídicas, siempre que dicho vertimiento no cause deterioro de la calidad de las aguas como cuerpo receptor, ni se afecte su reutilización para otros fines, de acuerdo a lo establecido en los ECA correspondientes y las normas legales vigentes.”

“Las empresas o entidades que desarrollan actividades extractivas, productivas, de comercialización u otras que generen aguas residuales o servidas, son responsables de su tratamiento, a fin de reducir sus niveles de contaminación hasta niveles compatibles con los LMP, los ECA y otros estándares establecidos en instrumentos de gestión ambiental, de conformidad con lo establecido en las normas legales vigentes. El manejo de las aguas residuales o servidas de origen industrial puede ser efectuado directamente por el generador, a través de terceros debidamente autorizados o a través de las entidades responsables de los servicios de saneamiento, con sujeción al marco legal vigente sobre la materia.”

Ley N° 29338.- Ley de Recursos Hídricos

Artículo 79°.- Vertimiento de agua residual

“La autoridad nacional autoriza el vertimiento del agua residual tratada a un cuerpo natural de agua continental o marina, previa opinión técnica favorable de las Autoridades Ambiental y de Salud sobre el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA-Agua) y Límites Máximos Permisibles (LMP). Queda prohibido el vertimiento directo o indirecto de agua residual sin dicha autorización.”

Reglamento de la Ley N° 29338 – Ley de Recursos Hídricos, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2010-AG

En el *Artículo 133°* se señalan las condiciones para autorizar el vertimiento de aguas residuales tratadas.

133.1 La Autoridad Nacional del Agua podrá autorizar el vertimiento de aguas residuales únicamente cuando:

- a. Las aguas residuales sean sometidas a un tratamiento previo, que permitan el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles – LMP.
- b. No se transgredan los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en el cuerpo receptor, según las disposiciones que dicte el Ministerio del Ambiente para su implementación.
- c. Las condiciones del cuerpo receptor permitan los procesos naturales de purificación.
- d. No se cause perjuicio a otro uso en cantidad o calidad del agua.
- e. No se afecte la conservación del ambiente acuático.
- f. Se encuentre con el instrumento ambiental aprobado por la autoridad ambiental sectorial competente.
- g. Su lanzamiento submarino o subacuático, con tratamiento previo, no cause perjuicio al ecosistema y otras actividades lacustres, fluviales o marino costeras según corresponda.

Como se ha indicado los efluentes del tratamiento de las aguas residuales deben cumplir la calidad según las normas antes de ser vertidos (cumplimiento de los LMP) y en interacción con el cuerpo receptor (ECA-Agua). Además, en el Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos la Autoridad Nacional del Agua es responsable de autorizar el reuso de las aguas residuales tratadas.

Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales – Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM

Los límites máximos permisibles de los efluentes de PTAR permiten controlar que las concentraciones de los parámetros establecidos en el anexo del D.S. N° 003-2010-MINAM no excedan los valores indicados en las descargas domésticas.

Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua Agua– D.S. N° 004-2017-MINAM

Los ECA del agua permiten determinar el uso que puede darse a un cuerpo de agua (cuerpo receptor) de acuerdo a las condiciones de calidad que pueda presentar, sin representar un riesgo significativo para la salud de la población ni para el ambiente. El 31 de julio de 2008 se aprobó por Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua con la finalidad de establecer niveles de concentración de parámetros físico, químicos y biológicos presentes en los cuerpos de agua. El 19 de diciembre del 2015, se

modificó el ECA para agua aprobado por Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, y a su vez este último actualizado por el D. S. N° 004-2017-MINAM el 07 de junio del 2017.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA)

La EPA apoya la práctica del reúso de reciclaje de aguas residuales tratadas como un componente de mucha importancia en el manejo integral del recurso agua, siempre y cuando, los sistemas de reúso se diseñen y operen para evitar daños a la Salud Pública y el ambiente. Aprobó por primera vez las guías para la reutilización de las aguas usadas tratadas en el 1980. Luego actualizaron las guías en los años 1992, 2009 y las enmiendas más recientes a las guías fueron aprobadas por la EPA en el 2012. Un total de 30 estados aprobaron reglamentos para la reutilización de las aguas residuales tratadas. Otros 15 estados aprobaron guías o normas de diseño para el mismo propósito.

Soderberg (2012), en su artículo discute las directrices actuales de la EPA para la reutilización de aguas residuales tratadas en la agricultura, enfocado en:

1. Riego de cultivo de alimentos que se consumen crudos
2. Riego de cultivo de alimentos que se procesan comercialmente antes del consumo humano
3. Riego de cultivos que no son para consumo humano, como hierbas y semillas.

Se discuten las guías de la EPA para 18 contaminantes con el propósito de proteger los cultivos y para el riego de parques y áreas verdes, y para la reutilización de aguas residuales tratadas para establecer barreras a la intrusión de agua salada a los acuíferos.

III. MÉTODO

3.1. Tipo de Investigación

De acuerdo al objetivo perseguido, la investigación es de tipo aplicada, bajo lo cual Carrasco (2017), afirma que este tipo de estudio se caracteriza por tener propósitos prácticos y concretos, lo cual significa que, se investiga para proceder, transformando, modificando o generando los cambios en un área específica. En este sentido, el presente estudio permitió diseñar e implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas grises a una escala de prueba.

En cuanto al nivel, este fue de tipo explicativo. Al respecto Hernández et al. (2014), lo describen como aquel donde se establece la relación de causa de los fenómenos estudiados, a través de la manipulación de las variables. Por cuanto se evaluó la eficiencia de la *Opuntia ficus indica* como coagulante natural de tipo vegetal para el tratamiento de las aguas residuales domésticas grises mediante prueba de jarras y el análisis de parámetros físico-químicos con la finalidad de utilizarlas de forma posterior para riego no restringido de vegetales en el Asentamiento Humano Villa Solidaridad – San Juan de Miraflores.

Diseño de la Investigación

El estudio se desarrolló bajo un diseño experimental con enfoque cuantitativo, considerando lo señalado por Carrasco (2017), al afirmar que estos diseños abarcan las diversas formas de solventar problemas de interés científico propios del campo experimental; en este sentido, se realizaron pruebas de jarras y análisis de parámetros físico-químicos, para evaluar la eficiencia de la *Opuntia ficus indica* como coagulante natural de tipo vegetal para el tratamiento de las aguas residuales domésticas grises.

3.2. Ámbito Temporal y Espacial

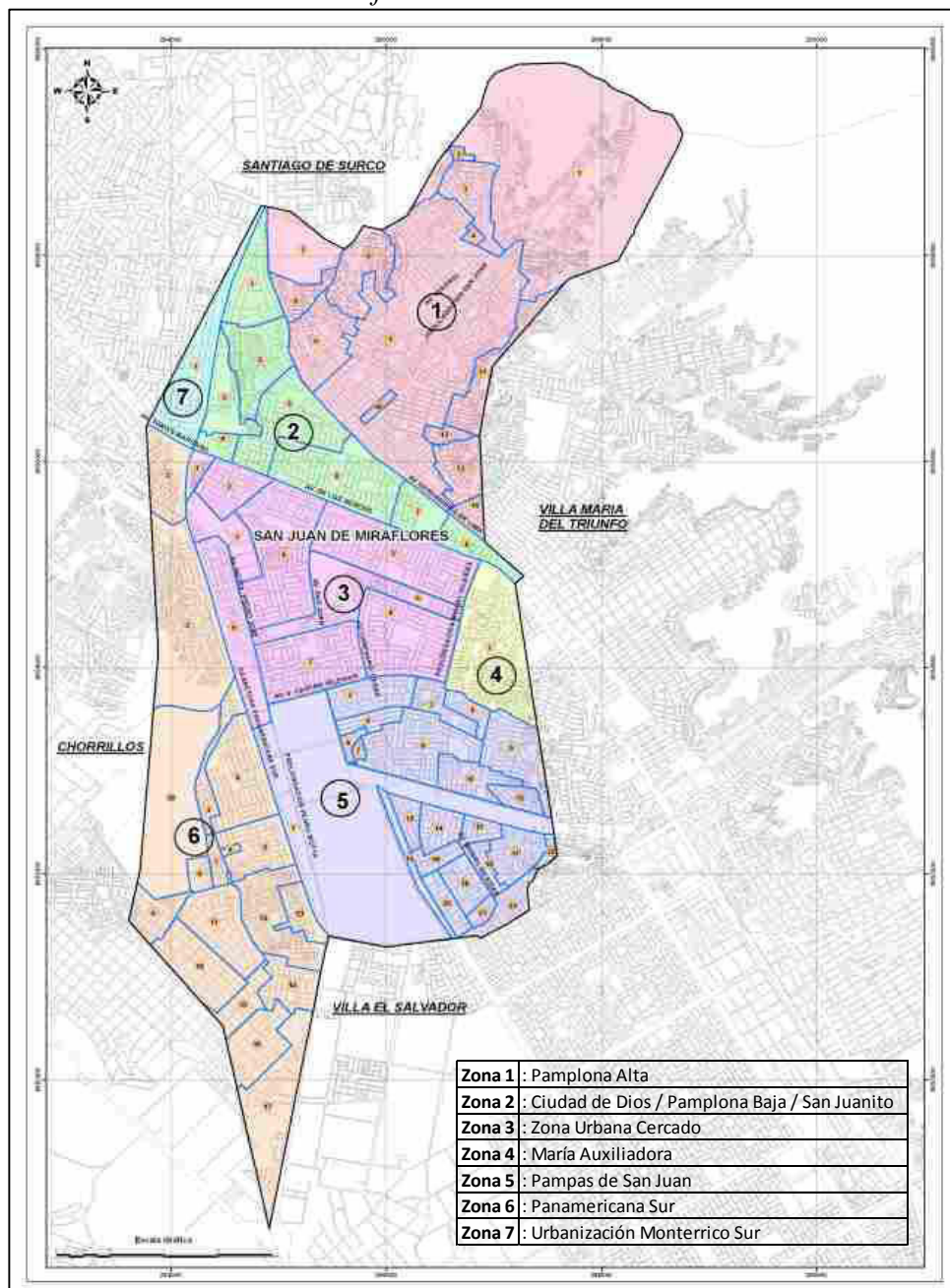
Para realizar este estudio se eligió al Asentamiento Humano Villa Solidaridad 2° Etapa (Figura 26) correspondiente a la zona María Auxiliadora que se encuentra ubicado en la parte sur del distrito San Juan de Miraflores, esta zona cuenta con 14 Asentamientos humanos, una Asociación de Vivienda, 2 AA.HH (sin reconocimiento); con un total de 17 pueblos y una población de 25,000 habitantes (5000 familias). La investigación se realizó en los periodos 2019 y 2020.

3.2.1. Ubicación Política

- Asentamiento Humano : Villa Solidaridad 2° Etapa
- Zona : María Auxiliadora
- Distrito : San Juan de Miraflores
- Provincia : Lima
- Departamento : Lima

Figura 26

Mapa de Sectores de San Juan de Miraflores



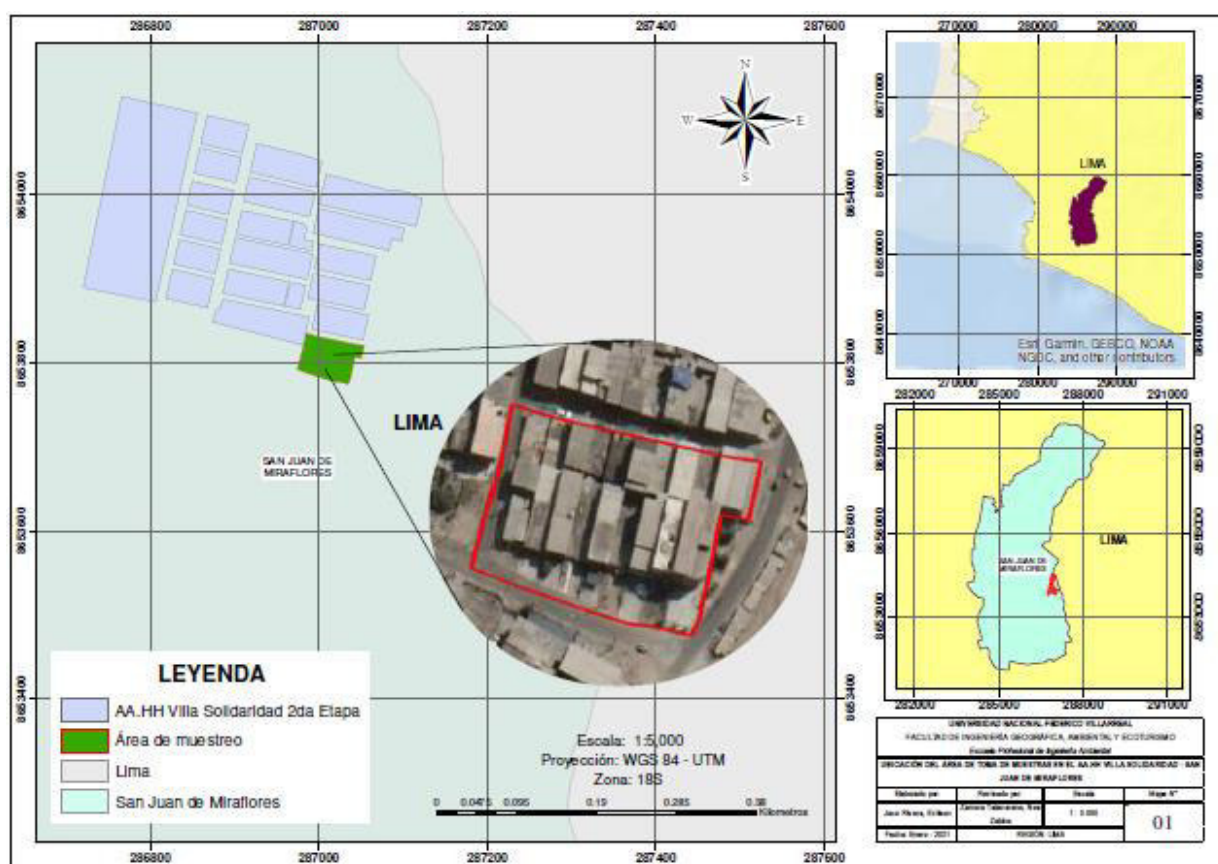
Nota: Adaptado de *Mapa de Sectores de San Juan de Miraflores*, por PREDES, 2011 (p. 11), Fondo Editorial de PREDES.

3.2.2. Localización Geográfica

El área de estudio se localiza entre las coordenadas UTM 286769.02 m E y 8654112.80 m S, 287121.36 m E y 8653990.75 m S, 287037.42 m E y 8653786.49 m S, 286715.55 m E y 8653860.03 m S (figura 27).

Figura 27

Mapa de ubicación Asentamiento Humano Villa Solidaridad 2° Etapa



3.3. Variables

En la Tabla 1 y 2 se detallan las variables dependiente e independiente con sus respectivos indicadores y unidades de medida.

Tabla 18

Características de la variable dependiente

Variable Dependiente	Conceptualización	Indicadores	Unidades
----------------------	-------------------	-------------	----------

		Potencial de hidrógeno	Unidad de pH
		Salinidad	‰
		Conductividad	μS/cm
		Sólidos suspendidos totales	mg/l
		Sólidos totales disueltos	mg/l
Tratamiento de aguas residuales domésticas grises	Acción de tratar las aguas residuales domésticas grises	Temperatura	°C
		Turbidez	UNT
		DBO	mg/l
		DQO	mg/l
		S.A.A.M. Detergentes	mg/l
		Fosfato	mg/l
		Nitrito	mg/l

Nota: la tabla describe el concepto de la variable dependiente del estudio, así como sus respectivos indicadores y unidades de medición.

Tabla 19
Características de la variable independiente

Variable Independiente	Conceptualización	Indicadores	Unidades
Coagulante <i>Opuntia ficus indica</i>	Producto orgánico viscosa, que se obtiene de la Tuna.	Dosis de coagulante natural	g/l

Nota: la tabla describe el concepto de la variable independiente del estudio, así como su respectivo indicador y la unidad de medición.

3.4. Población y Muestra

3.4.1. Población

Definida por Palomino et al. (2015), como un conjunto finito o infinito de individuos, objetos o elementos que poseen características similares, a las que se les realizan las observaciones de estudio, en la presente investigación estuvo conformada por el volumen de agua residual gris de origen doméstico, generada en vivienda unifamiliar de 5 habitantes, con una dotación semanal de 3 520.8 L; lo cual producen un caudal de 502.97 L/día es decir 0.5029 m³/día.

3.4.2. Muestra

La selección de la muestra fue no probabilística discrecional, visto que, mediante esta técnica los elementos se eligen para conformar un grupo específico que resulta más adecuado

para el análisis que otros, por cuanto se basa en el conocimiento o juicio profesional de la autoridad o investigador (Otzen y Manterola, 2017). De esta manera, se escogieron 50 litros de aguas residuales grises de origen doméstico, en función de la cantidad necesaria por cada prueba de jarras a realizar, en las cuales se emplean 5 L por cada repetición para un total de 10 repeticiones, donde se emplearon cantidades diferentes de coagulante, distribuidas según el esquema de la tabla 20.

Tabla 20

Esquema experimental de la muestra

	Pruebas	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5
1	Aguas R. (ml)	1000	1000	1000	1000	1000
	Coagulante (g)	0.125	0.250	0.375	0.500	0.625
2	Aguas R. (ml)	1000	1000	1000	1000	1000
	Coagulante (g)	0.750	0.875	1.000	1.125	1.250
3	Aguas R. (ml)	1000	1000	1000	1000	1000
	Coagulante (g)	1.375	1.500	1.625	1.750	1.875
4	Aguas R. (ml)	1000	1000	1000	1000	1000
	Coagulante (g)	2.000	2.125	2.250	2.375	2.500
5	Aguas R. (ml)	1000	1000	1000	1000	1000
	Coagulante (g)	2.625	2.750	2.875	3.000	3.125
6	Aguas R. (ml)	1000	1000	1000	1000	1000
	Coagulante (g)	3.250	3.375	3.500	3.625	3.750
7	Aguas R. (ml)	1000	1000	1000	1000	1000
	Coagulante (g)	3.875	4.000	4.125	4.250	4.375
8	Aguas R. (ml)	1000	1000	1000	1000	1000
	Coagulante (g)	4.500	4.625	4.750	4.875	5.000
9	Aguas R. (ml)	1000	1000	1000	1000	1000
	Coagulante (g)	5.125	5.250	5.375	5.500	5.625
10	Aguas R. (ml)	1000	1000	1000	1000	1000
	Coagulante (g)	5.750	5.875	6.000	6.125	6.250

Nota: se emplean 5 L por cada repetición para un total de 10 repeticiones.

3.5. Instrumentos

En este apartado se detallan los materiales utilizados para el diseño, implementación y construcción del sistema piloto de tratamiento de aguas grises; así como los equipos e insumos de laboratorio utilizados en los ensayos de prueba de jarras, análisis de los parámetros fisicoquímicos de las muestras; de la misma manera los detalles experimentales desde el

acondicionamiento del *Opuntia ficus indica* (tuna) hasta su aplicación en el tratamiento de aguas grises.

3.5.1. Diseño del Sistema Piloto

Para el diseño del sistema piloto de tratamiento de aguas grises y el cálculo de los volúmenes de los tanques se emplearon las siguientes herramientas:

- Software AutoCAD 2018
- Microsoft Excel 2013

3.5.2. Construcción del Sistema Piloto

Para la construcción e implementación del sistema piloto de tratamiento de aguas grises se emplearon los siguientes materiales:

- 4 tanques cilíndricos de material acrílico de 15 L c/u.
- 2 tanques cilíndricos de material acrílico de 40 L c/u.
- 1 tanque cuadrangular de material acrílico de 30 L.
- Estructura metálicas de soporte: formado por barras metálicas triangulares (laminado) de 40 mm por lado con un espesor de 3 mm y 2 planchas de fierro laminado de 1 m² de área y peso 12 kg.
- 4 tubos PVC ¾".
- 12 válvulas de paso PVC de ¾".
- 10 unidades de teflón para PVC de ¾".
- 9 unidades de unión PVC de ¾".
- 9 codos de PVC de ¾".
- 5 unidades de "T" de PVC de ¾".
- 36 contratueras de bronce para PVC de ¾".
- 36 empaques de jebe de ¾".
- 5 pegamentos para PVC 4 fl. Oz 118 ml.
- 10 kg de arena gruesa.
- 10 kg de arena fina.
- 10 kg piedra chancada.
- 6 kg de carbón activado.
- 2 paquetes de algodón hidrófilo de 500 g.

- 2 pares de guantes de construcción poliéster Nylon Flexible.
- 1 motor monofásico de 220 V:
- Anclaje mediante patas B3.
- Velocidad de giro: 3000 rpm.
- Número de polos: 2.
- Diámetro del eje: 9 mm.
- Potencia máxima: 0,12 kw/ 0,17 cv.
- Tipo de motor 56.
- 1 variador de frecuencia convertidor nuevo POWTECH de 0,75 KW:
- Modelo PT 150 mini.
- Potencia máxima 0,75 KW / 1 Cv.
- Entrada a variador 220v monofásica, salida trifásica 220 a motor.
- Cambio de estrella 380v a triangulo 220v en placas de motor.
- Graduado para uso en: 300, 250, 200 Y 100 rpm.
- Brazo mecánico de metal: formado por 2 barras articulados (para el movimiento rotatorio) de 40 y 60 cm de altura ambos con un diámetro de 8 cm, incluye 3 perillas de ajuste y 2 cajas de seguridad (para el motor y el variador).
- 1 varilla inoxidable de 50 cm de largo.
- 1 lámina inoxidable rectangular de 25 cm por 4 cm.
- 12 garruchas con freno.
- 1 taladro Percutor ½” 550W Eléctrico Karson ID13KTG.
- 1 juego de brocas Metal HSS PointTeQ Bosch de 10 piezas.
- 1 Wincha Plástica con Jebe 7.5mx25mm Amarilla.
- 1 juego de esmeril Piedras Montadas marca Carborundum A2 – A22.
- 2 hojas de sierra 12” 24 Dientes Bi-Metal SandFlex.

3.5.3. Caracterización de Muestras de Aguas Grises

- Envases de muestras de agua de 1000 ml, 100 ml y 120 ml.
- 1 paquete de guantes quirúrgico Mercatomedical.
- 1 paquete de mascarilla Sced Surgical Mask.
- 3 lentes de seguridad Clute azul.
- 1 Cooler Coleman de 16 Litros color rojo.

- Conservantes y fijador de muestra.

Materiales de Laboratorio

i. Obtención del coagulante natural *Opuntia ficus indica*.

- 22 kg de pencas de tuna (*Opuntia ficus indica*).
- 1 Cuchillo Tramontina.
- 20 L de agua destilada.
- Mortero y pilón de porcelana.
- Tamiz o malla metálica N° 100.
- Vaso de precipitado (100 mL, 200 mL, 500 mL, 1L).
- Otros: bagueta de vidrio, pissetas, jeringas de 10 ml, guantes, papel tissue, baldes, bandejas.

ii. Determinación de pH, conductividad eléctrica, salinidad, sólidos totales disueltos y temperatura

- Vasos de precipitado (1L, 100 mL, 250 mL).
- 10 L de agua destilada.
- Solución Buffer de 4 y 7 (calibración).
- Solución cloruro de sodio (calibración).
- Multiparámetro Modelo WA 2017-SD y Marca LUTRON.
- Potenciómetro Tester HI 98127.

iii. Determinación de sólidos suspendidos totales

- Filtro de fibra de vidrio Whatman.
- Pinzas de acero y de madera.
- Marcador indeleble.
- Luna de reloj.
- Espátula.
- Desecador de vidrio.
- Probeta de 100 ml.
- Matraz Erlenmeyer.
- Matraz de Kitasato.
- Balanza analítica AS R2 PLUS.
- Lámpara infrarroja de 150W.
- Bomba de vacío FELISA AR-1500L.

- Estufa de seca SLN 53.

iv. Ensayos en laboratorio

- Polvo de coagulante natural de *Opuntia ficus indica*.
- 12 Viales de vidrio.
- Aguas grises.
- Vaso de precipitado de 500 ml.
- Pipeta de 5 ml.
- Propipeta de 5 ml.
- Envases de 1000 ml, 100 ml y 120 ml.
- Equipo de prueba de Jarras Phipps y Bird (USA) – R-Chemical.

Escritorio

- Laptop hp intel CORE i5.
- 1 cuaderno de apuntes.
- Copias e impresiones.
- 1 tablero de apunte.

3.6. Procedimientos

Los procedimientos ejecutados para evaluar la eficiencia del coagulante natural a base del *Opuntia ficus indica*, se realizaron en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo y la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática de la Universidad Nacional Federico Villarreal. Los mismos, se detallan a continuación:

3.6.1. Caracterización del Agua Gris antes de los Ensayos en Laboratorio y el Ingreso al Sistema Piloto

Se empleó el agua residual doméstica gris proveniente de la lavadora, del fregadero, del lavabo y la ducha de un domicilio familiar ubicado en el Sector Sarita Colonia del distrito de San Juan de Miraflores. Se recolectaron volúmenes iguales de cada efluente mencionado, para luego ser homogenizados en un cilindro de 70 litros, seguidamente se extrajeron las muestras y fueron llevados al laboratorio para su respectivo análisis.

Se determinó la calidad del agua gris en función a sus parámetros físicos y químicos, a fin de conocer las concentraciones iniciales. Para ello, se determinaron los parámetros básicos del agua gris antes de los ensayos en laboratorio y el ingreso al sistema piloto utilizando un

multiparámetro y potenciómetro; estos parámetros fueron: pH, temperatura, conductividad, salinidad y TDS.

Además, se determinaron los siguientes parámetros fisicoquímicos: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendedos Totales (SST), Nitrito (NO_2), Fosfato (PO_4), S.A.A.M Detergentes y Turbidez. Para ello, se emplearon (SMEWW) Métodos Normalizados para el Análisis de Agua y Aguas Residuales del APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association), WPCF (Water Pollution Control Federation), WEF (Water Environment Federation), SMEWW-APHA-AWWA-WEF- Parte 2130 B, 23ª edición: 2017. Turbidez. Método nefelométrico, SMEWW-APHA-AWWA-WEF- Parte 2130 B, 23ª edición: 2017. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): prueba DBO de 5 días, SMEWW-APHA-AWWA-WEF- Parte 2130 B, 23ª edición: 2017. Demanda química de oxígeno, reflujo cerrado, método colorimétrico, EPA 300.0. Rev. 2.1: 1993. Determinación de aniones inorgánicos por cromatografía iónica y ISO 16265; 1er. Ed: 2009. Determinación del método de índice de sustancias activas de azul de metileno (MBAS) utilizando CFA (valido). 2014.

3.6.2. *Recolección de Aguas Grises*

Las aguas grises tomadas para las pruebas de tratabilidad y para la caracterización de las mismas, se recolectaron de la siguiente manera:

Método de barril y manguera para la lavadora. Se colocó la manguera de drenaje de la lavadora en el interior de un barril de plástico de 70 L (figura 28). Se aseguró de evitar almacenar el agua por largo tiempo en el barril; una vez llenado el barril se desvió el flujo al alcantarillado para no sobrecargar el depósito del efluente.

Figura 28

Recolección de aguas grises, efluente de lavador



Nota: Fregadero y lavabo. La recolección de aguas grises del fregadero y del lavabo, se realizó colocando un recipiente en la canastilla (Figura 29).

Figura 29

Recolección de aguas grises, efluente de fregadero y lavabo



Nota: efluente de fregadero y lavabo. La recolección de aguas grises se realizó colocando recipientes plásticos, limpios, luego, se colocó toda el agua en recipientes grandes.

Figura 30

Recolección de aguas grises, efluente de ducha



Nota: Ducha. La recolección de aguas grises de la ducha se realizó bañándose sobre el piso forrado con plástico impermeable de color negro, donde podía mantenerse una persona de pie.

Una vez recolectada el agua gris, ésta fue transvasada en baldes aforados que permitieron la medición de los volúmenes generados en cada punto (figura 31). Para la formación de las muestras compuestas, se unieron y homogenizaron la misma cantidad de aguas provenientes de cada efluente, se sumaron los volúmenes generados durante todo el día.

Figura 31

Unión de volúmenes iguales de agua gris de diferentes fuentes



Nota: toda el agua recolectada fue trasladada a estos recipientes para su transporte.

3.6.3. Estimación del Gasto de Agua a Tratar en una Casa Promedio

Se ha estimado la cantidad de aguas grises que produce cada fuente elegida para la recolección de aguas grises (lavadora, fregadero, lavabo y ducha), usando la sección “Estimado de los flujos de aguas grises” del Manual de diseño para manejo de aguas grises para riego exterior (Allen L, 2015), para lo cual se consideró de una vivienda de cinco habitantes (tabla 21).

Tabla 21

Estimación del gasto de agua en una vivienda de cinco (5) habitantes por día

Actividad	Gasto en Litros / Hab*día	Nº de Usos	Total de gasto (L)
Ducha (15 minutos).	20	5	100
Lavado de ropa a lavadora.	100	5	500
Lavado de utensilios de comida y cocción de alimentos.	75	3	225
Otros usos (lavado de manos, higiene bucal)	6	5	30
Total			855

Nota: Tomado de Allen (2015), Greywater action.

3.6.4. Cálculo de los Flujos Diarios y Semanales de Aguas Grises

Para calcular la producción de aguas grises semanal, es decir cuánto de agua se tendrá para su posterior reúso, se usaron las siguientes fórmulas:

Lavadora. En la vivienda unifamiliar de tres pisos, con cinco personas, cada persona hace una carga de lavandería a la semana, dando un total de cinco cargas por semana. Se distribuyó el uso de la lavadora a lo largo de la semana, algunas veces haciendo dos cargas de lavandería en un día. La lavadora del cual se dispone es una de carga frontal, con índices de 100 L (26 galones¹) por carga.

– Producción semanal

___ cargas por semana x ___ galones/carga (los índices de tu lavadora) = ___ galones por semana.

5 cargas x 26 galones por carga = 130 galones (494 L) por semana

Los índices típicos de galón/carga son de 40 (150 L) para una lavadora de carga superior, 15 (55 L) para una lavadora de carga frontal y 20 (75 L) para una lavadora de carga superior de alta eficiencia (HE) (Allen, 2015).

– Producción por día

___ cargas en un día típico de lavado x ___ galones (o litros) /carga (índices de la lavadora) = ___ máximo de galones (o litros) por día.

1 cargas x 26 galones por carga = 26 galones (98.8 L) por día

Ducha. Las cinco personas en el hogar se bañan en un lapso de aproximadamente 15 minutos, unas **n** veces a la semana cada uno.

Tres (3) personas en el hogar se bañan durante 15 minutos diarios, mientras las otras dos (2) persona se baña 3 veces a la semana, por 15 minutos. Se considera que el índice de la ducha es 1.5 gpm (6 Lpm). Número de personas x ___ galones (o litros) por minuto (o gpm, que es el índice de flujo de tu ducha) x ___ minutos de baño x ___ número de baños por semana (si las personas en la casa toman baños de diferente duración, modifica la fórmula de acuerdo a ello) = ___ galones (o litros) por semana (repite esta fórmula por cada persona en la casa como sea necesario).

– Producción semanal

¹ Para el cálculo de generación de aguas grises, se consideró la equivalencia de que 1 galón equivale a 3.8 litros (Allen, 2015).

Los índices típicos de flujo en una regadera son de 1.5 gpm a 2.5 gpm (6 lpm a 9 lpm) (Allen L, 2015).

3 (personas) x 15 min x 1.5 gpm x 5 días/semana = 337.5 galones/semana (1282.5 L/Sem)

2 (personas) x 15 min x 1.5 gpm x 3 días/semana = 135 galones/semana (513 L/semana)

Total de aguas grises de la ducha = 1795.5 L/semana)

– Producción por día

1 (personas) x 15 min x 1.5 gpm x 1 días = 22.5 galones/día (85.5 L/día)

Lavabos de baño.

– Producción semanal

_____ galones (o litros) por minuto x _____ minutos por uso x _____ usos por día
= _____ galones (o litros) por día x _____ siete (días de la semana) = _____ galones (o litros) por semana. Los lavabos del baño son típicamente de 2 gpm a 2.2 gpm (8 lpm), o 2 galones (8 L) por persona cada día (gpcd) (Allen L, 2015).

15 (veces) x 2 gpm x 1 min x 7 días/semana = 210 galones/semana (798 L/semana)

– Producción por día

15 (veces) x 2 gpm x 1 min x 1 días = 30 galones/día (114 L/día)

Fregadero o lavabo de la cocina.

– Producción semanal

_____ galón (litro) por minuto x _____ minutos por uso x _____ usos por día = _____ galones (litros) por día x _____ siete (días de la semana) = _____ galones (litros) por semana.

Los lavabos de la cocina son típicamente de 2 gpm a 2.2 gpm (8 lpm) o de 3 a 8 galones (10-30 litros) por persona cada día (gpcd) (Allen L, 2015).

3 (veces) x 2 gpm x 3 min x 7 días/semana = 126 galones/semana (478.8 L/semana)

– Producción por día

3 (veces) x 2 gpm x 3 min x 1 días = 18 galones/día (68.4 L/día)

3.6.5. Preparación del Coagulante Natural *Opuntia ficus indica*

Al revisar las investigaciones de Martínez *et al.* (2003), Fuentes *et al.* (2011), y Villabona *et al.* (2013), quienes utilizaron diferentes especies de cactáceas para clarificar el agua, se advierten algunas diferencias en las metodologías propuestas para la preparación del coagulante natural; considerando ello, se optó por preparar el coagulante natural según la metodología propuesta por Villabona *et al.* (2013) y aplicada por López, M. (2018), en ambos

trabajos de investigación los autores obtuvieron mejores resultados en la remoción de turbiedad del agua.

Asimismo, se debe precisar que las pencas de cactus *Opuntia ficus indica* se adquirieron del centro poblado de Corcona, en el distrito de Santa Cruz De Cocachacra, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, ubicado a una altitud de 1254 m.s.n.m. y a la altura del Kilómetro 56 de la Carretera Central.

En los siguientes ítems se describe cada proceso del trabajo de investigación, por ejemplo, en la recolección, reducción, secado y molienda de la penca hasta el tamizado y almacenamiento de la harina del *Opuntia ficus indica*. La metodología ejecutada para la obtención del coagulante natural hecho a base del cactus *Opuntia ficus indica*, se detalla a continuación:

- **Recolección**

Las pencas fueron recolectadas durante la mañana y con una edad entre 2 – 3 años, proceden de los Tunales de Corcona, (figura 32).

Figura 32

Procedencia de las pencas de cactus Opuntia ficus indica - tunales de Corcona



Nota: fotografía tomada por el investigador, previo a la recolección de las de las pencas de cactus *Opuntia ficus indica* - tunales de Corcona.

- **Reducción**

Se lavaron las pencas de cactus recolectado, se quitaron las espinas y la capa externa (epidermis) de las pencas del cactus, a fin de separar la pulpa, se volvió a lavar y cortar en trozos rectangulares alargados. En la figura 33 se aprecian las pencas peladas y trozadas en tiras de 1cm x 5 cm.

Figura 33*Reducción de la pulpa de cactus*

Nota: proceso de reducción de la pulpa de cactus *Opuntia ficus indica*, realizado manualmente.

- Secado

La pulpa en trozos se sometió a un proceso de secado, puestas en una estufa a una temperatura de 60 °C por 4 horas. En la figura 34 se aprecia las tiras de cactus trozada y deshidratadas.

Figura 34*Tiras de cactus antes del proceso de secado y tiras de cactus deshidratado*

Nota: proceso de deshidratación de las tiras de cactus *Opuntia ficus indica*, realizado en horno.

- Molienda y tamizado

Las tiras rectangulares de cactus deshidratadas se trituraron utilizando un mortero y pilón hasta obtener un material granulado, el cual fue cernido con tamices Tyler (malla #100) hasta obtener partículas muy finas. Se debe mencionar que, de cada 1 kg de penca fresca se

puede obtener 8% de harina, para el caso del presente trabajo de investigación, de 6 kg de penca fresca se obtuvo 0.48 kg de harina o polvo de cactus *Opuntia ficus indica*. En la figura 35 se observa el material particulado molido y tamizado.

Figura 35

Harina de tuna Opuntia ficus indica tamizado



Nota: proceso de trituración de la *Opuntia ficus indica*, hasta la obtención de harina.

- Almacenamiento

La harina de cactus se secó a temperatura ambiente y se almacenó en botes de plástico hasta su uso. En la figura 36 se observa el coagulante en su forma de harina obtenido del cactus *Opuntia ficus indica*. El polvo de coagulante natural fue conservado en el desecador hasta su posterior uso.

Figura 36

Coagulante en forma de harina obtenido del cactus Opuntia ficus indica



Nota: proceso de almacenamiento de la harina de *Opuntia ficus indica*.

3.6.6. Dosificación del Coagulante Natural

Para iniciar los ensayos en el equipo de prueba de jarras, se determinaron los rangos de dosis del coagulante natural, esto tomando como referencia la turbidez obtenida en la caracterización de las aguas grises y diversas fuentes bibliográficas, con lo que se prepararon 5 (cinco) dosis iniciales diferentes de polvo de *Opuntia ficus indica* (g), las cuales se adicionaron en cada jarra que contenían un litro de volumen de agua gris (figura 37).

Figura 37

Acondicionamiento de las cinco jarras con un litro de agua gris



Nota: desarrollo de la prueba o Ensayo de Jarras en laboratorio

En la tabla 22 se muestran las cantidades de polvo de *Opuntia ficus indica* adicionados a cada jarra.

Tabla 22

Aplicación de la dosis del coagulante natural

Nivel de turbidez (UNT)	Dosis de coagulante natural (g)				
	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5
500 - 1000	0.125	0.250	0.375	0.500	0.625
	0.750	0.875	1.000	1.125	1.250
	1.375	1.500	1.625	1.750	1.875
	2.000	2.125	2.250	2.375	2.500
	2.625	2.750	2.875	3.000	3.125
	3.250	3.375	3.500	3.625	3.750

Nota: dosificación del coagulante natural con *Opuntia ficus indica*.

3.6.7. Programación y Funcionamiento del Equipo de la Prueba de Jarras

Para el funcionamiento del equipo de la prueba de jarras se programó la velocidad y tiempo de la mezcla rápida y mezcla lenta, para lo cual se tomó como referencia los valores utilizados por Parra *et al.* (2011) y Martínez *et al.* (2003); asimismo, se aplicó una agitación previa a fin de homogenizar las muestras. Las velocidades y tiempos programados en el equipo de la prueba de jarras de muestran en la tabla 23.

Tabla 23

Programación del equipo de jarras

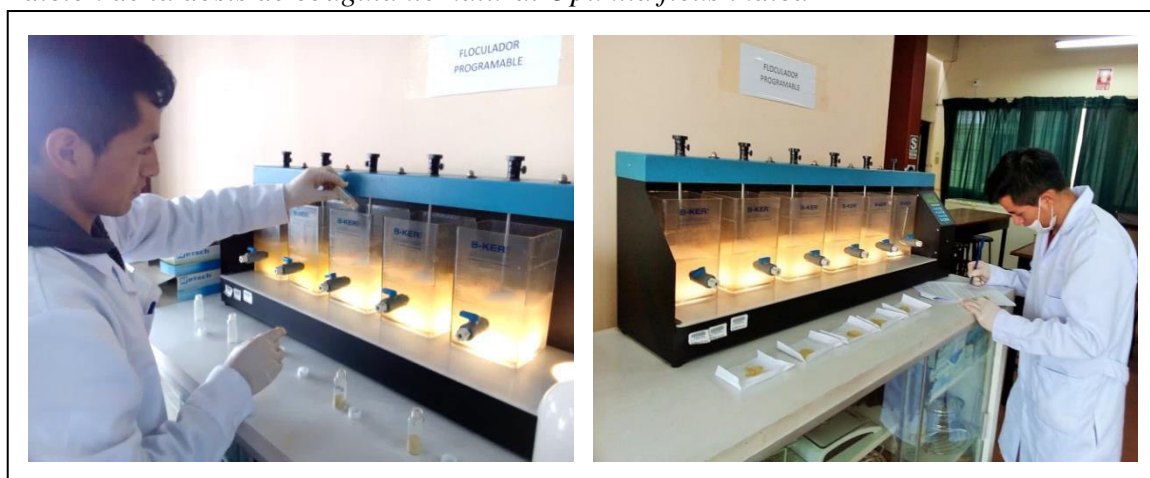
Etapa	Secuencia	Velocidad	Tiempo
Homogenización	1	50 RPM	10 segundos
Mezcla rápida	2	100 RPM	1 minuto
Mezcla lenta	3	30 RPM	20 minutos
Reposo	4	-	30 min

Nota: estimación de tiempos para el desarrollo del Ensayo de Jarras.

Una vez programado el equipo con las 5 jarras de las muestras de agua, y las 5 dosis del coagulante preparadas, el equipo se puso en funcionamiento (figura 38).

Figura 38

*Adición de la dosis de coagulante natural *Opuntia ficus indica**



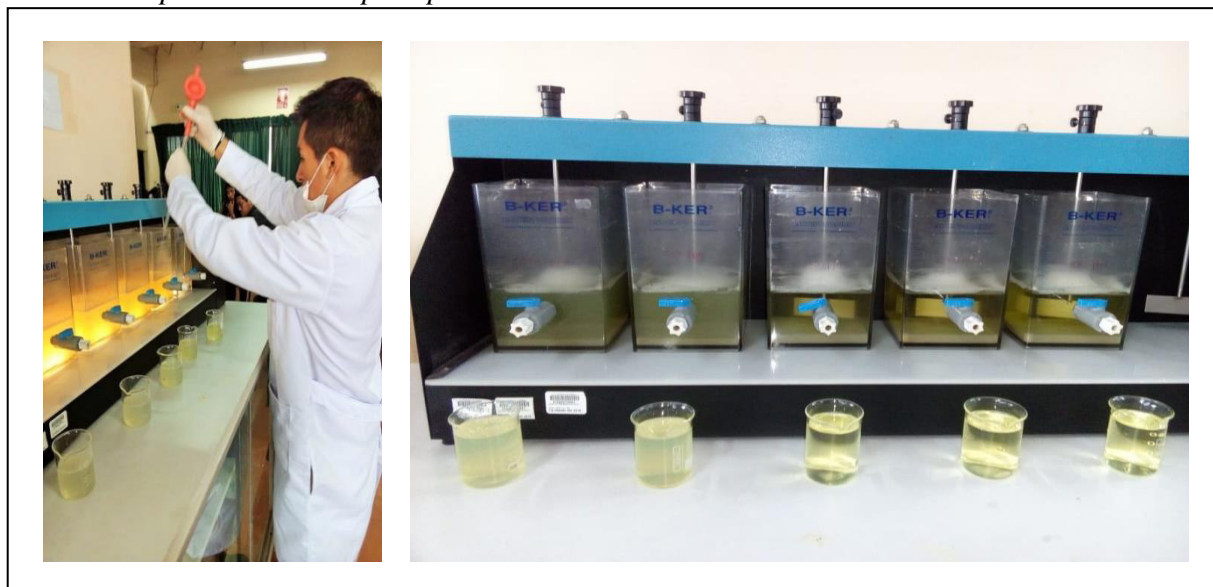
Nota: fase de agregado del de coagulante natural *Opuntia ficus indica* en el Ensayo de Jarras.

Puesto en marcha el equipo, inició con la homogenización de la muestra de agua, seguidamente, en el instante en que se produjo el inicio de la mezcla rápida, se añadió en cada jarra la dosis respectiva del coagulante, de manera simultánea y en la zona de máxima turbulencia. Luego, continuó la etapa de mezcla lenta, que una vez finalizada, genera el apagado del equipo. En la figura 39, se observa el funcionamiento del equipo de la prueba de jarras después de haber añadido los coagulantes.

Figura 39*Equipo de prueba de jarra en funcionamiento*

Nota: desarrollo del Ensayo de Jarras.

Detenido el equipo, se dejó en reposo durante 30 minutos a fin de permitir la sedimentación de las partículas sobrenadantes; seguidamente se procedió a extraer las muestras de cada jarra, para lo cual se usó una pipeta y vasos precipitados de 100 ml. En la figura 40 se observan las jarras con los vasos precipitados colocados.

Figura 40*Jarras en reposo con vasos precipitados tomadores de muestras*

Nota: toma de muestras en el Ensayo de Jarras.

3.6.8. Determinación de la Dosis Óptima del Coagulante Natural

Para determinar la dosis óptima del coagulante natural, se desarrolló la metodología aplicada por López (2018) y propuesta por la CEPIS/OPS en el documento “Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración. Manual I: Teoría”, mediante la cual se

ejecuta la prueba de jarras y se mide los parámetros residuales básicos a fin de determinar con qué parámetro se obtiene la mayor remoción. Se ejecutaron las pruebas de jarra aplicando diferentes dosis para un solo nivel de turbidez de 625 UNT (determinado en un análisis previo a los ensayos) y para las dosis de coagulante previamente establecidas.

Para la ejecución del equipo de la prueba de jarras, se siguió el procedimiento descrito en el apartado 3.3.7. Programación y funcionamiento del equipo de la prueba de jarras. Una vez finalizado el funcionamiento del equipo de la prueba de jarras y, recolectados los sobrenadantes de las muestras de agua, se registraron los parámetros básicos de Temperatura, pH, Conductividad, Salinidad, TDS y SST. De la misma manera, por cada ensayo en el equipo de prueba de jarras se determinaron los parámetros fisicoquímicos de: Turbidez, DBO, DQO, Fosfato, Nitrito y S.A.A.M. Detergentes, a fin de evaluar la variación de los parámetros fisicoquímicos.

3.6.9. Evaluación de Variación de Parámetros Fisicoquímicos

Se evaluaron y compararon los valores finales de los parámetros fisicoquímicos Temperatura, pH, Conductividad, Salinidad, TDS, SST, Turbidez, DBO, DQO, Fosfato, Nitrito y Detergentes, en las pruebas de jarras. Para determinar dichos parámetros se siguió la metodología propuesta en el “Manual de Métodos Analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas” de (Severiche y Barrios, 2013), documento que se basa en los “Métodos Estándar para el Examen de Agua y Aguas residuales”- 2005, 21th Edition, propuesta por la Asociación Americana de Salud Pública (APHA, por sus siglas en inglés), la Asociación Americana de Obras Hidráulicas (AWWA, por sus siglas en inglés), y la Federación del Medio Ambiente del Agua (WEF, por sus siglas en inglés). En la tabla 24 se indican los métodos empleados por cada parámetro medido:

Tabla 24
Parámetros fisicoquímicos medidos

Parámetros	Unidad de Medida	Método de referencia
Temperatura	°C	APHA-AWWA-WEF (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th Edition. New York, 2-61 y 2-62, método 2550
Parámetros	Unidad de Medida	Método de referencia
pH		Método 4500-H+ pH Value.
Conductividad	ms/cm	Método 2510 Laboratory Method.

Salinidad	%	APHA-AWWA-WEF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater método 2510 , 2005
TDS	mg/l	APHA-AWWA-WEF (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th Edition. New York, 2-55 a 2-57, método 2540 C.
SST	mg/l	APHA-AWWA-WEF (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th Edition. New York, 2-55 a 2-59, método 2540 D.
Turbidez	NTU	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 23rd Ed.: 2017. Turbidity. Nephelometric Method.
DBO	mg/l	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B ; 23rd Ed: 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD): 5-Day BOD test.
DQO	mg/l	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D; 23rd Ed: 2017. Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method.
Nitrito	mg/l	EPA 300.0. Rev. 2.1:1993. Determination Of Inorganic Anions By Ion Chromatography.
Parámetros	Unidad de Medida	Método de referencia
Fosfato	mg/l	EPA 300.0. Rev. 2.1:1993. Determination Of Inorganic Anions By Ion Chromatography.
Detergentes	mg/l	ISO 16265; 1st.Ed: 2009. Determination of Methylene blue active substances (MBAS) indexMethod using CFA (validado).2014.

Nota: UNT=Unidad Nefelométrica de Turbidez.

3.6.10. Monitoreo de la Calidad del Agua Gris

Este se puede observar de manera ilustrativa, en las figuras 41, 42, 43, 44, y 45.

Figura 41

Monitoreo del agua gris antes de los ensayos en laboratorio



Nota: fase previa a las pruebas de laboratorio.

Figura 42

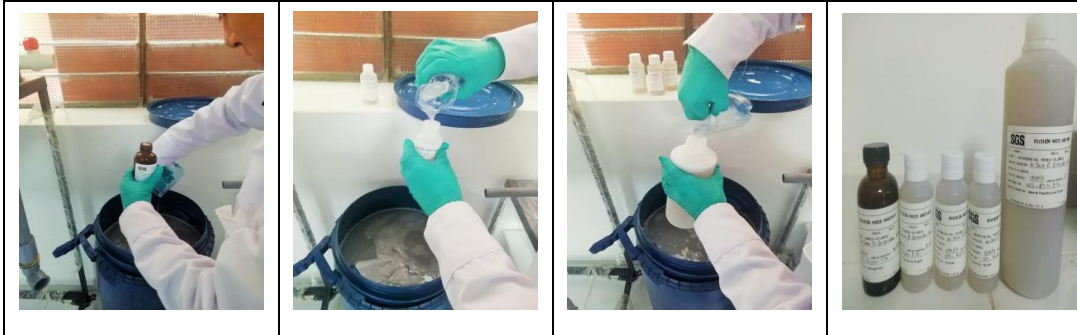
Monitoreo de las aguas grises después de los ensayos en el equipo de prueba de jarras



Nota: fase de revisión de las muestras posterior al ensayo de la prueba de jarras, ensayo, etiquetado de las muestras y resguardo de las muestras.

Figura 43

Monitoreo de las aguas grises antes del ingreso al Sistema Piloto



Nota: fase de revisión de las muestras previo a la realización del tratamiento a las aguas grises.

Figura 44

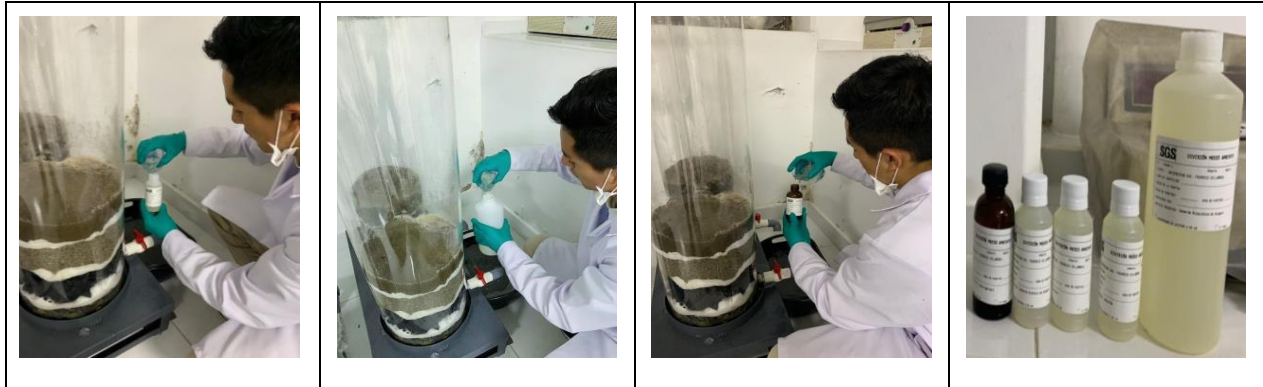
*Prueba piloto de tratamiento de agua gris aplicando coagulante *Opuntia ficus indica**



Nota: fase de realización del tratamiento a las aguas grises, Prueba piloto de tratamiento.

Figura 45

Monitoreo de las aguas grises después del ingreso al sistema piloto



Nota: fase de control y revisión de las aguas grises durante la Prueba piloto de tratamiento.

Descripción del Sistema Piloto de Tratamiento de Aguas Grises

3.6.10. Diseño de las Unidades del Sistema Gray Water

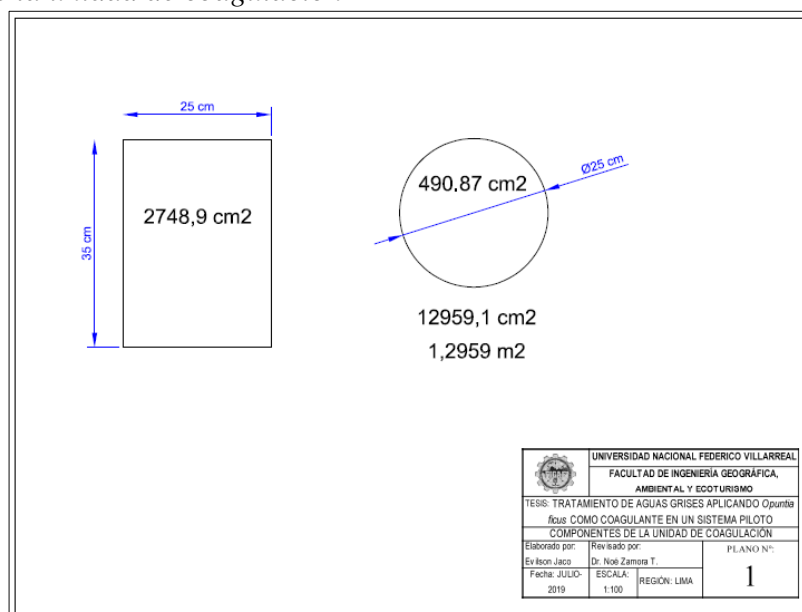
El sistema piloto de tratamiento de aguas grises (Sistema Gray Water) fue construido considerando los parámetros de diseño. Para lo cual se consideró material acrílico transparente de 4 mm de espesor, cuyos componentes presentan las siguientes dimensiones:

Unidad de Coagulación

Está conformado por 4 tanques de forma cilíndrica de 17 litros de capacidad cada uno, con las dimensiones que se muestran en la figura 46.

Figura 46

Componentes de la unidad de coagulación

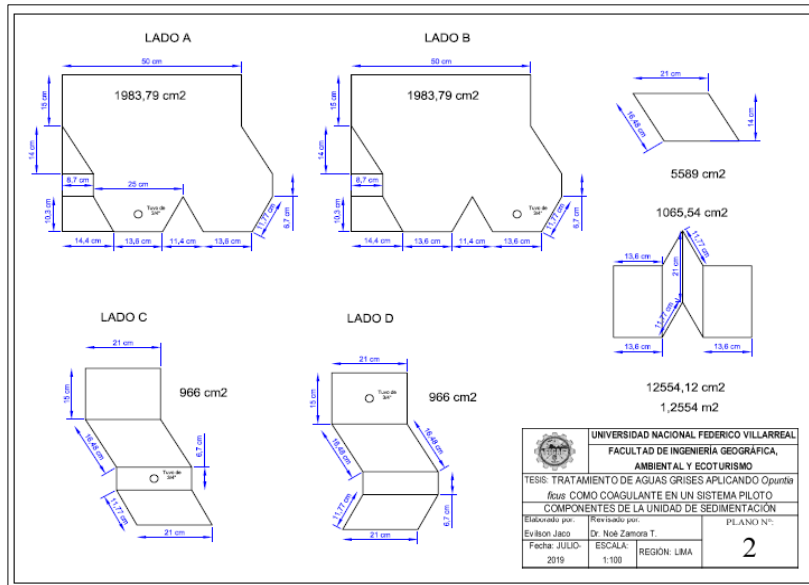


Nota: diagrama explicativo de la unidad de coagulación, mostrando la inclinación, diámetro de tuberías, medidas de la unidad central (tanque).

Unidad de Sedimentación

Está conformado por 1 tanque de forma cuadrangular de 40 litros de capacidad, con las dimensiones que se muestran en la figura 47.

Figura 47
Componentes de la unidad de sedimentación

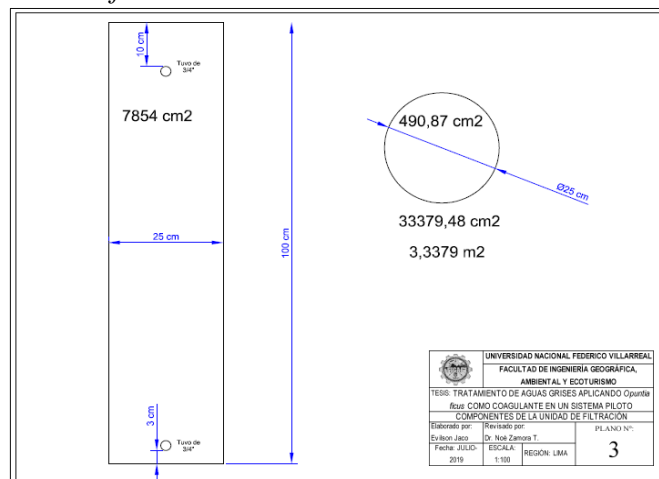


Nota: diagrama explicativo de la unidad de sedimentación, mostrando el diseño, diámetro de los lados.

Unidad de Filtración

Está conformado por 2 tanques de forma cilíndrica de 50 litros de capacidad cada uno, con las dimensiones que se muestran en la figura 48.

Figura 48
Componentes de la unidad de filtración



Nota: diagrama explicativo de la unidad de filtración, mostrando la inclinación, diámetro de tuberías, medidas de la unidad central (tanque).

Unidad de Almacenamiento

Además, se contó con un reservorio de plástico de 70 litros de capacidad para el almacenamiento, de donde se extrajo agua gris para los ensayos en el equipo de prueba de jarras y el análisis de los parámetros fisicoquímicos, como se muestra en la figura 49.

Figura 49

Reservorio de almacenamiento de agua gris



Nota: fotografía de la unidad de almacenamiento y de retiros de muestras de la misma.

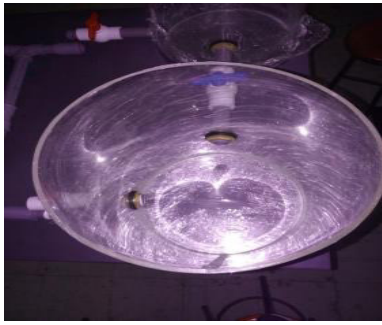

Construcción de las Unidades del Sistema Gray Water

Unidad de Coagulación

A 3 cm y a 10 cm de la base de los cilindros, se realizó un orificio de 3/4", el primero para la salida del agua gris coagulado a la siguiente unidad y el segundo para facilitar la homogenización del agua gris en el proceso de coagulación; en esta unidad se utilizó 06 válvulas de paso para regular el volumen de salida del efluente. Para evitar posibles pérdidas de agua, se aseguró por ambos extremos del tubo con contratuerzas de bronce y empaques de jebe de 3/4", como se muestra en la figura 50.

Figura 50

Preparación de la unidad de Coagulación

		
Se asegura los orificios con contratueras y empaques de jebe.	Orificios para facilitar el proceso de coagulación.	Válvulas para regular el volumen de salida del efluente.

Nota: fotografías de las fases de montaje de la unidad de coagulación, observando sus componentes.

Unidad de Sedimentación

En ambos lados de la cara (Lado C y D) se realizó un orificio de entrada y otra de salida por donde se insertó tubería de $\frac{3}{4}$ ", la primera dejará entrar el agua regulada por una válvula y la segunda facilitará la salida del agua por rebalse (figura 51); de la misma manera en el Lado A y B, se realizaron dos orificios para la limpieza de la unidad y la extracción del último volumen de agua gris coagulado y sedimentado. Se colocan láminas de acrílico para atrapar sólidos flotantes y resbalar al fondo del tanque por gravedad.

Figura 51

Preparación de la unidad de Sedimentación

		
Orificios de entrada, salida y limpieza de la unidad de sedimentación.	Láminas para atrapar sólidos flotantes.	Tubería de afluente regulada y efluente por rebalse.










Nota: fotografías de las fases de montaje de la unidad de sedimentación y sus componentes.

Unidad de Filtración

Los cilindros fueron rellenos con sustratos o medio filtrante empleando piedra chancada, carbón activado, arena gruesa y arena fina (figura 52).

Figura 52

Preparación de la unidad de Filtración

		
Cilindro de acrílico antes de la instalación.	Lavado de medio filtrante piedra chancada \varnothing 3 cm.	Lavado de medio filtrante arena gruesa.
		
Lavado de medio filtrante arena fina.	Lavado de medio filtrante carbón activado \varnothing 5 – 6 cm.	Lavado de medio filtrante piedra chancada \varnothing 3.5 cm.
		
Intalación de tubería y vertido del primer sustrato.	Lámina de algodón, evita la mezcla entre los sustratos.	Sistema Filtro Lento de Arena (FLA).

Nota: fotografías de las fases de montaje de la unidad de filtración y sus componentes.

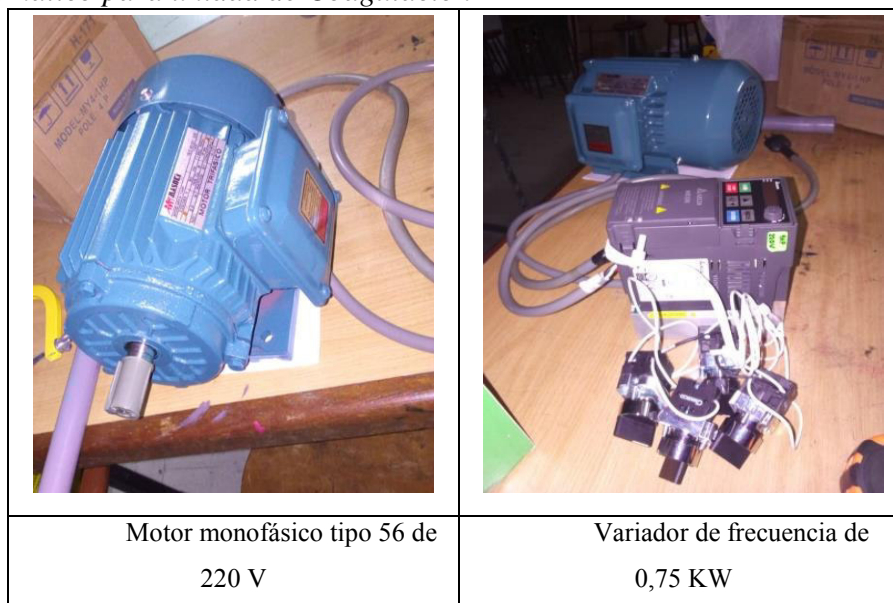
La altura de cama de sustrato fue de 30 cm, teniendo como base 7.5 cm de piedra chancada de \varnothing 3 – 3.5 cm, seguido de 7.5 cm de carbón activado de \varnothing 5 – 6 cm, 7.5 cm de arena gruesa y 7.5 cm de arena fina. Se debe mencionar que se colocó una lámina de algodón por cada nivel de sustrato incorporado. Primero, se lavó el sustrato con abundante agua de caño para retirar todas las impurezas, y al final se enjuagó con agua destilada. Después, se instaló la cama de sustrato con las alturas mencionadas.

Módulo Automático

Conformado por 1 motor monofásico tipo 56 de 220 V con un anclaje mediante patas B3, velocidad de giro de 3000 rpm, con 2 polos, diámetro del eje de 9 mm y potencia máxima de 0,12 kw/ 0,17 cv; y 1 variador de frecuencia convertidor nuevo POWTECH de 0,75 KW, modelo PT 150 mini, con potencia máxima 0,75 KW / 1 Cv, entrada a variador 220v monofásica, salida trifásica 220 a motor, cambio de estrella 380v a triangulo 220v en placas de motor y graduado para uso de 300, 250, 200 Y 100 rpm, como se muestra en la figura 53.

Figura 53

Sistema automático para unidad de Coagulación



Nota: fotografías de las fases de montaje del motor y componentes de la unidad de coagulación, motor y variador de frecuencia.

Habiendo preparado todos los componentes del sistema de tratamiento, el sistema piloto se muestra en la figura 54.

Figura 54

Sistema Piloto de Tratamiento de Aguas Grises



Nota: Sistema Piloto de Tratamiento de Aguas Grises instalado.

3.7. Análisis de Datos

Las muestras de agua residual doméstica gris recolectadas para el presente estudio, fueron analizadas en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo y en la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática de la Universidad Nacional Federico Villarreal, así como en laboratorio externo acreditado SGS. Los resultados de los ensayos se procesaron mediante la estadística descriptiva y la estadística inferencial aplicando la prueba ANOVA a través del software estadístico SPSS, con el fin de comprobar hipótesis. Adicionalmente, se aplicaron los estándares nacionales de calidad ambiental (ECA – 2017) para comparar los parámetros de calidad de agua para uso en riego de vegetales y bebida de animales, categoría D1.

IV. RESULTADOS

En este capítulo, se presentan los resultados obtenidos para la calidad del agua en cuanto a los parámetros básicos físico – químicos de aguas residuales grises domésticas, antes y después de ser tratada mediante las pruebas de jarras y el sistema piloto diseñado, aplicando como coagulante natural la *Opuntia ficus indica*.

Con ello, se determinaron los valores de los parámetros fisicoquímicos: pH, Temperatura, Conductividad eléctrica, Salinidad, Sólidos Totales Disueltos (TDS), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Turbidez y S.A.A.M. Detergentes; los parámetros indicadores de carga orgánica: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO); y los parámetros nutrientes: Nitrito, Fosfato.

4.1. Parámetros Fisicoquímicos de las Aguas Grises Domésticas antes del Tratamiento con el Coagulante *Opuntia ficus indica*

En esta etapa se determinó la calidad de las aguas residuales grises de origen doméstico, la cual se evaluó de acuerdo a indicadores fisicoquímicos y orgánicos, tal como muestran los resultados de las tablas 25 y 26.

Tabla 25

Parámetros básicos registrados antes del tratamiento

Parámetros básicos	Unidades	Valores
Temperatura	°C	19.5
pH		9.87
Conductividad	$\mu S/cm$	2870
Salinidad	0/00	0.12
Sólidos Totales Disuelto (TDS)	mg/l	1435
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/l	572
Turbidez	NTU	625

Nota: valores obtenidos antes de emplear el coagulante natural.

En la tabla 25, se determinaron los parámetros fisicoquímicos respecto a temperatura, conductividad, salinidad, sólidos totales disueltos (TDS), sólidos suspendidos totales (SST) y la turbidez. Destacando algunos parámetros importantes, respecto a los establecidos por el DS- N° 004-2017-MINAM para aguas de riego vegetal no restringido, el pH en estas aguas es muy básico (alcalino: 9.87), encontrándose muy por encima de lo indicado (6.5 - 8.5); igualmente, la conductividad (2870 $\mu S/cm$) es mayor a la establecida (2500) para este uso así como también el

nivel de turbidez. En tanto que se puede notar, que los sólidos totales disueltos son mayores a los suspendidos totales. Por ahora solo se comentará esto, ya que estos valores comprenden la base para la comparación de los resultados posteriores luego de su tratamiento.

En cuanto a los parámetros orgánicos, en la tabla 26 se consideraron la demanda biológica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO), concentración de detergentes, el ion fosfato y el nitrito, estos dos últimos como nutrientes. Respecto a la DBO, la normativa nacional ECA (DS-N°004-2017-MINEM) establece un valor tope de 15 mg/L, para la DQO de 40 mg/L, para detergentes un valor máximo de 0.2mg/L, todos los cuales resultaron muy altos para su uso como agua de riego vegetal no restringido.

Tabla 26

Parámetros de carga orgánica y nutrientes registrados antes del tratamiento

Parámetros básicos	Unidades	Valores
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)	mg/l	332
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	1519.8
S.A.A.M. Detergentes	mg/l	449.650
Fosfato (PO_4^{-3})	mg/l	16.32
Nitrito (NO_2)	mg/l	0.205

Nota: valores obtenidos antes de emplear el coagulante natural.

4.2. Parámetros Óptimos de la *Opuntia ficus indica* como Coagulante

Para obtener la dosis óptima del coagulante natural en muestras de agua gris doméstica, se analizaron y compararon los parámetros físico – químicos y orgánicos, obtenidos luego de las pruebas de jarras para el esquema de dosificación muestral de la tabla 22, considerando una turbiedad de 625 UNT, correspondiente a la caracterización inicial. El propósito es determinar cuál de las dosificaciones genera mayor porcentaje de remoción de turbidez al mismo tiempo de verificar la variación en los parámetros estudiados. De esta manera, se obtuvieron los siguientes resultados:

4.2.1. Resultados de los Parámetros Fisicoquímicos

– Parámetros de pH

Durante el desarrollo de los ensayos de prueba de jarras, se verificó que hubo una variación significativa del pH al aplicar las distintas dosis del coagulante natural en un mismo nivel de turbidez, por lo cual, para evaluar y comparar este parámetro, en la tabla 27 se presentan los valores obtenidos para las muestras ensayadas.

Tabla 27*Parámetro de pH registrados*

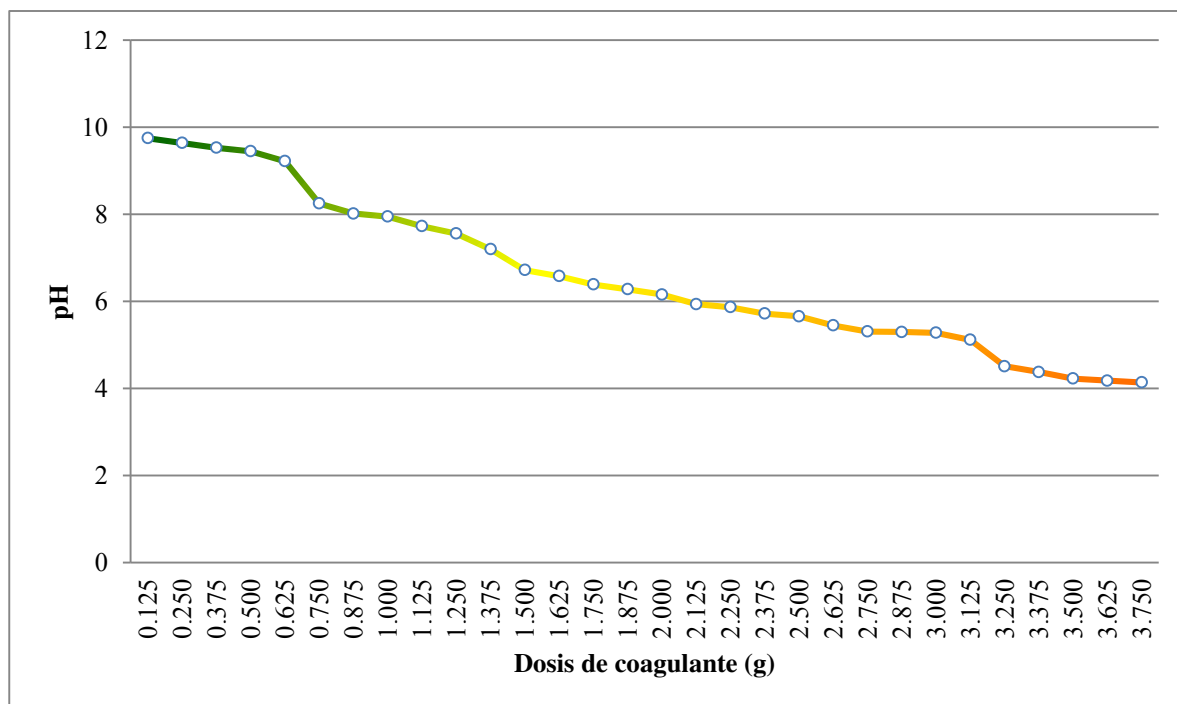
N° Pruebas	N° Jarra	Dosis de coagulante (g)	Volumen de agua gris (ml)	pH promedio
1	1	0.125	1000	9.75
	2	0.250	1000	9.73
	3	0.375	1000	9.75
	4	0.500	1000	9.66
	5	0.625	1000	9.58
2	6	0.750	1000	9.58
	7	0.875	1000	9.51
	8	1.000	1000	8.98
	9	1.125	1000	8.84
	10	1.250	1000	8.5
3	11	1.375	1000	8.34
	12	1.500	1000	8.13
	13	1.625	1000	8.01
	14	1.750	1000	7.69
	15	1.875	1000	7.53
4	16	2.000	1000	7.11
	17	2.125	1000	7.04
	18	2.250	1000	6.88
	19	2.375	1000	6.72
	20	2.500	1000	6.66
5	21	2.625	1000	6.47
	22	2.750	1000	6.14
	23	2.875	1000	6.05
	24	3.000	1000	5.76
	25	3.125	1000	5.34
6	26	3.250	1000	5.22
	27	3.375	1000	5.18
	28	3.500	1000	5.12
	29	3.625	1000	5.22
	30	3.750	1000	5.04

Nota: valores obtenidos luego de emplear el coagulante natural.

De acuerdo a los valores registrados, al agregar el coagulante natural *Opuntia ficus indica* en las muestras de agua gris, se obtuvo una variación significativa del pH, reduciéndose la alcalinidad del agua de 9.87 hasta 4.14, como se puede observar en la figura 55, donde se presenta un comportamiento descendiente en los valores de pH directamente proporcional al aumento de las dosificaciones de coagulante natural.

Figura 55

Valores de pH obtenidos posterior a los ensayos de prueba de jarras



Nota: valores obtenidos luego de emplear el coagulante natural.

– Parámetros de conductividad

El parámetro de conductividad se determinó y evaluó luego de aplicar las distintas dosis de coagulante natural en las pruebas de jarras, obteniéndose los valores de la tabla 28, donde se puede observar que existe una variación de este parámetro en función de las dosis del coagulante.

Tabla 28

Parámetro de conductividad registrada

N° Pruebas	N° Jarra	Dosis de coagulante (g)	Volumen de agua gris (ml)	Conductividad (µs/cm) Promedio
1	1	0.125	1000	1430.0
	2	0.250	1000	1480.0
	3	0.375	1000	1650.0
	4	0.500	1000	1740.0

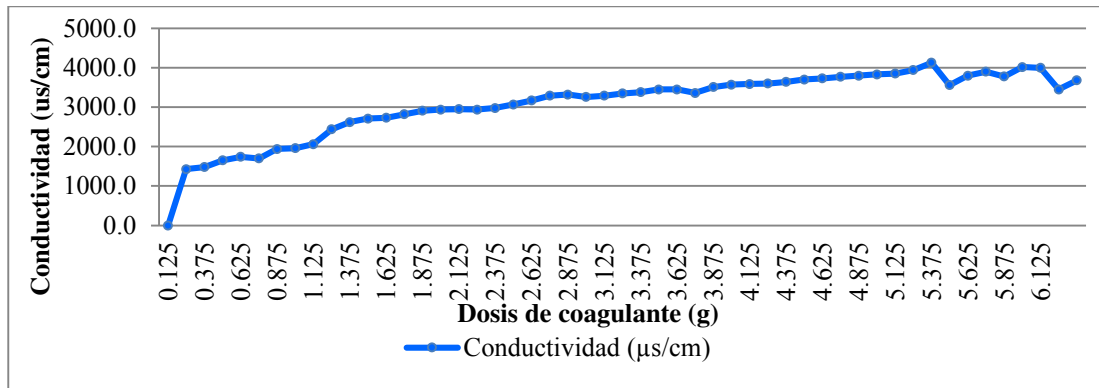
N° Pruebas	N° Jarra	Dosis de coagulante (g)	Volumen de agua gris (ml)	Conductividad (µs/cm)Promedio
	5	0.625	1000	1700.0
	6	0.750	1000	1940.0
	7	0.875	1000	1960.0
2	8	1.000	1000	2060.0
	9	1.125	1000	2440.0
	10	1.250	1000	2620.0
	11	1.375	1000	2710.0
	12	1.500	1000	2730.0
3	13	1.625	1000	2820.0
	14	1.750	1000	2910.0
	15	1.875	1000	2940.0
	16	2.000	1000	2950.0
	17	2.125	1000	2940.0
4	18	2.250	1000	2980.0
	19	2.375	1000	3070.0
	20	2.500	1000	3170.0
	21	2.625	1000	3290.0
	22	2.750	1000	3320.0
5	23	2.875	1000	3260.0
	24	3.000	1000	3290.0
	25	3.125	1000	3350.0
	26	3.250	1000	3380.0
	27	3.375	1000	3450.0
6	28	3.500	1000	3450.0
	29	3.625	1000	3360.0
	30	3.750	1000	3510.0

Nota: valores obtenidos luego de emplear el coagulante natural a diversas dosis.

Los resultados de la tabla 28, se representan en la figura 56, donde se observa el comportamiento del parámetro en función de las dosis establecidas de coagulante, variando desde una conductividad inicial de 1430 µs/cm hasta 3510 µs/cm; con lo cual se puede evidenciar que lo significativo de las variaciones.

Figura 56

Valores de conductividad obtenida posterior a los ensayos de prueba de jarra.



Nota: valores obtenidos luego de emplear el coagulante natural.

– Parámetros de salinidad

Dado los resultados de salinidad obtenidos al determinar los parámetros óptimos del coagulante, se han considerado los valores con los cuales se obtuvo una mayor disminución de Salinidad en el tratamiento de las muestras, los cuales se presentan en la tabla 29.

Tabla 29

Parámetro de salinidad registrada

Nº Pruebas	Nº Jarra	Dosis de coagulante (g)	Volumen de agua gris (ml)	Salinidad (‰) Promedio
	1	0.125	1000	0.18
	2	0.250	1000	0.19
1	3	0.375	1000	0.19
	4	0.500	1000	0.20
	5	0.625	1000	0.16
	6	0.750	1000	0.16
	7	0.875	1000	0.15
2	8	1.000	1000	0.16
	9	1.125	1000	0.16
	10	1.250	1000	0.16
	11	1.375	1000	0.17
	12	1.500	1000	0.18
3	13	1.625	1000	0.18
	14	1.750	1000	0.17
	15	1.875	1000	0.18
4	16	2.000	1000	0.18
Nº Pruebas	Nº Jarra	Dosis de coagulante (g)	Volumen de agua gris (ml)	Salinidad (‰) Promedio
	17	2.125	1000	0.18
4	18	2.250	1000	0.17
	19	2.375	1000	0.18

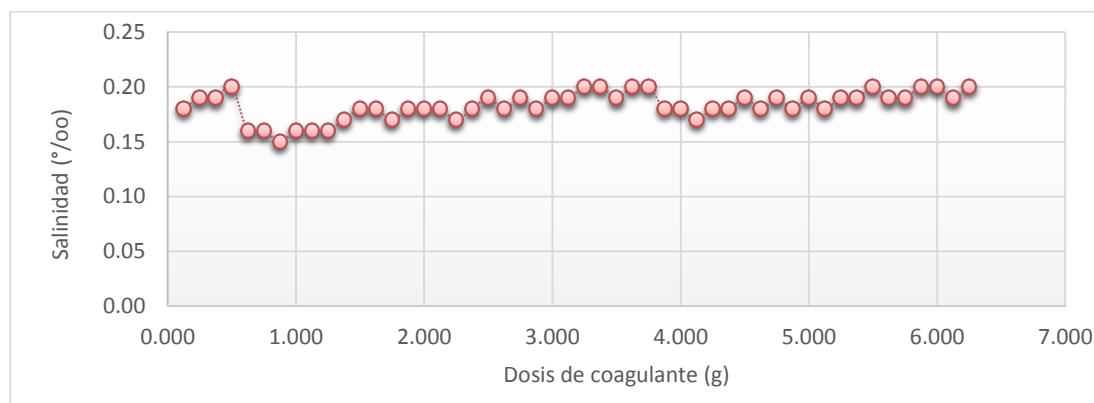
	20	2.500	1000	0.19
	21	2.625	1000	0.18
	22	2.750	1000	0.19
5	23	2.875	1000	0.18
	24	3.000	1000	0.19
	25	3.125	1000	0.19
	26	3.250	1000	0.20
	27	3.375	1000	0.20
6	28	3.500	1000	0.19
	29	3.625	1000	0.20
	30	3.750	1000	0.20

Nota: valores obtenidos luego de emplear el coagulante natural.

Los resultados de la tabla 29, se representan mediante la figura 57, en cual se puede observar que la Salinidad de las muestras tiende a incrementar de forma gradual desde 0.18 % (valor mínimo registrado en el primer ensayo) hasta 0.20 % (valor máximo registrado en el sexto ensayo). Por tanto, al agregar el coagulante natural *Opuntia ficus indica* en las muestras de agua gris, la variación de Salinidad es relativamente baja.

Figura 57

Valores de salinidad obtenida posterior a los ensayos de prueba de jarra



Nota: valores obtenidos luego de emplear el coagulante natural.

– Parámetros de TDS

Dado los resultados de TDS obtenidos al determinar los parámetros óptimos del coagulante, se han considerado los valores con los cuales se obtuvo un incremento en los valores de TDS en el tratamiento de las muestras, los cuales se presentan en la tabla 30, donde se presentan los valores promedios de TDS registrados al aplicar las dosis del coagulante natural por cada prueba realizada.

Tabla 30
Parámetros de TDS registrados

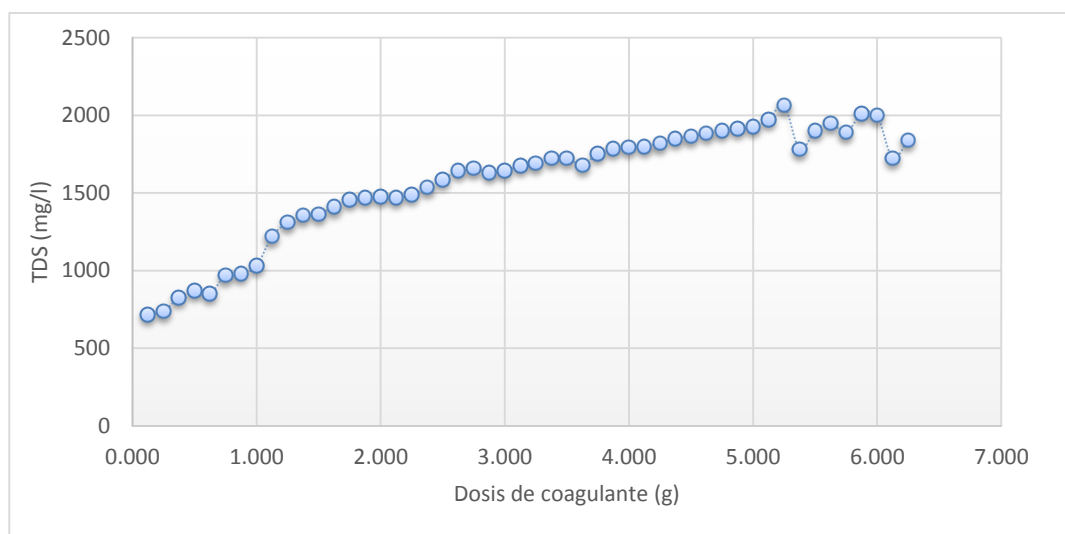
N° Pruebas	N° Jarra	Dosis de coagulante (g)	Volumen de agua gris (ml)	TDS (mg/l) Promedio
	1	0.125	1000	715
	2	0.250	1000	740
1	3	0.375	1000	825
	4	0.500	1000	870
	5	0.625	1000	850
	6	0.750	1000	970
	7	0.875	1000	980
2	8	1.000	1000	1030
	9	1.125	1000	1220
	10	1.250	1000	1310
	11	1.375	1000	1355
	12	1.500	1000	1365
3	13	1.625	1000	1410
	14	1.750	1000	1455
	15	1.875	1000	1470
	16	2.000	1000	1475
	17	2.125	1000	1470
4	18	2.250	1000	1490
	19	2.375	1000	1535
	20	2.500	1000	1585
	21	2.625	1000	1645
	22	2.750	1000	1660
5	23	2.875	1000	1630
	24	3.000	1000	1645
	25	3.125	1000	1675
	26	3.250	1000	1690
	27	3.375	1000	1725
6	28	3.500	1000	1725
	29	3.625	1000	1680
	30	3.750	1000	1755

Nota: valores obtenidos luego de emplear el coagulante natural en diversas dosis.

En el proceso de investigación, los valores de TDS de las muestras se incrementan de 715 mg/l (valor mínimo registrado en el primer ensayo) hasta 1755 mg/l (valor máximo registrado en el sexto ensayo). Por tanto, estos resultados reflejan que al agregar el coagulante natural *Opuntia ficus indica* en las muestras de agua gris, se obtuvo una variación relativamente alta de este parámetro, cuyo comportamiento se representa en la figura 58.

Figura 58

Valores de TDS obtenida posterior a los ensayos de prueba de jarra



Nota: valores obtenidos luego de emplear el coagulante natural.

– Parámetros de SST

Dado los resultados de SST obtenidos al determinar los parámetros óptimos del coagulante, se han considerado los valores con los cuales se produjo mayor disminución de este parámetro en el tratamiento de las muestras, los cuales se presentan en la tabla 31.

Tabla 31

Parámetros de SST registrados

N° Pruebas	N° Jarra	Dosis de coagulante (g)	Volumen de agua gris (ml)	SST (mg/l) Promedio
1	1	0.125	1000	248.3
	2	0.250	1000	220.4
	3	0.375	1000	214.6
	4	0.500	1000	200.1
	5	0.625	1000	197.8
	6	0.750	1000	170.4
2	7	0.875	1000	166.4
	8	1.000	1000	150.3

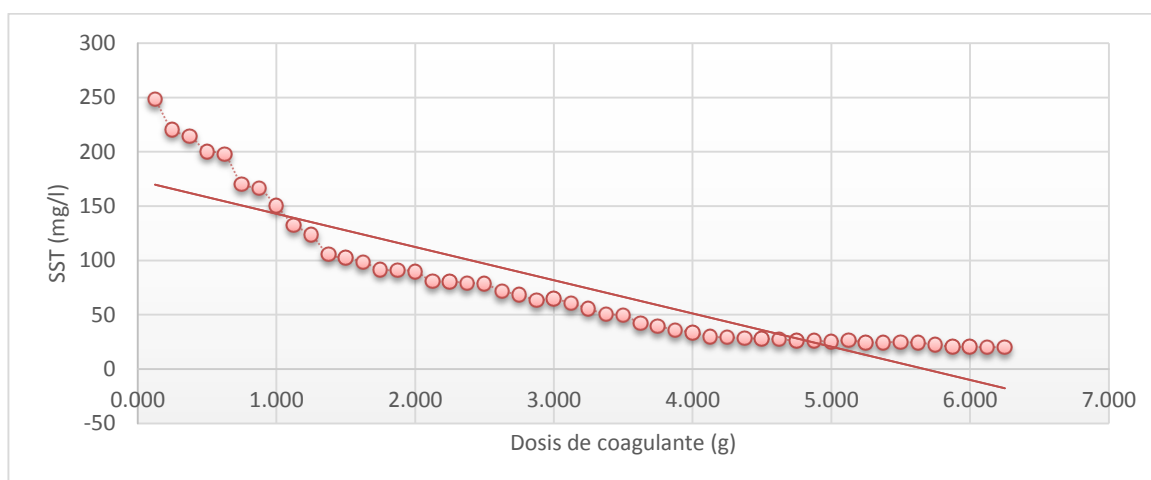
	9	1.125	1000	132.6
	10	1.250	1000	123.6
	11	1.375	1000	105.5
	12	1.500	1000	102.5
3	13	1.625	1000	98.5
	14	1.750	1000	91.6
	15	1.875	1000	90.9
	16	2.000	1000	89.7
	17	2.125	1000	80.7
4	18	2.250	1000	80.6
	19	2.375	1000	79.1
	20	2.500	1000	78.4
	21	2.625	1000	71.6
	22	2.750	1000	68.6
5	23	2.875	1000	63.4
	24	3.000	1000	64.6
	25	3.125	1000	60.3
	26	3.250	1000	55.4
	27	3.375	1000	50.4
6	28	3.500	1000	49.5
	29	3.625	1000	42.2
	30	3.750	1000	39.6

Nota: valores obtenidos luego de emplear el coagulante natural en diversas dosis.

En el proceso de investigación, los SST de las muestras es reducido desde 248.3 mg/l (valor máximo registrado en el primer ensayo) hasta 55.4 mg/l (valor mínimo registrado en el sexto ensayo). Por tanto, estos resultados muestran que al agregar el coagulante natural *Opuntia ficus indica* en las muestras de agua gris, el parámetro SST experimenta una variación significativamente alta, cuyo comportamiento se puede apreciar en la figura 59. Donde se observa que la concentración de sólidos suspendidos totales tiende a disminuir a medida que aumenta la dosis de coagulante natural.

Figura 59

Valores de SST obtenida posterior a los ensayos de prueba de jarra



Nota: valores obtenidos luego de emplear el coagulante natural.

– Parámetro de turbidez

Conforme a los resultados de turbidez obtenidos al determinar los parámetros óptimos del coagulante, se han considerado los valores promedios con los cuales se obtuvo una mayor disminución de turbidez en el tratamiento de las muestras, y los valores de las 2 pruebas inmediatamente consecutivas, para apreciar este efecto. Estos resultados se resumen en la tabla 32.

Tabla 32

Parámetros de turbidez registrados

N° Pruebas	N° Jarra	Dosis de coagulante (g)	Volumen de agua gris (ml)	Turbidez (NTU) Promedio
1	3	0.375	1000	316
2	8	1.000	1000	433
3	13	1.625	1000	61.95
4	18	2.250	1000	89.4
5	23	2.875	1000	87.75
6	28	3.500	1000	91

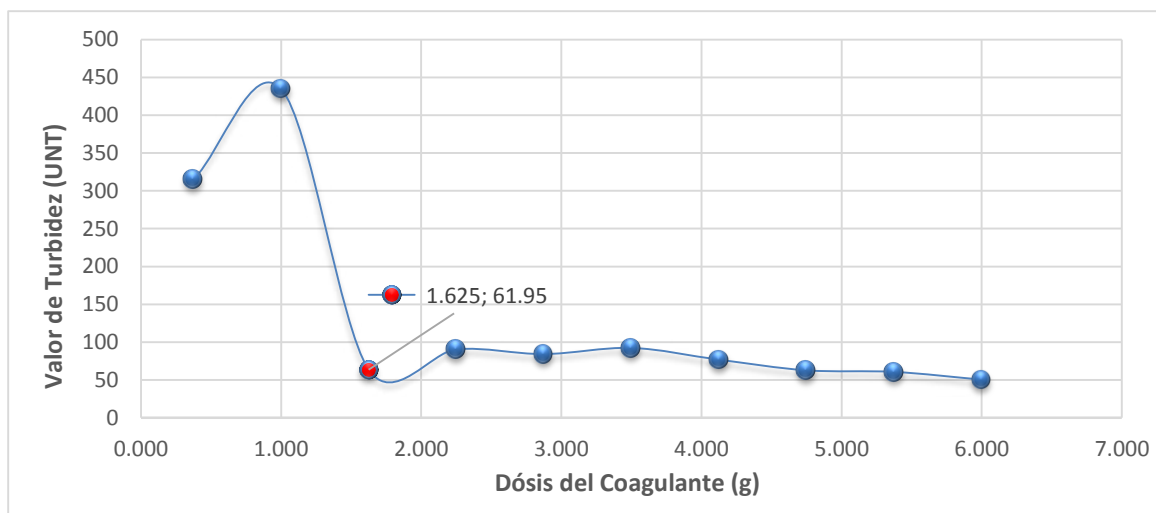
Nota: valores obtenidos luego de emplear el coagulante natural en diversas dosis.

Con base en los valores de la tabla 32, y a modo de ver el punto de inflexión donde la turbidez presenta el último valor mínimo obtenido, antes de pasar al comportamiento de aumento, se construyó el gráfico de la figura 60, el cual representa la tendencia de este parámetro, presentando una disminución hasta el punto de inflexión (1.625; 61.95), a partir de

cual vuelve a experimentar aumento. En este punto, los valores de turbidez variaron desde una turbidez inicial de 315 UNT hasta 61.95 UNT para diferentes dosis de coagulante natural.

Figura 60

Valores y comportamiento de turbidez, obtenida en las pruebas de jarras



Nota: turbidez (UNT) luego de emplear el coagulante natural en diversas dosis.

4.2.2. Resultados de Parámetros Orgánicos y Nutritivos

– Parámetros de demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Dado los resultados de DBO obtenidos al determinar los parámetros óptimos del coagulante, se han considerado los valores promedios con los cuales se obtuvo una mayor disminución de DBO, adicionando 1 serie de prueba más, a tal efecto de apreciar el cambio de comportamiento de este parámetro en el tratamiento de las muestras. Estos resultados se resumen en la tabla 33.

Tabla 33

Parámetros de DBO registrados

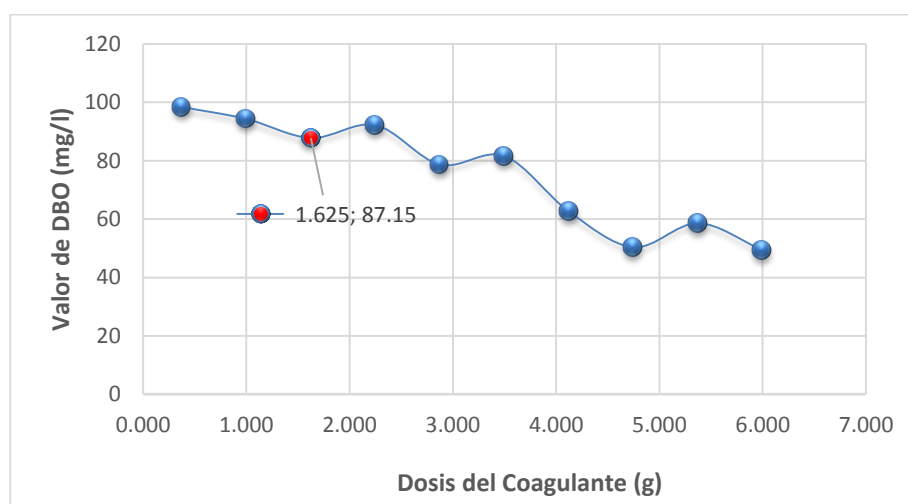
N° Pruebas	N° Jarra	Dosis de coagulante (g)	Volumen de agua gris (ml)	DBO (mg/l) Promedio
1	3	0.375	1000	97.35
2	8	1.000	1000	94.7
3	13	1.625	1000	87.15
4	18	2.250	1000	91.55
5	23	2.875	1000	78.1
6	28	3.500	1000	80.85

Nota: demanda bioquímica de oxígeno (DBO) expresada en miligramos por litro (mg/l), luego de emplear el coagulante natural en diversas dosis.

Con los valores de la tabla 33, se construyó el gráfico de la figura 61, en el cual se puede observar la variación de la DBO con tendencia hacia la disminución pasando de un valor inicial 97.35 mg/l hasta 87.15 mg/l, en donde presenta un punto de inflexión el cual empieza a cambiar la tendencia de la curva, propiciando un aumento para dosis superiores a 1.875 g. Esto evidencia que al agregar el coagulante natural *Opuntia ficus indica* en las muestras de agua gris, la DBO experimenta una variación relativamente baja.

Figura 61

Valores y comportamiento de DBO obtenida luego de las pruebas de jarras



Nota: demanda bioquímica de oxígeno (DBO) expresada en miligramos por litro (mg/l), luego de emplear el coagulante natural en diversas dosis.

– Parámetros de demanda química de oxígeno (DQO)

Se obtuvieron los valores de DQO de las muestras de agua gris posterior a los ensayos en el equipo de prueba de jarras, obteniéndose como resultados los valores expresados en la tabla 34.

Tabla 34

Parámetros de DQO registrados

N° Pruebas	N° Jarra	Dosis de coagulante (g)	Volumen de agua gris (ml)	DQO (mg/l)
1	1	0.125	1000	1098.80
	2	0.250	1000	
	3	0.375	1000	
	4	0.500	1000	

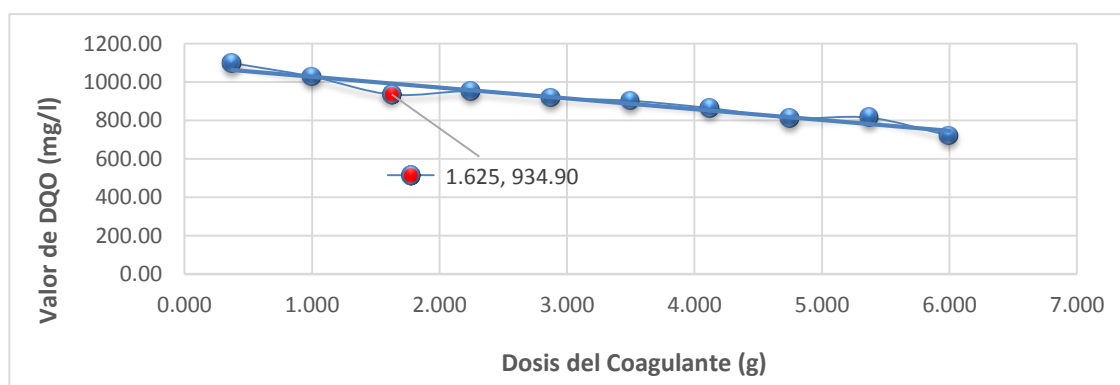
	5	0.625	1000	
	6	0.750	1000	
	7	0.875	1000	
2	8	1.000	1000	1028.50
	9	1.125	1000	
	10	1.250	1000	
	11	1.375	1000	
	12	1.500	1000	
3	13	1.625	1000	934.90
	14	1.750	1000	
	15	1.875	1000	

Nota: demanda química de oxígeno (DQO) expresada en miligramos por litro (mg/l), luego de emplear el coagulante natural en diversas dosis.

En el proceso de investigación, la DQO de las muestras varió entre 1098.8 mg/l (valor registrado en el primer ensayo) a 934.9 mg/l (valor registrado en el último ensayo). De acuerdo a este comportamiento, al agregar el coagulante natural *Opuntia ficus indica* en las muestras de agua gris, el DQO experimentó una variación significativa, como lo muestra la figura 62. En este caso, también se presentó un comportamiento similar a las gráficas anteriores, hallándose un punto de inflexión, el cual infiere la dosis óptima del coagulante natural empleado como 1.625 g.

Figura 62

Valores de DQO obtenida posterior a los ensayos de prueba de jarra



Nota: demanda química de oxígeno (DQO) expresada en miligramos por litro (mg/l), luego de emplear el coagulante natural en diversas dosis.

– Parámetros de S.A.A.M Detergentes

Se determinaron las concentraciones de S.A.A.M detergentes presentes en las muestras agua gris posterior a los ensayos en el equipo de prueba de jarras. El registro de los valores obtenidos, se expresó en miligramos por litro (mg/l), teniendo como resultados los expresados en la tabla 35.

Tabla 35

Parámetros de S.A.A.M detergentes registrados

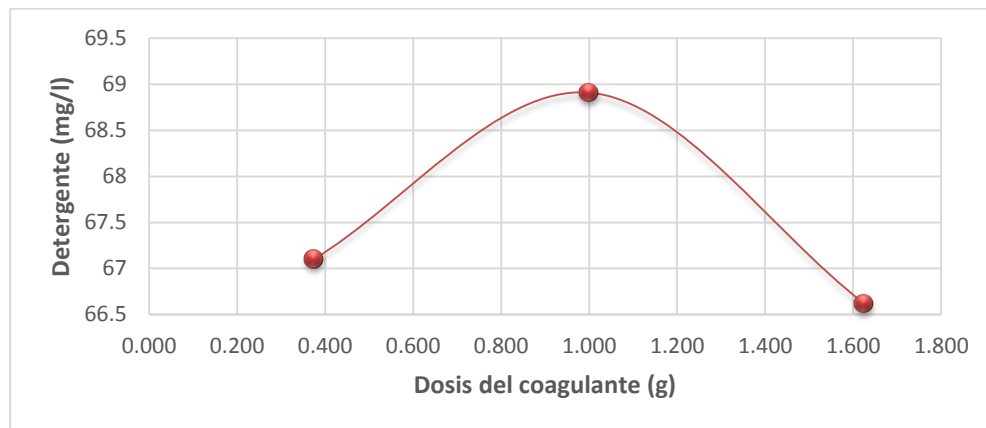
N° Pruebas	N° Jarra	Dosis de coagulante (g)	Volumen de agua gris (ml)	Detergente (mg/l)
	1	0.125	1000	
	2	0.250	1000	
1	3	0.375	1000	67.102
	4	0.500	1000	
	5	0.625	1000	
	6	0.750	1000	
	7	0.875	1000	
2	8	1.000	1000	68.909
	9	1.125	1000	
	10	1.250	1000	
	11	1.375	1000	
	12	1.500	1000	
3	13	1.625	1000	66.62
	14	1.750	1000	
	15	1.875	1000	

Nota: S.A.A.M Detergentes expresada en miligramos por litro (mg/l), en luego de emplear el coagulante natural en diversas dosis.

En base a los valores registrados en la tabla 35, los resultados de S.A.A.M detergentes de las muestras variaron de entre 68.909 mg/l (valor máximo registrado en la segunda medición) y 66.02 (valor mínimo registrado en la última medición). Tales resultados se pueden observar en el gráfico de la figura 63, donde se aprecia en cuanto a este indicador, una eficiencia relativamente significativa en la remoción de los detergentes del agua.

Figura 63

Valores de S.A.A.M detergente obtenida posterior a los ensayos de prueba de jarra



Nota: S.A.A.M Detergentes expresada en miligramos por litro (mg/l), en luego de emplear el coagulante natural en diversas dosis.

– **Parámetros de fosfato**

Conforme a los resultados de fosfato obtenidos al determinar los parámetros óptimos del coagulante, se han considerado los valores promedios con los cuales se obtuvo una mayor disminución de este parámetro en el tratamiento de las muestras; estos se presentan en la tabla 36.

Tabla 36

Parámetros de fosfato registrados

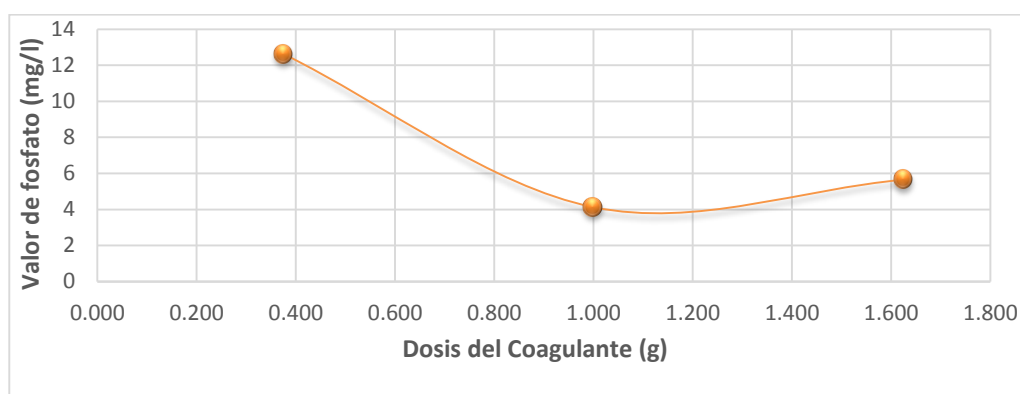
N° Pruebas	N° Jarra	Dosis de coagulante (g)	Volumen de agua gris (ml)	Fosfato (mg/l)
1	1	0.125	1000	12.633
	2	0.250	1000	
	3	0.375	1000	
	4	0.500	1000	
	5	0.625	1000	
	6	0.750	1000	
	7	0.875	1000	
2	8	1.000	1000	4.133
	9	1.125	1000	
	10	1.250	1000	
	11	1.375	1000	
	12	1.500	1000	
3	13	1.625	1000	5.657
	14	1.750	1000	
	15	1.875	1000	

Nota: Parámetros de fosfato expresada en miligramos por litro (mg/l), en luego de emplear el coagulante natural en diversas dosis.

En base a los valores registrados en la tabla 36, la figura 64 presenta la comparación de los valores de fosfato que varía en el rango de 12.633 mg/l y 5.657 mg/l al utilizar diferentes dosis de coagulante natural. Los cuales sugieren que el coagulante natural produce cambios significativos en este parámetro.

Figura 64

Valores de fosfato obtenida posterior a los ensayos de prueba de jarra



Nota: Valores de fosfato expresada en miligramos por litro (mg/l), en luego de emplear el coagulante natural en diversas dosis.

– Parámetros de nitrito

Para evaluar y comparar el parámetro de nitrito, se han considerado los resultados obtenidos en la prueba de dosis óptima del coagulante natural *Opuntia ficus indica*, en la cual, se puede apreciar directamente la variación de este parámetro. En la tabla 37 se presentan los valores registrados de nitrito al aplicar las dosis del coagulante natural por cada prueba realizada.

Tabla 37

Parámetros de nitrito registrados

N° Pruebas	N° Jarra	Dosis de coagulante (g)	Volumen de agua gris (ml)	Nitrito (mg/l)
1	1	0.125	1000	0.358
	2	0.250	1000	
	3	0.375	1000	
	4	0.500	1000	
	5	0.625	1000	
2	6	0.750	1000	0.499
	7	0.875	1000	
	8	1.000	1000	
	9	1.125	1000	

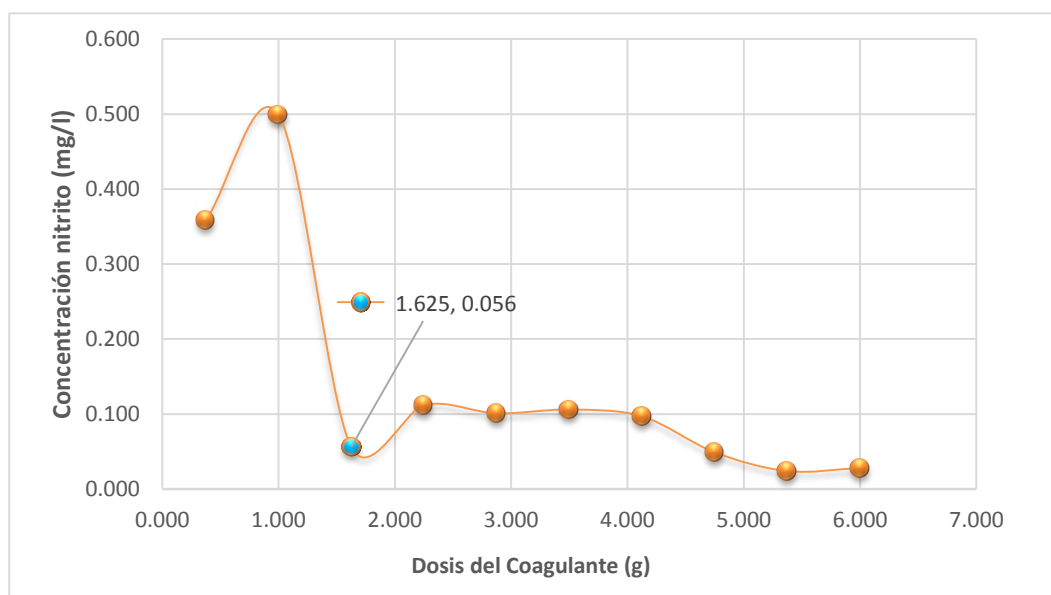
	10	1.250	1000	
	11	1.375	1000	
	12	1.500	1000	
3	13	1.625	1000	0.056
	14	1.750	1000	
	15	1.875	1000	

Nota: Valores de nitrito expresado en miligramos por litro (mg/l), en luego de emplear el coagulante natural en diversas dosis.

En base a los valores registrados en la tabla 37, en la figura 65 se presenta la comparación de los valores de nitrito que varía entre 0.499 mg/l (valor máximo registrado en la segunda medición) y 0.056 (valor registrado en la tercera medición) al utilizar diferentes dosis de coagulante natural. Estos resultados indican que el coagulante natural es eficiente al disminuir la turbidez del agua gris según el comportamiento mostrado, hasta llegar al punto de inflexión que sugiere el valor óptimo de 1.625 g del coagulante.

Figura 65

Valores de nitrito obtenida posterior a los ensayos de prueba de jarra



Nota: Valores de nitrito expresado en miligramos por litro (mg/l), en luego de emplear el coagulante natural en diversas dosis.

4.2.3. Dosis óptima de coagulante natural *Opuntia ficus indica*

De acuerdo a los resultados obtenidos, en cuanto al comportamiento de cada parámetro físicoquímico y orgánico con la incorporación del coagulante natural, en el tratamiento de aguas grises de origen doméstico, mediante las pruebas de jarras, la dosis óptima del coagulante

se establece en 1.625 gramos por cada 1 L de aguas grises. Por lo cual, se presenta el resumen de las propiedades óptimas en la tabla 38, en la que se puede apreciar los valores de los parámetros iniciales (caracterización) que presentó el agua antes de ser tratada con el coagulante, y los valores óptimos de los parámetros determinados como tal. Estos resultados se compararon y se obtuvo el porcentaje de remoción para cada uno de los mismos, de tal manera se pueda apreciar el efecto o eficiencia obtenida para la dosis óptima en cuanto a la calidad inicial.

Tabla 38

Dosis óptima del coagulante natural Opuntia ficus indica – parámetros fisicoquímicos, carga orgánica y de nutrientes

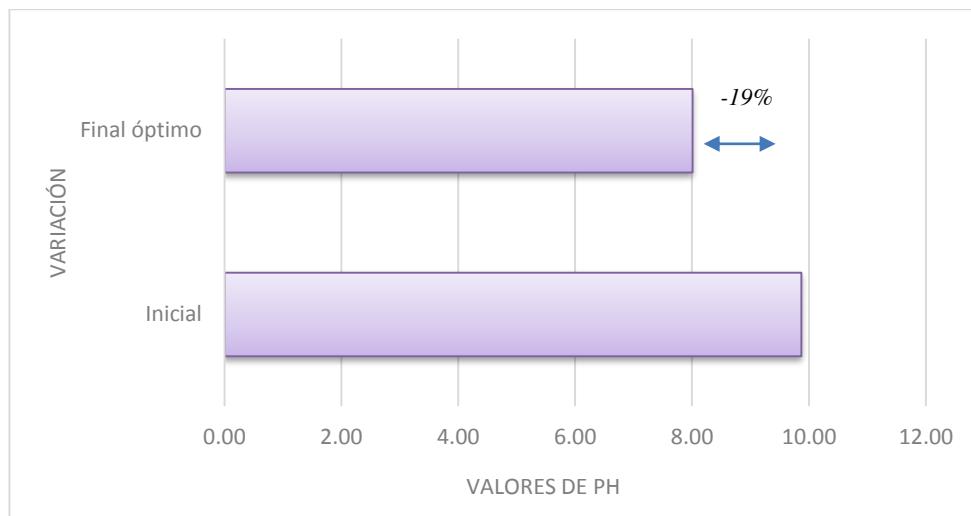
Prueba	Jarra	Dosis Coagulante (g)	pH	Conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Salinidad (‰)	TDS (mg/l)	SST (mg/l)	Turbidez (NTU)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	Detergente (mg/l)	Fosfato (mg/l)	Nitrito (mg/l)
Caracterización (inicial)	-	0.000	9.87	2870.33	0.12	1435.33	572.33	625	332.33	1519	449.65	16.32	0.21
3	13	1.625	8.01	2820	0.18	1410	98.5	61.95	87.15	934.9	66.62	5.657	0.056
	%Remoción		19%	2%	46%	2%	83%	90%	74%	38%	85%	65%	73%

Nota: mediante el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos y orgánicos luego de la incorporación del coagulante natural, mediante las pruebas de jarras, la dosis óptima del coagulante se estableció en 1.625 gramos por cada 1 L de aguas grises.

Los resultados de la tabla 38, se comparan en cuanto a la diferencia de calidad antes y después de emplear el coagulante natural en el tratamiento de las aguas grises estudiadas, representada por cada uno de los parámetros determinados. De esta manera, en La figura 66 se representa la diferencia en los valores de pH antes y después del uso del coagulante natural, en la que puede apreciarse una remoción del 19%.

Figura 66

*Valores de pH que determinan la dosis óptima del coagulante natural *Opuntia ficus indica**

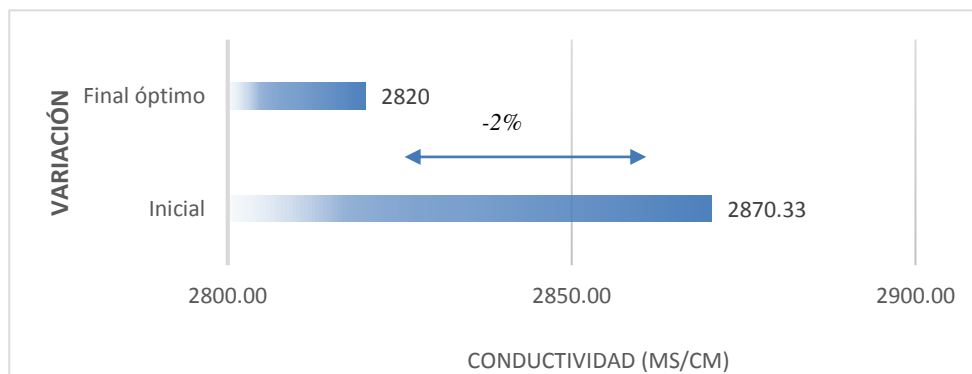


Nota: Valores de pH inicial y final para determinar la dosis óptima de coagulante.

Respecto a la variación de la conductividad, en la figura 67 se puede apreciar la diferencia en los valores inicial y final para obtener una remoción de 2%. En este caso, a pesar de que existió un efecto, la remoción fue baja.

Figura 67

Valores de Conductividad que determinan la dosis óptima del coagulante natural

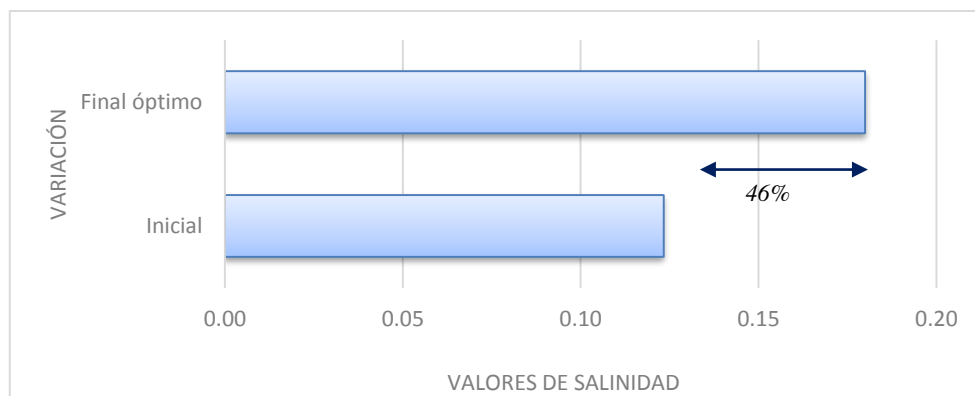


Nota: Valores de conductividad inicial y final para determinar la dosis óptima de coagulante.

Por su parte, la variación de la salinidad se muestra en el gráfico de la figura 68, donde se puede apreciar la diferencia entre el valor inicial de la muestra y el valor óptimo de coagulante, para lo cual se encontró un aumento de la salinidad, propiciada por la disolución de iones en las muestras y la agitación mecánica. Sin bien, hubo un aumento, este fue homogéneo y se dio en el mismo nivel.

Figura 68

Valores de Salinidad que determinan la dosis óptima del coagulante natural

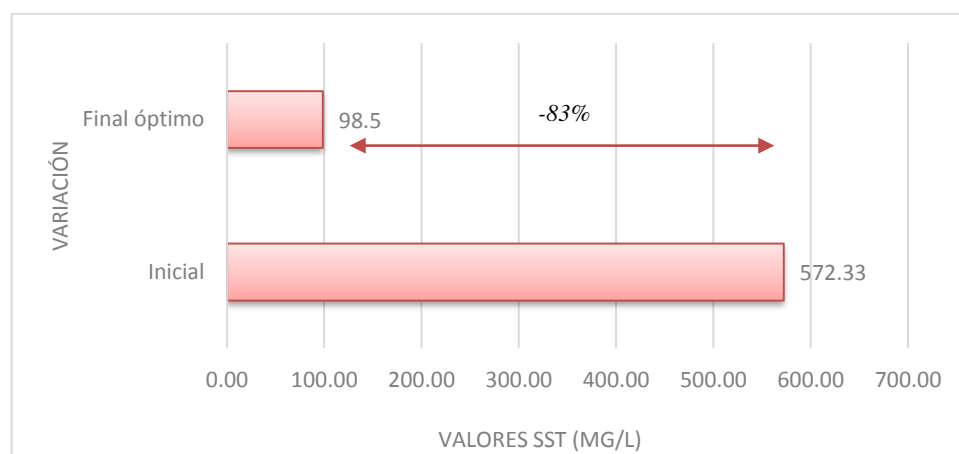


Nota: Valores de salidad inicial y final para determinar la dosis óptima de coagulante.

En cuanto a los sólidos suspendidos totales (SST), estos experimentaron una variación altamente significativa con la dosis óptima, respecto al valor inicial, obteniéndose una remoción de 83%, como se puede observar en el gráfico de la figura 69.

Figura 69

Valores de TDS que determinan la dosis óptima del coagulante natural Opuntia ficus indica



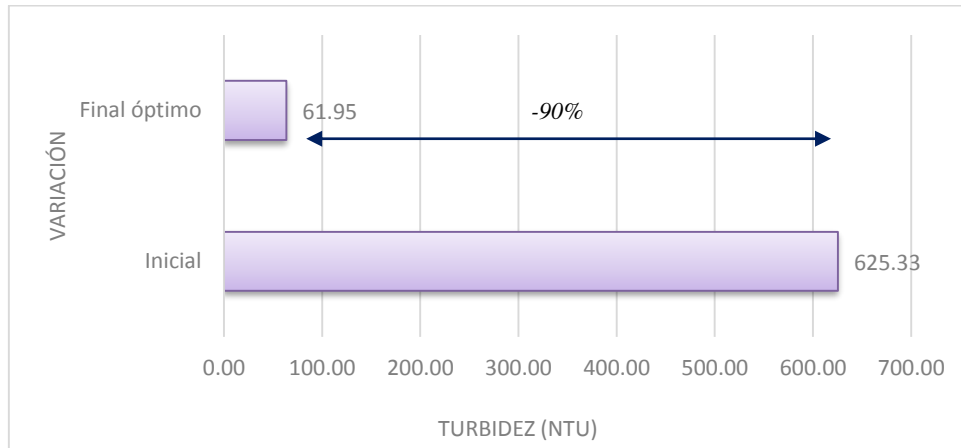
Nota: Valores de TDS inicial y final para determinar la dosis óptima de coagulante.

Por otro lado, el indicador de turbidez, considerado muy representativo para evaluar la eficiencia de remoción en el tratamiento de aguas residuales grises, experimentó una variación

significativamente alta con la dosis óptima del coagulante natural, respecto al valor inicial representando una remoción de 90%, como se puede observar en la figura 70.

Figura 70

Valores de Turbidez que determinan la dosis óptima del coagulante natural Opuntia ficus indica

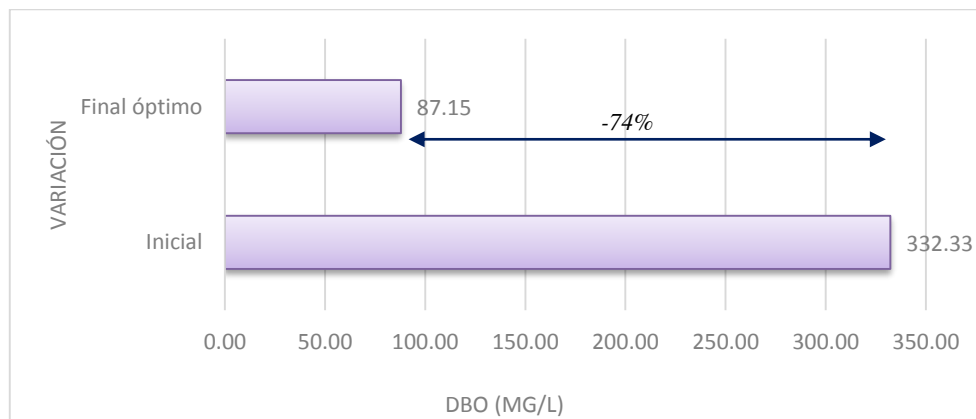


Nota: Valores de turbidez inicial y final para determinar la dosis óptima de coagulante.

Asimismo, se obtuvo una disminución en el indicador orgánico DBO respecto al inicial, para la dosis optima final, obteniendo un valor mucho menor, cuya diferencia se ilustra en la figura 71.

Figura 71

Valores de DBO que determinan la dosis óptima del coagulante natural Opuntia ficus indica

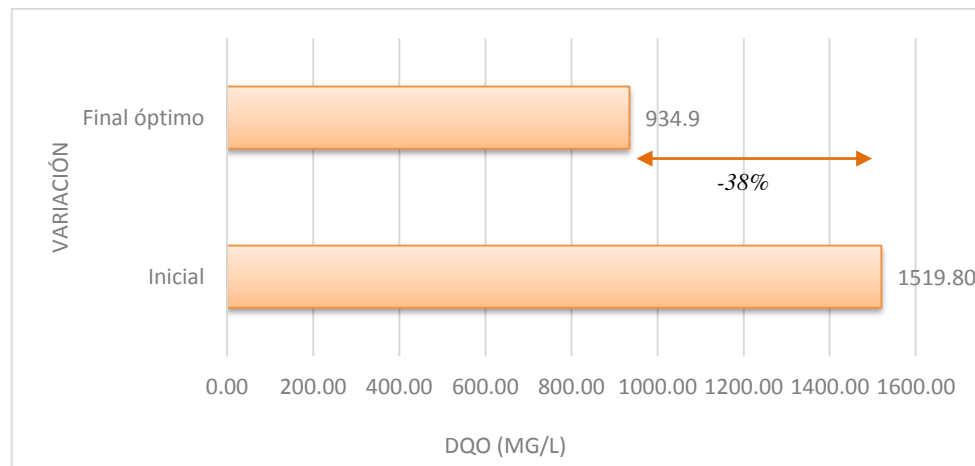


Nota: Valores de DBO inicial y final para determinar la dosis óptima de coagulante.

Un comportamiento similar, se produjo en el indicador DQO, cuyo valor experimento una disminución de 38% respecto al valor inicial antes de ser empleada la dosis de coagulante natural. Esto se puede apreciar en la figura 72.

Figura 72

Valores de DQO que determinan la dosis óptima del coagulante natural *Opuntia ficus indica*

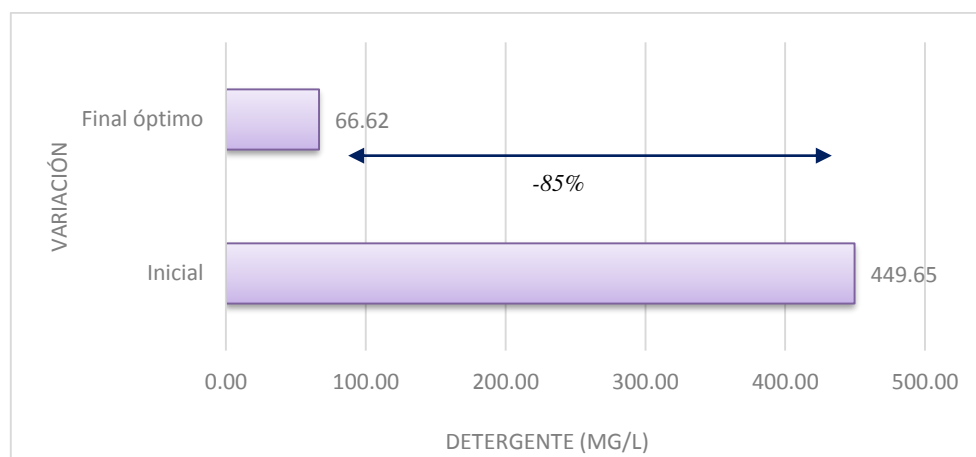


Nota: Valores de DQO inicial y final para determinar la dosis óptima de coagulante.

De la misma manera se obtuvo una disminución en la concentración de detergente, con la dosis óptima de coagulante, en el tratamiento de la muestra inicial, obteniéndose una remoción de representativa de 85% como se puede observar en la figura 73.

Figura 73

Valores de Detergente que determinan la dosis óptima del coagulante natural *Opuntia ficus indica*

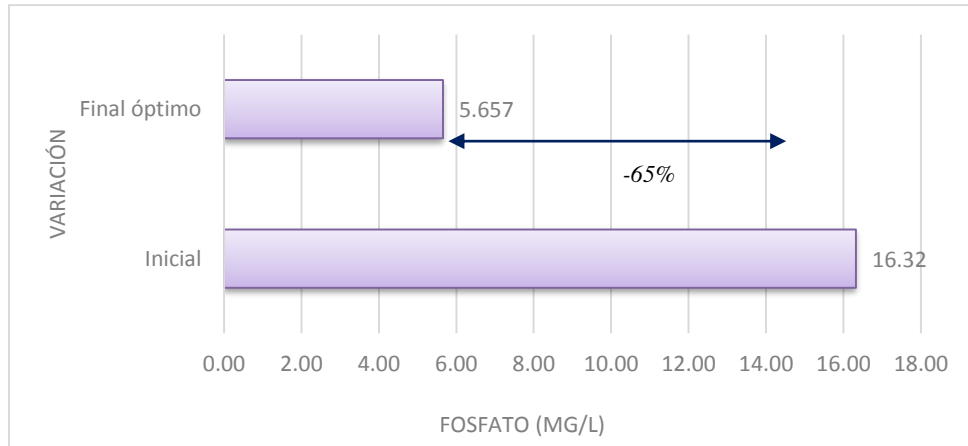


Nota: Valores de detergente inicial y final para determinar la dosis óptima de coagulante.

Finalmente, se obtuvo una disminución en los indicadores de fosfato y nitrito, respecto a los valores iniciales, obteniéndose una remoción de 65% y 73% respectivamente, cuya diferencia se ilustra en los gráficos de las figuras 74 y 75.

Figura 74

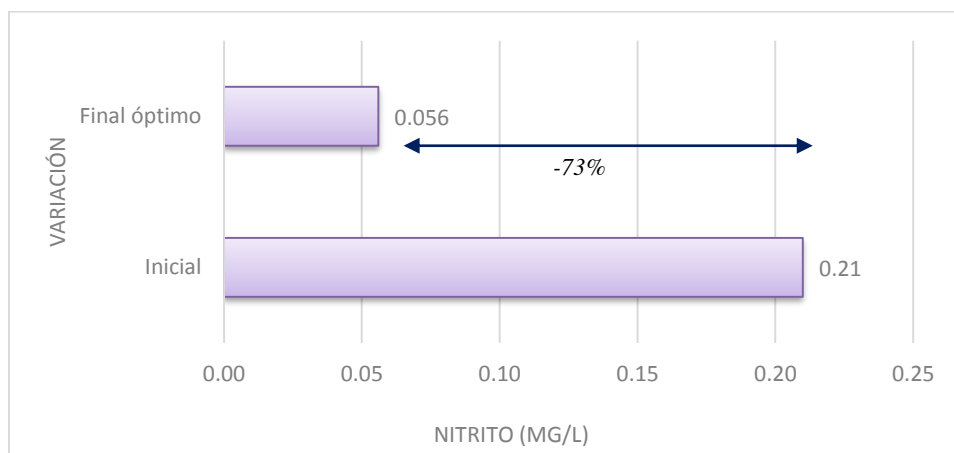
Valores de Fosforo que determinan la dosis óptima del coagulante natural *Opuntia ficus indica*



Nota: Valores de fósforo inicial y final para determinar la dosis óptima de coagulante.

Figura 75

Valores de Nitrito que determinan la dosis óptima del coagulante natural *Opuntia ficus indica*



Nota: Valores de nitrito inicial y final para determinar la dosis óptima de coagulante.

4.2.4. Comprobación Estadística de los Resultados

Los resultados promedio de los parámetros fisicoquímicos y orgánicos, determinados para las distintas dosis de coagulante aplicadas en las pruebas de jarras, se presentan en el anexo 1 y anexo 2. Por cuanto a la validez estadística, solo se presentan las pruebas respectivas para las primeras 3 pruebas de jarras realizadas (15 muestras), donde se alcanzó un comportamiento óptimo de los parámetros fisicoquímicos. Para ello, se siguió una serie de premisas, las cuales consistieron en establecer la hipótesis para validar la distribución de los

datos mediante la prueba de normalidad (Shapiro – Wilk) y, para validar la diferencia entre las medias de los parámetros obtenidos para diferentes dosis de coagulante, mediante la prueba ANOVA.

– **Hipótesis de distribución de los datos**

H_0 : Los datos de las variables siguen una distribución normal

H_a : Los datos de las variables no siguen una distribución normal

El criterio de aceptación de la hipótesis nula (H_0) obedece a si la significancia (Sig.) > 0.01 , de lo contrario, se rechaza esta hipótesis y se acepta la hipótesis alternativa. De esta manera, en la tabla 39 se observa un valor de significancia (sig.) > 0.01 , para el caso de Shapiro – Wilk (menos de 50 muestras) por lo cual se acepta la hipótesis nula y los datos siguen una distribución normal.

Tabla 39

Prueba de normalidad de los datos de las variables

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Dosis (g)	0.084	14	,200*	0.965	14	0.796
pH	0.270	14	0.007	0.846	14	0.020

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota: Tomado de SPSS.

– **Hipótesis para la prueba ANOVA**

H_a : Existen diferencias significativas en el valor medio del parámetro (físicoquímicos y orgánicos) para las distintas dosis de coagulante natural aplicadas según las pruebas de jarras.

H_0 : No existen diferencias significativas en el valor medio del parámetro (físicoquímicos y orgánicos) para las distintas dosis de coagulante natural aplicadas según las pruebas de jarras.

El criterio para aceptar la hipótesis alternativa (H_a) se basa en que, la Sig. <0.05 , de lo contrario se rechaza esta hipótesis y se acepta la hipótesis nula, lo que indica que no existen diferencias significativas en el parámetro evaluado para las dosis de coagulante aplicadas. En este sentido, se presenta la estadística de ANOVA para cada parámetro: pH (tabla 40), conductividad eléctrica (tabla 41), TDS (tabla 42) SST (tabla 43), turbidez (tabla 4).

– **Parámetro pH**

Tabla 40

Prueba ANOVA para el parámetro pH

ANOVA					
pH					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	10,665	12	,889	339,830	,000
Dentro de grupos	,034	13	,003		
Total	10,699	25			

Nota: Tomado de SPSS.

De acuerdo a los resultados de la tabla 40, donde la Sig. <0.05 indica que existe diferencia significativa en los valores de pH generado por la dosis de coagulante natural, por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa.

– **Parámetro conductividad eléctrica**

Tabla 41

Prueba ANOVA para el parámetro conductividad eléctrica

ANOVA					
Conductividad (µs/cm)					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	6091138,462	12	507594,872	307,777	,000
Dentro de grupos	21440,000	13	1649,231		
Total	6112578,462	25			

Nota: Tomado de SPSS.

Con base en los resultados de la tabla 41, existen diferencias significativas en los valores de conductividad para las dosis de coagulante natural aplicadas, siendo la sig.<0.05. Por tanto, se acepta la hipótesis alternativa.

– **Parámetro TDS**

Tabla 42

Prueba ANOVA para el parámetro TDS

ANOVA

TDS (mg/L)					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1522288,615	12	126857,385	7479,120	,000
Dentro de grupos	220,500	13	16,962		
Total	1522509,115	25			

Nota: Tomado de SPSS.

De acuerdo al valor de sig. < 0.05 de la tabla 42, se comprueba que existen diferencias significativas en los valores de TDS (mg/L) para las dosis de coagulante aplicadas; por tanto, se acepta la hipótesis alternativa.

– **Parámetro SST**

Tabla 43

Prueba ANOVA para el parámetro SST

ANOVA SST (mg/L)					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	59283,345	12	4940,279	1089,644	,000
Dentro de grupos	58,940	13	4,534		
Total	59342,285	25			

Nota: Tomado de SPSS.

De acuerdo al valor de sig. < 0.05 de la tabla 43, se comprueba que existen diferencias significativas en los valores de SST (mg/L) para las dosis de coagulante aplicadas; por tanto, se acepta la hipótesis alternativa.

– **Parámetro Turbidez**

Tabla 44

Prueba ANOVA para el parámetro turbidez

ANOVA Turbidez (NTU)					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	223213,806	4	55803,451	6377,537	,000
Dentro de grupos	43,750	5	8,750		
Total	223257,556	9			

Nota: Tomado de SPSS.

Según el valor de sig. < 0.05 que se muestra en la tabla 44, existen diferencias significativas en los valores de turbidez para las dosis de coagulante aplicadas. Por tanto, se acepta la hipótesis alternativa.

Hasta este punto, los resultados para todos los parámetros fisicoquímicos, demuestran que sí existen variaciones significativas en los mismos al aplicar las dosis de coagulante en el tratamiento de las aguas grises, mediante las pruebas de jarras. Por cuanto se acepta la hipótesis de la investigación, la cual afirma que:

“La aplicación de la *Opuntia ficus indica* como coagulante natural de tipo vegetal es eficiente para el tratamiento de aguas residuales domésticas grises, comparando de forma referencial las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos del agua tratada con los Estándares de Calidad Ambiental aprobados mediante Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, para el Riego de vegetales y bebida de animales Subcategoría D1: Riego de vegetales (Agua para riego no restringido) en el Asentamiento Humano Villa Solidaridad - San Juan de Miraflores”.

Adicionalmente, se realizó el análisis estadístico de los parámetros orgánicos del agua para las distintas dosis de coagulante natural, considerando las mismas premisas, para lo cual se presentan los siguientes resultados:

Tabla 45
Prueba ANOVA para parámetros orgánicos – nutritivos

ANOVA						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
DQO (mg/L)	Entre grupos	43494,117	4	10873,529	585,568	,000
	Dentro de grupos	92,846	5	18,569		
	Total	43586,963	9			
Fosfato (mg/L)	Entre grupos	109,559	4	27,390	68474,225	,000
	Dentro de grupos	,002	5	,000		
	Total	109,561	9			
Nitrito (mg/L)	Entre grupos	,287	4	,072	1271,195	,000
	Dentro de grupos	,000	5	,000		
	Total	,287	9			

Nota: Tomado de SPSS.

De acuerdo a los resultados de la tabla 45, en los parámetros orgánicos DQO, Fosfato y nitrito presentan diferencias significativas para diferentes dosis de coagulante al obtenerse para los 3 parámetros Sig. <0.05; por tanto, para este caso también se acepta la hipótesis alternativa.

4.3. Determinación de los parámetros fisicoquímicos de las aguas grises domésticas tratados en el sistema piloto

En esta etapa se aplicó el coagulante óptimo de *Opuntia ficus indica* para tratar 60 litros de agua en el sistema piloto, y determinar la calidad del agua gris a la entrada y salida del sistema; para lo cual se obtuvo como resultado, los parámetros básicos, parámetros de carga orgánica y los parámetros nutrientes. Las mediciones se realizaron después de un tiempo de 55 minutos en el sistema piloto y los resultados se resumen la tabla 46.

Tabla 46
Parámetros fisicoquímicos de entrada y salida del sistema

Parámetros	Entrada	Salida	% Remoción	ECA	
				(Categoría 3 ²)	EPA ³
Temperatura (°C)	19.6	19.5	0.51	Δ3*	-
pH	9.91	6.9	30.37	6.5 – 8.4	6 - 9
Conductividad (μs/cm)	2740	3190	16.42	2500	-
Salinidad (‰)	0.13	0.18	38.46	-	-
TDS (mg/l)	1322	1547	17.02	-	< 500
SST (mg/l)	610	20.3	96.67	-	≤ 30
Turbidez (NTU)	662	78.2	88.19	-	≤ 2
DBO (mg/l)	497	134.3	72.98	15	≤ 10
DQO (mg/l)	2089.9	597.4	71.41	40	-
SAAM Detergentes (mg/l)	456.34	42.712	90.64	0.2	-
Fosfato (mg/l)	54.011	0.32	65.34	-	-
Nitrito (mg/l)	0.32	0.087	72.81	10	-

Nota: * Significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Los resultados de la tabla 46, muestra la calidad del agua obtenida luego de ser tratada con la dosis óptima de coagulante en un sistema piloto; observándose remociones significativas. Así, se determinó, por ejemplo, 88.19% de remoción de la turbidez, 96.67% en los SST, 17.02% en los TDS, 90.64% en la remoción de detergentes, 30.37% en la de pH,

² MINISTERIO DEL AMBIENTE (2017). Artículo 3 de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. D.S N° 004-2017.

³ Guías de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) – 2012

65.34% en fosfato y 72.81% en nitrito. Sin embargo, sólo algunos parámetros cumplen con los rangos establecidos por los estándares nacionales de calidad ambiental (ECA-2017) para la categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales Subcategoría D1: Riego de vegetales (Agua para riego no restringido). Así mismo para otros parámetros se tomó como referencia a las Guías de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) – 2012 para la reutilización de aguas residuales para la agricultura.

4.4. Diseño e implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas grises a una escala de prueba

4.4.1. Cálculo de los flujos semanales de aguas grises

A. Lavadora

Sabiendo que cada persona hace una carga de lavandería a la semana, dando un total de cinco (5) cargas por semana; la lavadora del cual se dispone es de una carga frontal con índice de 100 L (26 galones) por carga, cabe mencionar que para una equivalencia se consideró 1 galón <> 3.8 L.

$$V (L) = N * n (gal) * 3.8 (L/gal)$$

V : Volumen semanal

N : Número de cargas

n : Cantidad de galones

$$V (L) = 5 * 26 gal * 3.8 L/gal$$

$$V (L) = 449 L/Smana$$

B. Ducha

Las cinco (5) personas en el hogar se bañan en un lapso de aproximadamente 15 minutos, es decir que tres (3) personas se bañan cinco veces a la semana y dos (2) personas se bañan tres veces a la semana y considerando que el índice del flujo de la ducha es de 1.5 gpm (6 Lpm), se tiene:

$$V(L) = P * I(gpm) * T(min) * N * 3.8 (L/gal)$$

V : Volumen semanal

P : N° personas

I : Índice de flujo de ducha

T : Minutos de baño

N : Número de baños por semana

$$V(L) = 3 * 1.5 gpm * 15 min * 5 * 3.8 (L/gal)$$

$$V(L) = 1282 L/Semana$$

$$V(L) = 2 * 1.5 gpm * 15 min * 3 * 3.8 (L/gal)$$

$$V(L) = 513 L/Semana$$

C. Lavabo de baño

Los integrantes de la vivienda familiar realizan la higiene personal en el lavabo de aproximadamente tres (3) veces a la semana con una duración de 1 minuto, sabiendo que el índice de flujo del lavabo es de 2 gpm, se tiene:

$$V(L) = N * I(gpm) * T(min) * D * 3.8 (L/gal)$$

V : Volumen semanal

D : Días

I : Índice de flujo de lavabo de baño

T : Minutos de lavabo personal

N : Número de uso

$$V(L) = 15 * 2 gpm * 1 min * 7 * 3.8 (L/gal)$$

$$V(L) = 798 L/Semana$$

D. Fregadero o lavabo de cocina

Se realiza el lavado de utensilios y objetos de cocina con un aproximado de tres (3) veces al día, durante toda la semana y en un periodo de 3 min; indica que el índice de flujo del lavabo es de 2 gpm, puede calcular:

$$V (L) = N * I(gpm) * T(min) * D * 3.8 (L/gal)$$

V : Volumen semanal

D : Días

I : Índice de flujo de lavabo de cocina

T : Minutos de uso

N : Número de uso

$$V (L) = 3 * 2 \text{ gpm} * 3 \text{ min} * 7 * 3.8 (L/gal)$$

$$V (L) = 478.8 \text{ L/Semana}$$

Tabla 47.

Resumen de estimación de gastos de agua en una vivienda de 5 habitantes por día

Actividad	Formula	Cálculo	Valor	Unidad
Lavado de ropa a lavadora	$V(L) = N * n(gal) * 3.8(L/gal)$	$= 5 * 26 gal * 3.8 L/gal$	449	L / Semana
Ducha (15 minutos).	$V(L) = P * I(gpm) * T(min) * N * 3.8(L/gal)$	$= 3 * 1.5 gpm * 15 min * 5 * 3.8 \left(\frac{L}{gal}\right)$ $= 2 * 1.5 gpm * 15 min * 3 * 3.8 \left(\frac{L}{gal}\right)$	1 282 513	L / Semana
Lavabo de baño (lavado de manos, higiene bucal)	$V(L) = N * I(gpm) * T(min) * D * 3.8(L/gal)$	$= 15 * 2 gpm * 1 min * 7 * 3.8(L/gal)$	798	L / Semana
Lavabo de cocina (Lavado de utensilios y cocción de alimentos)	$V(L) = N * I(gpm) * T(min) * D * 3.8(L/gal)$	$= 3 * 2 gpm * 3 min * 7 * 3.8(L/gal)$	478.8	L / Semana
Total			3 520.8	L / Semana

4.4.2. Determinación del caudal a partir del agua gris de abastecimiento

Ingreso a la Unidad de coagulación

Para el sistema de prueba se recolectó 70 litros de aguas grises, desde el cual se transportó mediante tubería de 3/4" en un tiempo de 4.42 minutos; a continuación se presenta la ecuación y su respectivo resultado:

$$Q(L/s) = \frac{V(L)}{t(s)}$$

Q : Caudal (L/s)

V : Volumen (L)

t : Tiempo (s)

$$Q(L/s) = \frac{70 L}{4.42 \text{ min} * \frac{60 s}{1 \text{ min}}}$$

$$Q = 0.264 L/s$$

El tiempo de duración en esta unidad fue programado en referencia a los ensayos en el equipo de prueba de jarras, siendo lo siguiente:

Tabla 48.

Programación de frecuencia en el sistema de prueba

Etapa	Secuencia	Velocidad	Tiempo
Homogenización	1	50	10 segundos
Mezcla rápida	2	100	1 minutos
Mezcla lenta	3	30	20 minutos

Ingreso a la Unidad de sedimentación

El caudal de conducción por gravedad desde los cilindros coaguladores hasta el sedimentador se logró calcular de la siguiente manera:

$$Q(L/s) = \frac{40 L}{2.38 \text{ min} * \frac{60 s}{1 \text{ min}}}$$

$$Q = 0.280 L/s$$

La permanencia del agua gris coagulado en esta unidad fue programado en referencia a los ensayos en el equipo de prueba de jarras, siendo lo siguiente:

Tabla 49.

Tiempo en el sedimentador del sistema de prueba

Etapa	Secuencia	Velocidad	Tiempo
Reposo	4	0	30 minutos

Ingreso a la Unidad de filtración

La determinación del caudal es en base al volumen del agua contenido en el sedimentador, quedando como volumen residual de 5 litros, se tiene:

$$Q(L/s) = \frac{35 L}{2.21 \text{ min} * \frac{60 s}{1 \text{ min}}}$$

$$Q = 0.264 L/s$$

4.4.3. Diseño del sistema de prueba

El sistema de prueba para el tratamiento de aguas grises está compuesto por un envase cilíndrico (Reservorio), unidad de coagulación, la unidad de sedimentación (estos adecuado como tratamiento primario) y la unidad de filtración (adecuado como tratamiento secundario). Así mismo el sistema consta de un módulo automático, este conformado por un motor monofásico y un variador de frecuencia programado para cuatro revoluciones. Como

resultado de los cálculos de cada unidad del sistema se diseñaron los planos N° 1, N° 2, N° 3, N° 4 y N° 5 (Ver Anexo N° 3).

Tabla 50.

Características y dimensiones de los componentes del sistema

Unidad	Dimensión (cm)	Volumen (L)	Caudal de ingreso (L/s)
Reservorio	-	70	-
Coagulador	35 cm x 25 cm	17	0.264
Sedimentador	39.3 cm x 50 cm x 21 cm	40	0.280
Filtro Lento de Arena	100 cm x 25 cm	50	0.264

Tabla 51.

Componentes del Filtro Lento de Arena

Sustrato	Altura (cm)	Orden	Diámetro
Arena fina	7.5	1	-
Arena gruesa	7.5	2	-
Graba	7.5	3	3 – 3.5 cm
Carbón activado	7.5	4	5 – 6 cm

4.4.4. Implementación del sistema de prueba

Se logró implementar el sistema de prueba para el tratamiento de aguas domésticas grises, cuyos procedimientos para su construcción, se detallan en el **Capítulo IV** de la presente investigación, el sistema de prueba construido y completo se puede verificar en la figura 54 y

en puesto en marcha en la figura 44; así mismo en el Anexo N° 6 se puede observar fotografías de cada etapa de la construcción.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La presente investigación se enfocó en evaluar la eficiencia del *Opuntia ficus indica* como coagulante natural de tipo vegetal, para el tratamiento de las aguas grises domésticas, para lo cual se determinaron los parámetros de calidad de tipo fisicoquímicos y orgánicos antes y después de aplicar el tratamiento a base del coagulante natural, mediante las pruebas de jarras de laboratorio y a través del sistema de tratamiento de aguas piloto diseñado. Los resultados obtenidos, se contrastan con las investigaciones de algunos autores que plantearon objetivos similares.

De esta manera, los resultados obtenidos se comparan con los de López (2018), cuya investigación tuvo como objetivo principal evaluar la eficiencia de la cactácea *Opuntia ficus indica* al usarla como coagulante natural de tipo vegetal, para remover la turbiedad presente en las muestras de agua sintética. A diferencia del presente estudio, en el cual se consideró un nivel de turbiedad inicial de 625 UNT, el autor aplicó 5 niveles de turbiedad diferentes: 20, 50, 100, 300 y 500 UNT para determinar los parámetros óptimos del coagulante natural, entre ellos el dosis y concentración, pH y turbidez residual. Adicionalmente, determinó los mismos parámetros utilizando otro coagulante químico, con lo cual comparó los resultados del coagulante natural. Luego de realizar las pruebas de jarras, obtuvo una dosis óptima para cada nivel de turbiedad siendo 30, 45, 55, 75 y 90 mg/L respectivamente.

Tomando como referencia el nivel de 500 UNT, la dosis óptima resultó 0.90 g por cada litro de agua, relativo a 1.625 g por cada litro de aguas para una turbiedad de 625 UNT obtenido en el presente estudio; cuyos valores tienen coherencia entre sí. Bajo estas condiciones, obtuvo una remoción entre 58% y 86% (500 UNT) en referencia al parámetro de turbidez, mientras que en la presente investigación se obtuvo un 90% (625 UNT) de remoción. Finalmente, concluye que el coagulante natural es efectivo para ser aplicado en el tratamiento de aguas grises de turbiedad baja, media y alta, generando mínimas variaciones en el pH y conductividad. Con esto, se puede decir que los resultados de López (2018), aportan coherencia a los obtenidos.

Por su parte, los aportes de Silva (2017), se centran en los resultados de remoción de turbidez en función de las concentraciones de mucilago, que a diferencia de la presente investigación, aplicó 2 concentraciones de 30 ppm y 50 ppm para una turbidez inicial de 500 y 1000 NTU, con las cuales obtuvo una remoción máxima entre 86% y 88.9%. Sin embargo, Los resultados obtenidos, se asemejan a los obtenidos en este estudio donde se encontró la

máxima remoción de 90% para una turbidez inicial de 625 NTU y una dosis de 1.625g/L de coagulante natural. Igualmente, se determinó la significancia de estos dos parámetros estadísticamente mediante los programas Minitab e Infostat, a diferencia del presente estudio, el cual empleó el SPSS de IBM. No obstante, en ambas investigaciones se demostró la validez de los resultados para una significancia de 0.05%, es decir, para un nivel de confianza del 95%.

Así mismo, los aportes de los resultados obtenidos se asemejan a los de Tejada (2015), determinó el efecto del uso del coagulante natural de la tuna (*Opuntia ficus indica*) en la calidad del agua de San Antonio, empleando 1 g, 0.70 g, 0.50 g, 0.15 g y 0.10 g de coagulante molido. En la cual llegó a la conclusión, que el uso del coagulante natural de la tuna (*Opuntia ficus indica*), tiene un efecto positivo en los parámetros pH, oxígeno disuelto y color de la calidad del agua en la zona del lado bajo de San Antonio, pero no en la turbidez. Al igual que se determinó en la presente investigación.

Estos resultados, también son similares a los presentados por Villabona et al. (2013), que en su objetivo de caracterizar la Tuna (*Opuntia ficus-indica*) y extraer un coagulante de la misma, con el propósito de determinar características necesarias que lo hacen un potencial para remover la turbidez, color y pH en aguas crudas; pudo evaluar el poder coagulante para una dosis de 90 mg/l en agua cruda donde obtuvo una remoción de 72% para turbidez, demostrando la remoción efectiva, igual a la obtenida 90%; en tanto que el pH se mantuvo alcalino entre 7.5 y 7.9 al igual que en los valores de pH obtenido para la dosis optima en el presente estudio, el cual varió de 9.87 a 8.01 manteniéndose en la escala alcalina. Por lo cual, concluye que el material extraído de la *Opuntia ficus-indica* presenta una alta actividad como coagulante para remover aguas crudas con alta turbidez inicial y no alterar el pH.

Por último, se encontraron diferencias entre los resultados de la presente investigación y los obtenidos por Jiménez et al. (2012) y Quispe (2012), los cuales coincidieron con una baja eficiencia de remoción con la aplicación de un coagulante natural en ambos casos. En la primera, la tuna resultó poco efectiva para remover el color generado por sustancias húmicas en aguas de baja turbidez y alcalinidad, pero su aplicabilidad como coagulante / floculante en aguas de alta turbidez y alcalinidad es promisorias, incluso comparada con los productos comerciales. El segundo, determinó la eficiencia del mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) seca en las pruebas de jarra para la remoción de pH alcanzando una eficiencia de 2.78 %, esto para una turbiedad de 500 UNT y una dosis promedio de 5.17 ml/2L de coagulante. Mientras

que en la presente investigación la remoción de pH para aguas grises fue de 33.33 %, esto para una turbiedad de 625 UNT y una dosis de 1.625 g/L.

VI. CONCLUSIONES

- 6.1. En la presente investigación, se logró evaluar la eficiencia de la *Opuntia ficus indica* como coagulante natural en el tratamiento de las aguas residuales grises, para su posterior uso en riego no restringido de vegetales, categoría D1 según estándar nacional ECA. Para lo cual, el estadístico ANOVA comprobó que sí existen diferencias significativas entre los valores medios de los parámetros fisicoquímicos a un nivel de confianza de 95%, siendo la significancia menor a 0.05 en cada parámetro. En este sentido, se obtuvo 90% de remoción de la turbidez, 83% de remoción de SST, 19% de remoción de pH, 46% de remoción de salinidad y 2% de remoción de conductividad y TDS. En adición, se obtuvo remociones significativas en la mayoría de los parámetros orgánicos, resultando 74% de remoción de DBO, 38% de DQO, 65% de fosfato y 73% de nitrito. Por otro lado, se encontró que no todos los parámetros cumplen con los rangos establecidos por el ECA para el uso sugerido en esta investigación. A pesar de ello, se concluye que la *Opuntia ficus indica* como coagulante natural, si es eficiente para el tratamiento de aguas grises.
- 6.2. Mediante los análisis de laboratorio, se determinaron las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales antes del tratamiento con el coagulante natural. En los que se obtuvieron los siguientes valores iniciales: 9.87 de pH, 2870 $\mu S/cm$ de conductividad eléctrica, 0.12‰ de salinidad, 1435 mg/L TDS, 572.33 mg/L SST, 625 UNT de turbidez, 332 mg/L DBO, 1519.8 mg/L DQO, 449.65 mg/L de detergentes, 16.32 mg/L Fosfato (PO_4^{-3}) y 0.205 mg/L de nitrito NO_2 . Todos los cuales se encontraron muy por encima de los permitidos por el ECA para aguas de riego vegetal categoría D1.
- 6.3. Se estableció la dosis adecuada de la *Opuntia ficus indica* como coagulante natural en el tratamiento de las aguas grises, mediante la ejecución de 10 pruebas de jarras para 50 dosis diferente de coagulante. A través de las cuales se determinó la calidad residual del agua, lo cual permitió determinar que la dosis más adecuada de coagulante *Opuntia ficus indica* en polvo, fue aquella que generó mayor remoción de los contaminantes en muestras de agua gris de 625 UNT de turbidez, por tanto, se concluye que esta dosis fue la de 1.625 g por cada L de aguas grises tratadas.

6.4. Se logró diseñar e implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales grises a una escala de prueba, a través de la cual se determinó la calidad del agua antes y después de aplicar el coagulante natural. De esta manera, se trató una muestra de 60 L de aguas grises alcalinas, con 9.95 pH inicial, 2714 ($\mu\text{s}/\text{cm}$) de conductividad, 1345 mg/L de TDS, 665 mg/L de SST, 625 NTU de turbidez, DBO 447.5 mg/L, DQO 2095 mg/L, 468 mg/L de detergente, 51 mg/L de fosfato y 0.38 mg/L de nitrito. Una vez tratada en el sistema piloto, se obtuvo remociones de pH 30.37 %, Conductividad eléctrica 16.42 %, Salinidad de 38.46 %, TDS 17.02%, SST 96.67%, Turbidez 88.19%, DBO 72.98 %, DQO 71.41%, S.A.A.M. Detergentes 90.64%, Fosfato 65.34% y Nitrito 72.81%. Por tanto, el sistema piloto diseñado, generó remociones importantes de los contaminantes del agua. Sin embargo, y a pesar de dichas remociones, algunos de los parámetros no cumplen con lo establecido por el ECA para la categoría sugerida. Por lo cual se dejan las recomendaciones del caso.

VII. RECOMENDACIONES

De acuerdo a la investigación realizada, se presentan las siguientes recomendaciones que se deben tener en cuenta:

- a. Si bien, se obtuvo remociones significativas en la calidad del agua (positiva), se recomienda un tratamiento secundario, a fin de completar el tratamiento de las aguas y/o agregar una etapa más, en el sistema piloto para obtener una calidad más precisa y poder cumplir el rango de valores para todos los parámetros establecidos por el ECA para el uso sugerido (agua para riego categoría D1).
- b. Se recomienda continuar con las actividades de operación y mantenimiento del sistema piloto de tratamiento de aguas grises para el correcto funcionamiento del mismo, es decir, lavado periódico de los estratos del filtro lento.
- c. Verificar que el medio filtrante a utilizar (arena gruesa, arena fina, piedra chancada, carbón activado) no contenga impurezas, ya que pueden disgregarse, alterar los resultados y saturar el sistema.
- d. En la etapa de construcción del sistema de ingreso y salida del agua gris, se debe tener en cuenta que los accesorios empleados deben ser asegurados adecuadamente a fin de evitar posibles fugas durante el tratamiento.
- e. Debido al corto tiempo de operación del sistema, se recomienda continuar con los monitores de la calidad del agua tratada con ensayos a diferentes dosis de coagulante natural, de tal manera que se pueda tratar mayor volumen de agua gris con menor cantidad de coagulante. Dosis óptima.
- f. Si bien, los carbohidratos son los principales responsables de la coagulación, se debe realizar análisis químicos y/o instrumentales más complejos para la caracterización del mucílago, así como las condiciones adecuadas al momento de su extracción del mucílago y los carbohidratos presentes.
- g. Es conveniente lograr el menor porcentaje de Floc posible antes de pasar a la unidad de coagulación, porque cuando menor sea la carga de Floc menor será la utilización de Mucílago, logrando de esta manera reducir la cantidad y el costo de estas variables en el proceso de coagulación.
- h. El residuo de lodo que se producen en el mantenimiento del sistema se puede usar para abonar los jardines y maceteros.

- i. La prueba de jarras y medición de parámetros de la calidad del agua se debe de realizar de manera adecuada, cuidando de cumplir con los procedimientos y metodología referida en la bibliografía consultada, a fin de disminuir el error en los resultados que podría producirse por una inadecuada operación de los equipos y materiales de laboratorio.
- j. En función de los resultados obtenidos, se puede proponer un sistema a escala real como proyecto ambiental para una determinada población a fin de generar beneficio económico, social y ambiental.
- k. Realizar la promoción ante diferentes entidades locales, provinciales y nacionales la utilización de coagulantes naturales para el mejoramiento y tratamiento de las aguas grises.
- l. Es importante que esta investigación sea replicada, con la finalidad de usar otro tipo de coagulante o con la finalidad de realizar la remoción de diferentes tipos de contaminantes, por ejemplo, contaminantes provenientes de aguas residuales industriales o aguas procedentes del sector minero (a través de la remoción de metales).

VIII. REFERENCIAS

- Abraján Villaseñor, M. A. (2008). *Efecto del método de extracción en las características químicas y físicas del mucilago del nopal (Opuntia ficus indica) y estudio de su aplicación como recubrimiento comestible*. España: Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de tecnología de Alimentos.
- Acosta L, Y. (2006). *Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación*. La Habana, Cuba: Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar - ICIDCA.
- Aguero Reyes, A., Rivera Aguirre, R., y Hernández , H. (2005). *Notas sistemáticas y una descripción detallada de Opuntia ficus indica*. México: Investigación de zonas desérticas.
- Aguilar Tumax, C. (2010). *Utilización de aguas grises tratadas y aprovechamiento de aguas pluviales en edificaciones un enfoque ecoenergético*. Guatemala: Facultad de Ingeniería. Guatemala, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Al-Hamaiedeh, H., y Bino, M. (2010). *Efecto de la reutilización de aguas grises tratadas en riego sobre suelos y plantas*. Jordania: ELSEVIER.
- Al-Jayyousi, O. R. (2003). *Greywater reuse: towards sustainable water management*. Malta: ELSEVIER.
- Al-Khalili, R., Sutherland, J., y Folkard, G. (1997). *Filtración con un coagulante natural*. Reino Unido: Universidad de Loughborough.
- Alkhatib R, Y. (2008). *La eficacia del uso de aguas grises a nivel doméstico*. Colorado, USA: Department of Civil and Environmental Engineering. University, Ford Collins.
- Allen, L. (2015). *Manual de diseño para manejo de aguas grises para riego exterior*. Estados Unidos: Greywater action. Versión 2.
- Almendárez, N. (2004). *Comprobación de la efectividad del coagulante (cochifloc) en aguas del Lago de Managua "Piedras Azules"*. Managua, Nicaragua: Revista Iberoamericana de Polímeros.
- Amaya Robles, J. (2009). *Cultivo de Tuna (Opuntia ficus indica)*. La Libertad, Perú: Gerencia Regional Agraria La Libertad.
- ANA. (2013). *Situación actual y perspectivas en el Sector Agua y Saneamiento en el Perú*. Lima, Perú: Autoridad Nacional del Agua.

- Anderson, J. M. (1996). *Current water recycling initiatives in Australia: scenarios for the 21st century*. Australia: Water Science and Technology.
- Andia, Y. (2000). *Evaluación de Plantas y Desarrollo Tecnológico. Tratamiento de Agua: Coagulación Floculación*. Lima, Perú: SEDAPAL.
- Andía, Y. (2000). *Evaluación de Plantas y Desarrollo Tecnológico. Tratamiento de Agua: Coagulación Floculación*. Perú: SEDAPAL.
- Arboleda Valencia, J. (1992). *Teoría y práctica de la purificación del agua*. Bogotá, Colombia: Editorial Acodal.
- Arboleda, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua*". Tomo 1 y 2. Colombia: McGraw-Hill Interamericana, S.A. de C.V., 3ª Edición.
- Ariela Galvis, M. (2013). *Viabilidad técnica y económica del aprovechamiento de aguas grises domésticas (Tesis de maestría)*. Bogotá D.C, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Australian Capital Territory, (. (2004). *Greywater Use. Guidelines for residential properties in Canberra*. Australia: Think water act water.
- Barnes, D., y Mampituyarachichi, T. (1983). *Filtración de agua con ceniza de cascarilla de arroz. Líneas de flotación 2*.
- Barrientos, P. (1983). *Nopal y agaves como recurso de zonas áridas y semiaridas de México*. México: Chapingo-Mexico: Centro de Genética.
- Beale, I. (2013). *Penca Forrajera o Tunal Forrajero (Opuntia ficus indica)*. Catamarca, Argentina: Revista de Divulgación Técnica Agrícola y Agroindustrial.
- Bingley, E, B. (1996). *reywater reuse proposal in relation to the Palmyra Project. Desalination*. Reino Unido: ELSEVIER.
- Birks, R., y Hills, S. (2007). *Caracterización de organismos indicadores y patógenos en aguas grises domésticas para reciclaje*. Alemania: Springer.
- Boisvert, J., Berrak, A., Jolicoeur, C., y Cong Thi. (1997). *Adsorción de fosfato en procesos de floculación de sulfato de aluminio y poli-silicato-sulfato de aluminio*. Quebec, Canadá: ELSEVIER.
- Broekaert, W., Cammue, B., De Bolle, M., Thevissen, K., De Samblanx, G., y Osborn, R. (1997). *Péptidos antimicrobianos de plantas, Revisiones críticas en ciencias de las plantas*. Heverlee, Bélgica: Taylo y Francis Online.

- Buttice, A., Stroot, J., Lim, D., Stroot, P., y Alcantar, N. (2010). *Removal of Sediments and Bacteria From Water Using Green Chemistry*. Eenvironmental Science y Tecnología.
- Camp Dresser y Mckee Inc, (. (1992). *Guidelines for Water Reuse*. EE.UU: United States Environmental Protection Agency.
- Carpinteyro, S. (2011). *Tratamiento de aguas residuales empleando polímeros naturales y biodegradabilidad de los lodos generados*. México: Inst. Politécnico Nacional.
- Carrasco, S. (2017). *Metodología de la investigación científica*. Lima: Editorial San Marcos.
- Center For The Study Of The Built Environment, C. (2003). *A Report on Graywater Reuse in other Countries and its Applicability to Jordan*. Jordania: En: <http://csbe.org/graywater/report/contents.htm>.
- Chang, A, C., Page, A, L., Asano, T, y Hespanhol, I. (1996). *Developing human health-related chemical guidelines for reclaimed wastewater irrigation*. Reino Unido: Water Science and Technology, ELSEVIER.
- Claps, L. H., y Haro, M. E. (2001). *Coccoidea (Insecta: Hemiptera) asociada con Cactaceae en Argentina*. Argentina: Asociación profesional para el desarrollo de cactus.
- Collacci, A. (2018). *La situación de las aguas residuales en Lima*. Lima, Perú: PuntoEdu, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Collazos, C. (2008). *Tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales*. Bogota, Colombia: Universidad Nacional - Facultad de Ingeniería.
- Crook, J., y Surampalli, R. (1996). *Water reclamation and reuse criteria in the US*. Reino Unido: Water Science and Technology.
- De la Rosa, J., y Santana, D. (2001). *El nopal. Usos, manejo agronómico y costes de producción de Mexico*. México: CONAZA-UACH-CIESTAAM.
- Devine, B, Bowden, B, Schlafrig, J, y Fimmel, R. (1998). *Greywater recycling in western Australia*. Australia: Advancing Perth's Eastern Region.
- Dixon, A, Butler, D, y Fewkes, A. (1999). *Water saving potential of domestic water reuse systems using greywater and rainwater in combination*. Reino Unido: Water Science and Technology. ELSEVIER.
- Dorea, C. (2006). *Use of Moringa spp. seeds for coagulation: a review of a sustainable option*. *Water Science and technology - water supply*. Londres, Reino Unido: IWA Publishing.

- Eddy , y Metcalf. (1996). *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento Vertido y*. México: Mc Graw-Hill.
- Environmental Protection Agency, (. (1990). *Terms of Environment: Glossary, Abbreviations and Acronyms*. Reino Unido: En: <http://www.epa.gov/OCEPATERMS/>.
- Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M., y Ledin, A. (2002). *Characteristics of grey wastewater. Urban Water*. Dinamarca: ELSEVIER.
- FAO. (2013). *Afrontar la escasez del agua. Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Fluxá, C. (1991). *Extracción y composición química de mucílago de tuna*. Chile: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas.
- Folkard, G., Sutherland, J., y Grant, W. (1990). *Natural Coagulants for Small-scale Water Treatment: Potential Applications*. Asian Society for Environmental Protection.
- Folke, G. (2000). *Wastewater treatment by greywater separation: Outline for a biologically based greywater purification plant in Sweden*. Suiza: Ecological Engineering, ELSEVIER.
- Franco M, V. (2007). *Tratamiento y reutilización de aguas grises con aplicación a caso en Chile*. Santiago, Chile: Universidad de Chile, Santiago de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemática.
- Friedler E. , Kovalio, R., y Ben-Zvi, A. (2006). *Estudio comparativo de la calidad microbiana de las aguas grises tratadas por tres sistemas de tratamiento in situ*. Suiza : Taylor y Francis Group.
- Fuentes, L., Mendoza, I., Díaz, P., Fernández, Y., Zambrano, Á., y Villegas, Z. (2012). *Potencial coagulante de la tuna Opuntia cochinellifera (l) mill. (cactaceae) en aguas para consumo humano*. Maracibo, Venezuela: Universidad del Zulia.
- Fundación Mazahua. (2010). *écnicas de cultivo, control de plaga y producción de Nopal para su distribución*. México.
- Ganjidoust, H., Tatsumi, K., Yamagishi, T., y Gholian, R. (1997). *Efecto del coagulante sintético y natural sobre la eliminación de lignina de las aguas residuales de pulpa y papel*. Teherán, Irán: ELSEVIER.

- García, B. (2007). *Metodología de extracción in situ de coagulantes naturales para la clarificación de agua superficial. Aplicación en países en vías de desarrollo*. España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Giordani, S., Gonzales, L., Morales, A., Quijano, J., y Tejada, A. (2008). *Factibilidad de Uso de Polímeros para la Clasificación del Agua Potable en la Ciudad de Merida*. U.E. Colegio "La Presentación". Mérida, México: Revista Científica Juvenil .
- Government of Western Australia. Department of Env. (2005). *Code of Practice for the Reuse of Greywater in Western Australia*. Australia: En: http://www.health.wa.gov.au/envirohealth/water/docs/Code_of_Practice_for_the_Reuse_of_Greywater_in_WA.pdf.
- Gregory, J. D., y Lugg, R. B. (1995). *Sanders Revision of the national reclaimed water guidelines. Desalination*. Reino Unido: ELSEVIER.
- Gual Frau, M. (2005). *Reutilización de aguas grises para la descarga de inodoros. Aspectos químicos relacionados*. España: Universitat de les Illes Balears, Facultad de Ciencias.
- Gutiérrez Cortez, E., Rojas Molina, I., Del Real, A., Paredes Martínez, E., y Rodríguez García, M. (2011). *Condiciones de proceso de extracción de mucílago de mucílago de nopal deshidratado. Producción del Nopal y Magüey*.
- Guzmán, L., Villabona, A., y Candelaria, R. (2013). *Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión*. Revista UDCA Actualidad y Divulgación Científica.
- GWI. (2010). Global Water Intelligence.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta ed.). D.F.: McGraw-HillInteramericana.
- Hespanhol, I, y A.M.E. (1994). *Prost WHO guidelines and national standards for reuse and water quality*. Reino Unido: Water Research, ELSEVIER.
- Higgins, J, Warnken, J, Sherman, P, y Teasdale, P. (2002). *Survey of users and providers of recycled water: quality concerns and directions for applied research*. EE.UU: ELSEVIER.
- Imhof, B, y Mühlemann, J. (2005). *Greywater Treatment on Household Level in Developing Countries*. Suiza: Instituto Federal Suizo de Ciencia y Tecnología Acuáticas (EAWAG), Instituto Federal Suizo de Tecnología de Zurich.

- Imhof, B., y Muhlemann, J. (2005). *Tratamiento de aguas grises a nivel de hogares en países en desarrollo*. Suiza: Centro Nacional de Competencia en Investigación.
- Jahn, S. (1988). *Uso de semillas de moringa como coagulantes en países en desarrollo*. EE.UU: Asociación Estadounidense de Obras Hidráulicas.
- Jahn, S.A.A. (1986). *Proper use of African natural coagulants for rural water supplies-research in the Sudan and a guide for new projects*. Eschborn, Alemania: Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ).
- Jefferson, A, Laine, S, Parsons, T, Stephenson, T, y Judd, S. (1999). *Technologies for domestic greywater recycling*. Reino Unido: ELSEVIER.
- Jefferson, A, Laine, S, Stephenson , y Judd, S. (2001). *Advanced biological units processes for domestic water recycling*. Reino Unido: Water Science and Technology.
- Jefferson, Laine, A, Judd, S, y Stephenson, T. (2000). *Membrane bioreactors and their role in wastewater reuse*. Reino Unido: Water Science and Technology.
- Jenssen P, y Vrale L. (2003). *Tratamiento de Aguas Grises Combinando Bio-filtros y Humedales de Tratamiento en Clima Frío*. Noruega: Obtenido de: <http://www2.gtz.de/ecosan/download/ecosan-symposium-Luebek-sesion-2-esp-pdf>.
- Jiménez Antillón, J., Vargas Camareno, M., y Quirós Bustos, N. (2012). *Evaluación de la tuna (Opuntia cochenillifera) para la remoción del color en agua potable*. Costa Rica: Centro de Investigación Protección Ambiental.
- Kawuamura, S. (1991). *Efectividad de los polielectrolitos naturales en el tratamiento de aguas*. EE.UU: Revista de la Asociación Estadounidense de Obras Hidráulicas .
- Kirchmer, C. (1983). *Criterios y Normas de Calidad de Aguas – Agua Potable*. Perú: PE. CEPIS.
- Laines, J, Goñi, J, Howard, A, y Camacho, W. (2008). *Mezclas con potencial coagulante para tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario*. Interciencia.
- Lazarova, V, Hills, S, y Birks, R. (2003). *Using recycled water for non-potable, urban uses: a review with particular reference to toilet flushing*. Francia: Water Science and Technology 3.
- Ledo, P, Lima, R, Paulo, J, y Duarte, M. (2009). *Estudio comparativo de sulfato de aluminio y semillas de moringa oleífera para la depuración de aguas con baja turbiedad*. Información Tecnológica.

- Lee, S., Lee, S., Jang, K., y Lee, T. (1995). *Floculante microbiano de Arcuadendron sp. TS-49*. Pusan, Corea: Biotechnol Lett.
- León, G., y Moscoso, J. (1996). *Curso de tratamiento y uso de*. Lima, Perú: CEPIS/OPS-OMS.
- Li, Z., Boyle, F., y Reynolds, A. (2010). *Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application in Ireland. Desalination 1(3)*. Irlanda: Thecnological University Dublin, Elsevier.
- López Pérez, M. (2018). *Evaluación del uso de la cactácea Opuntia ficus indica como coagulante natural para el tratamiento de aguas*. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria la Molina.
- López, E. (2000). *Utilización de productos naturales en la clarificación de aguas para consumo humano*. Cuba: Facultad de ingeniería Química.
- Loza Cornejo, S., Terrazas, T., y López Mata, L. (2012). *ruit, seeds and germination in five species of globose cactaeae*. Interciencia.
- Madjdoub, H., Roudesli, S., Picton, L., Le Cerf, D., Muller, G., y Grisel, M. (2001). *Prickly pear nopals pectin from Opuntia ficus indica physico-chemical study in dilute and semi-dilute solutions. Carbohydrate Polymers*.
- Mannise, R. (2012). *Método centenario y sustentable para purificar agua, el nopal*. Ecocosas. Enlace: <http://ecocosas.com/eco-ideas/metodo-centenario-y-sustentable-para-purificar-agua-elnopal/>.
- Marecos do Monte, M., Angelakis, N, A., y Takashi, A. (1996). *Necessity and basis for establishment of European guidelines for reclaimed wastewater in the Mediterranean region*. Portugal: ELSEVIER.
- Martínez García, J., y Gonzáles Silgado, L. E. (2012). *Evaluación del poder coagulante de la tuna (Opuntia ficus indica) para la remoción de turbidez y color en aguas crudas*. Colombia: Universidad de Cartagena, Facultad de Ingeniería Química.
- Matos, C., Sampaio, A., y Bentes, I. (2012). *Uso de aguas grises en riego: Características, ventajas e inquietudes*. Portugal: Universidad de Trás-os-Montes e Alto Douro.
- McConn, M., y Nakata, P. (2004). *Oxalate reduces calcium availability in the pads of prickly pear cactus through formation of calcium oxalate crystals*. Journal of Agricultural and food Chemistry.

- McGarvie, D., y Parolis, H. (1981). *Methylation analysis of the mucilage of Opuntia ficus indica*. *Carbohydrate Research*.
- Metcalf y Eddy. (2004). *Wastewater Engineering : Treatment and Reuse*. London: McGraw-Hill.
- Meysami, B., y Kasaeian, A. (2005). *Use of coagulants in treatment of olive oil wastewater model solutions by induced air flotation*. *Bioresource Technology* 96.
- Miller, S., Fugate, E., Oyanedel, V., Smith, J., y Zimmerman, J. (2008). *Toward understanding the efficacy and mechanism of Opuntia spp. as a natural coagulant for potential application in water treatment*. *Environmental Science Technology*.
- Molano, L. (2011). *Las semillas de Moringa Oleífera Lam como alternativa de coagulante natural para purificación de agua*. Colombia: Universidad de Santander.
- Morán D, G., y Alvarado C, D. (2010). *Métodos de investigación*. México: PEARSON.
- Morejón Díaz, B. J. (2017). *Utilización del mucílago de tuna (Opuntia ficus indica) en el mejoramiento de la calidad del agua de consumo humano, en la comunidad de Pusir Grande, Provincia del Carchi*. Ecuador: Universidad Técnica del Norte.
- Morel, A., y Diener, S. (2006). *Greywater Management in Low and Middle-Income Countries, Review of different treatment systems for households or neighbourhoods*. Suiza: Dübendorf, Switzerland.: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag).
- Moreno Pérez, S. (2016). *Disminución de la turbidez del agua del río Crisnejas en la comunidad de Chuquibamba-Cajabamba utilizando Opuntia ficus indica, Aloe vera y Caesalpinia spinosa*. Lima, Perú: Universidad Cesar Vallejo.
- Nahim Granados, L. S. (2020). *Assessment of solar-driven processes and azonation for disinfection, decontamination and reuse of fresh-cut wastewater*. Almería, España: University of Almería.
- Najm, I., Tate, C., y Selby, D. (1998). *Optimización de la coagulación mejorada con PAC: un estudio de caso*. EE.UU: American Water Works Association.
- Narváez, L., Miranda, J., y Narváez, L. (2012). *Remoción de contaminantes de aguas grises mediante el uso de humedales artificiales en viviendas sustentables del estado de Querétaro*. México: ENCUENTRO NACIONAL DE ECOTECNIAS.

- Ndabigengesere, A., Narasiah, K., y Talbot, B. (1995). *Agentes activos y mecanismo de coagulación de aguas turbias utilizando Moringa oleifera*. Quebec, Canadá: ELSEVIER.
- New South Wales Department of Health, N. (2000). *Reutilización de aguas grises en locales domésticos individuales con alcantarillado*. Australia: Environmental Management Systems.
- Nieto, C, y Orellana, V. (2011). *Aplicación del quitosano como promotor de floculación para disminuir la carga contaminante*. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Niño Rodríguez, E., y Martínez Medina, N. (2013). *Estudio de las aguas grises domésticas en tres niveles socioeconómicas de la ciudad de Bogotá*. Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería Civil.
- Nobel, P., Cavalier, J., y Andrade, J. (1992). *Mucílagos en cactus: su capacitancia apoplástica, solutos asociados e influencia en las relaciones entre los tejidos y el agua*. Reino Unido: Oxford University Press.
- Nogués, E, Castro, O, Correa, R, Puricelli, M, Pérez, H, y Béale, I. (2013). *Revalorización del cultivo de la tuna forrajera (Opuntia ficus índica) una alternativa de uso múltiple para las zonas áridas y semiáridas*. Revista de divulgación técnica agrícola y agroindustrial.
- Novoa, S. (2006). *Sobre el Origen de la Tuna en el Perú Algunos alcances*. Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- OEFA. (2014). *Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales*. Lima, Perú: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental.
- Ogeda Báez, L. (2012). *Determinación de la eficiencia de las características coagulantes y floculantes del tropaelum tuberosum, en el tratamiento del agua cruda de la planta de Puengasi de la EPMAPS*. Quito, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, Ingeniería Biotecnología.
- Okuda, T., Baes, A., Nishijima, W., y Okada, M. (2001a). *Aislamiento y caracterización de coagulante extraído de semilla de moringa oleifera mediante solución salina*. Hiroshima, Japón: ELSEVIER.
- Olson, E. et al. (1967). *Residential Wastewater*. Suecia: The Swedish National Institute for Building Research.
- OMS, O. (1998).

- ONU. (2009). *Diez datos sobre la escasez de agua*. Organización Mundial de la Salud.
- Ostolaza Nano, C. (2011). *101 cactus del Perú*. Lima, Perú: MINAM.
- Ottherpohl, R. (2002). *Options for alternative types of sewerage and treatment systems directed to improvement of the overall performance*. Reino Unido: Water Science and Technology.
- Ottosson, J., y Stenstrom, T. (2003). *Contaminación fecal de aguas grises y riesgo microbiano asociado*. Suecia: Elsevier Science.
- Otzen, T., y Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*.
- Özacar, M., y Sengil, I. (2002). *The use of tanins from Turkish acorns (Valonia) in water treatment as a coagulant and coagulant aid*. Turkish J. Eng. Env. Sci.
- Palacios, F. (1991). *Proyecto Ecológico e hidráulico de Tratamiento de Aguas*. Lima, Perú: Primera Ed.
- Palomino, J., Peña, J., Zevallos, G., y Orizano, L. (2015). *Metodología de la investigación*. Lima: San Marcos.
- Parra, Y., Cedeño, M., García, M., Mendoza, I., Gonzáles, Y., y Fuentes, L. (2011). *Clarificación de aguas de alta turbidez empleando el mucílago de Opuntia wentiana (britton y rose) / (cactaceae)*. Venezuela: Universidad del Zulia, Laboratorio de Investigaciones Ambientales.
- Pérez, J. (1977). *Estado del arte – Coagulación*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).
- Pidou, M., Avery, L., Stephenson, T., Jeffrey, P., Parsons, S., Memón, F., y Jefferson, B. (2008). *Chemical solutions for greywater recycling*. Reino Unido: Elsevier.
- Plitt, L. (2010). *Mexicana purifica el agua con un cactus*. México: Mundo Una Voz Independiente:
http://www.bbc.co.uk/mundo/ciencia_tecnologia/2010/05/100510_1500_agua_purificacion_lp.shtml.
- PNUD. (2006). *Informe sobre Desarrollo Humano. Mas alla de la escasez: Poder, pobreza y la crisis mundial del agua*. Madrid, Barcelona, México, Nueva York: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Mundi-Prensa.
- PREDES, C. (2011). *Plan de contingencia ante terremoto Distrito de San Juan de Miraflores y Región Lima*. Lima, Perú: Biblioteca Nacional - Fondo Editorial de PREDES.

- Quirós Bustos, N., Vargas, M., y Jiménez, J. (2010). *Extracción y análisis de polímeros obtenidos a partir de varios productos naturales, para ser usados como potenciales floculantes en el tratamiento de agua para consumo humano*. Costa Rica: CIPA Centro de Investigación en Protección Ambiental.
- Quispe Jiménez, H. G. (2012). *Aplicación del mucílago extraído de nopal (Opuntia ficus indica) en la clarificación del agua del río Uchusuma*. Tacna, Perú: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.
- R. Mars, Ross H, T., Goen Ho, y Kuruvilla Mathew. (1999). *The role of the submergent macrophyte Triglochin huegelii in domestic greywater treatment*. Australia: Ecological Engineering.
- Raghuwanshi, P., Mandloi, M., Sharma, A., Malviya, H., y Chaudhari, S. (2002). *Mejora de la calidad del filtrado utilizando materiales de origen agrícola como coagulante*. Canada: Water Qual.
- Restrepo, H. (2009). *Evaluación del proceso de coagulación – floculación de una planta de tratamiento de agua potable*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Revitt, M. (2011). *The implications of household greywater treatment and reuse for municipal wastewater flows and micropollutant loads*. *Water Research*. Reino Unido: Centro de Investigación de Contaminación Urbana, Universidad de Middlesex.
- Richter, C., Pérez, J., y Cánepa, L. (1984). *Coagulación*. Perú: PE.CEPIS.
- Ríos, J., y Quintana, V. (2004). *Manejo general del cultivo del nopal*. México: Colegio de Posgrado, Puebla, San Luis de Potosí, Tabasco, Veracruz, Córdoba.
- Ríos, R. (2020). Las partes del Nopal. *Arqueología Mexicana*, 07.
- Rivadavía Huamaní, E. L. (2018). *Evaluación de recirculación de aguas grises a nivel domiciliario para abastecimiento de descarga de inodoros en una construcción a escala real, ubicada en la ciudad de Juliaca - 2017*. Juliaca, Perú: Universidad Peruana Unió, Facultad de Ingeniería y Arquitectura.
- Rodríguez González, S., Martínez Flores, H., Ornelas Nuñez, J., y Garnica Romo, M. (2009). *Optimización de la extracción del mucílago del nopal*. Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería.
- Rodriguez, F., y Cantwell, M. (1988). *Developmental changes in composition and quality of prickly pear cactus cladodes (nopalitos)*.

- Rodriguez, J., Rojas, A., Malaver, C., y Lugo, I. (2007). *Evaluación del proceso de coagulación para el diseño de una planta potabilizadora*. Colombia: Umbral Científico, Universidad Manuela Beltrán.
- Rodriguez, L. (2006). *Estabilidad de los Sistemas Coloidales*. España: Universidad de Salamanca.
- Rodríguez, L., De Lira, C., Hernández, E., Cornejo, M., Palacios, A., y Rojas, I. (2007). *Physicochemical Characterization of Nopal Pads (Opuntia ficus indica) and Dry Vacuum Nopal Powders as a Function of the Maturation*. *Plant Foods Hum Nutrition*.
- Rose, J., Sun, G., Gerba, C., y Sinclair, N. (1991). *Calidad microbiana y persistencia de patógenos entéricos en aguas grises de diversas fuentes domésticas*. Arizona, EE.UU: Elsevier Science.
- Ruales, J., y Zumba, J. (1998). *Cuantificación y caracterización de fibra dietética en frutas y hortalizas ecuatorianas*. *Temas en Tecnología de Alimentos*. México: Fibra Dietética. F. CYTED. Dirección de Publicaciones y materiales educativos, Instituto Politecnico Nacional.
- Saenz C. (2006). *Utilización agroindustrial del nopal*. Roma, Italia: Servicios Agrícolas de la FAO.
- Sáenz, C. (2004). *Compuestos funcionales y alimentos derivados de Opuntia spp. El Nopal, Tópicos de actualidad*.
- Saenz, C., y Sepulveda, E. (1993). *Alternativas de industrialización de la tuna (Opuntia ficus indica)*. *Alimentos*.
- Sarar Transformación, S. (2016). *Manual de uso, Operación, Mantenimiento y Construcción*. México: Sarar Transformación, S.C.
- Sepulveda, J., y Graham, B. (2007). *Aerobic metabolic rates of swimming juvenile mako sharks, Isurus oxyrinchus*. *Mar Biol*.
- Severiche, J., y Barrios, R. (2013). *Manual de Métodos Analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas*. Cartagena de Indias, Colombia: Fundación Universitaria Andaluza Inca Garcilazo para eumed.net.
- Sharma, P., Kumari, P., Srivastava, M., y Srivasatava, S. (2006). *Eliminación de cadmio del sistema acuoso por Moringa oleifera Lam sin cáscara. polvo de semillas*. India: Instituto Educativo Dayalbagh.

- Shin, H. S., Lee, S. M., In-Seok, S., Goo-Oung, k., Kyeong-Ho, L., y Song Pilot-scale. (1998). *SBR and MF operation for the removal of organic and nitrogen compounds from greywater*. Alemania: Water Science and Technology.
- Sierra B, R. (1984). *Ciencias sociales, epistemológicas, lógica y metodología*. Madrid, España: PARANINFO S.A.
- Silva Casas, M. N. (2017). *Extracción del mucílago de la penca de tuna y su aplicación en el proceso de coagulación-floculación de aguas turbias*. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Silva, J., Torres, P., y Madera, C. (2006). *Reúso de aguas residuales domésticas en agricultura*. Colombia: Universidad de Colombia.
- Soderberg, C.-A. (2012). *Guías para el reúso de aguas residuales tratadas*. EE.UU: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.
- Stone, R. (1996). *Water efficiency program for Perth. Desalination*. Australia: ELSEVIER.
- Suárez López, J., Jácome Burgos, A., del Río Cambe, H., Torres Sánchez, D., y Ures Rodríguez, P. (2012). *El reciclaje de aguas grises como complemento a las estrategias de gestión sostenible del agua en el medio rural*. Recuperado de: file:///F:/ZZ_T%C3%8DTULO%20ING.%20EJR/1_ANTECEDENTES/1.2.%20DESCRIPCION%20DEL%20PROBLEMA/AGUAS%20GRISES/Suarez2012ReciclajeAgrisesestrategiagestin.pdf. Researchgate.
- SUNASS. (2008). *Diagnóstico situacional de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en las EPS del Perú y propuestas de solución*. Lima, Perú: Biblioteca Nacional del Perú.
- Suzuki, Y. et al. (2006). *Large-Area and On-Site Water Reuse in Japan*. Japón: Ministerio de Tierra, Infraestructura y Transporte (MLIT).
- Tejada Tumba, B. S. (2015). *Efecto del uso del coagulante natural de tuna (Opuntia ficus indica) en la calidad del agua del lado bajo del centro poblado San Antonio, distrito de Moquegua en la provincia Mariscal Nieto, región Moquegua 2015*. Moquegua: Universidad José Carlos Mariategui, Facultad de Ingeniería.
- Terrasa, M, Campomar, J, A., Vaquer, M, y Palma, I. (1987). *l lagunaje: una alternativa para pequeñas comunidades*. España: Catàleg Col·lectiu de les Universitats de Catalunya.
- Trachtenberg,, S., y Mayer, A. (1982). *Biophysical properties of Opuntia ficus indica Mucilage*. Phytochemistry.

- UNESCO. (2017). *Aguas residuales: El recurso desaprovechado*. París, Francia: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
- Uzun, I. (1997). *Fruit and cladodes isosymes in cactus pear*. Food and agriculture organization of the United Nations.
- Vaca-Mier, M., López-Callejas, R., Flores-Rodríguez, J., Terres-Peña, H., Lizardi-Ramos, A., y Rojas-Valencia, M. (2014). *Aplicación de Nopal (Opuntia ficus indica) como coagulante primario de Aguas residuales*. Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencia Ambientales: Investigación, Desarrollo y práctica.
- Van Benchosten, y Edzwarld. (1990). *Aspectos químicos utilizando sales de aluminio. Reacciones hidrolíticas de alumbre y cloruro de polialuminio*. Water Res.
- van der Blik, J., McCormick, P., y Clarke, J. (2014). *En el objetivo para las personas y el planeta: establecimiento y logro de objetivos de desarrollo sostenible relacionados con el agua*. Colombo, Sri Lanka: Instituto Internacional de Gestión del Agua (IWMI).
- Vargas León, L. A. (2015). *Prototipo para la recolección y reutilización de aguas residuales en la sede claustro de la Universidad Católica de Colombia*. Bogotá, Colombia: Universidad Católica de Colombia.
- Vargas, L., Barrenechea, A., Aurazo, M., y Maldonado, V. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría. Tomo I*. Perú: PE. CEPIS/OPS.
- Vásquez, O. (1994). *Extracción de coagulantes naturales del nopal y aplicación en la clarificación de aguas superficiales*. México: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Vasudevan, D., y Gopalakrishna, K. (2002). *Coagulation using ecofriendly natural coagulants. Proceedings of the 26 th WEDC Conference: Sustainable Environmental Sanitation and Water Services*. Calcutta, India.
- Velásquez, E. (1998). *El nopal y su historia*. México: Clio.
- Villabona Ortiz, Á., Paz Astudillo, I. C., y Martínez García, J. (2013). *Caracterización de la Opuntia ficus indica para su uso como coagulante natural*. Colombia: Universidad de Cartagena, Sede Piedra de Bolívar.
- Villanueva, P., y Torrestiana, B. (2012). *Efecto de cambios conformacionales del mucílago del nopal*. España: Academia Española.
- Warner, E. (1972). *Impacto económico de los nuevos procesos de tratamiento de agua*. Asunción: Memorias Simposios Nuevos Métodos de Tratamiento de Agua.

- Weber, W. (1979). *Control de la calidad del agua- Procesos fisicoquímicos*.
- World Health Organization, W. (2006). *Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. Volumen IV: Excreta and Greywater use in Agriculture*. Francia: United Nations Environment Programme.
- Yang, Y., Abdul-Talib, S., Pei, L., Nisan, M., Aisah, S., y Mahyuddin, A. (2008). *A study on cactus Opuntia as natural coagulant in turbid water treatment*. Process Biochemistry.
- Zabrocki, L. (2003). *Caracterizacao da Agua Cinza para Promocao da Sustentabilidade dos Recursos Hídricos*. Brasil: Universidade Federal do Parana.
- Zalukazana, L. et al. (2006). *Plant growth and microbial safety of plants irrigated with greywater*. EE.UU: University of KwaZulu-Natal, Howar College, Durban.
- Zambrano, M., Hernandez, A., y Gallardo, Y. (1998). *Características fisicoquímicas del nopal. Temas en Tecnología*. México: F. CYTED.

ANEXOS

Anexo N° 1: Informes de ensayo

Anexo N° 2: Análisis estadístico

Anexo N° 3: Planos

Anexo N° 4: Presupuesto

Anexo N° 5: Matriz de consistencia

Anexo N° 6: Fotografías

ANEXO N° 1:
INFORMES DE ENSAYO

CARACTERIZACIÓN

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1916747 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					AG-SJM-1 8653832N / 0287033E 10/07/2019 17:20:00 AGUA RESIDUAL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
FECHA DE MUESTREO					
HORA DE MUESTREO					
CATEGORIA					
SUB CATEGORIA					
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis de Campo					
Turbidez	EW_APHA2130B_OPE	NTU	0.10	0.20	640.00
Análisis Físicoquímicos					
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	268.0
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO2/L	1.8	4.5	1,587.3
S.A.A.M.(Detergentes)	EW_ISO16265	mg/L	0.020	0.050	461.960
Aniones					
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	15.040
Nitrito	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.006	0.180

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

En el caso de análisis de campo la fecha de ejecución del mismo corresponde a la fecha de muestreo.

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1916748 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					AG-SJM-2 8653832N / 0287033E 10/07/2019 18:00:00 AGUA RESIDUAL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
FECHA DE MUESTREO					
HORA DE MUESTREO					
CATEGORIA					
SUB CATEGORIA					
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis de Campo					
Turbidez	EW_APHA2130B_OPE	NTU	0.10	0.20	604.00
Análisis Físicoquímicos					
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	240.0
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO2/L	1.8	4.5	1,496.1
S.A.A.M.(Detergentes)	EW_ISO16265	mg/L	0.020	0.050	464.880
Aniones					
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	17.620
Nitrito	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.006	0.200

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

En el caso de análisis de campo la fecha de ejecución del mismo corresponde a la fecha de muestreo.

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1916823 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					AG-SJM-3 8653832N / 0287033E 12/07/2019 16:15:00 AGUA RESIDUAL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
FECHA DE MUESTREO					
HORA DE MUESTREO					
CATEGORIA					
SUB CATEGORIA					
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis de Campo					
Turbidez.	EW_APHA2130B_OPE	NTU	0.10	0.20	712.00
Análisis Fisicoquímicos					
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	294.0
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO2/L	1.8	4.5	1,498.5
S.A.A.M.(Detergentes)	EW_ISO16265	mg/L	0.020	0.050	442.170
Aniones					
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	17.040
Nitrato	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.006	0.312

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

En el caso de análisis de campo la fecha de ejecución del mismo corresponde a la fecha de muestreo.

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1916824 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					AG-SJM-4 8653832N / 0287033E 12/07/2019 18:00:00 AGUA RESIDUAL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
FECHA DE MUESTREO					
HORA DE MUESTREO					
CATEGORIA					
SUB CATEGORIA					
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis de Campo					
Turbidez	EW_APHA2130B_OPE	NTU	0.10	0.20	568.00
Análisis Físicoquímicos					
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	414.0
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO2/L	1.8	4.5	1,505.9
S.A.A.M.(Detergentes)	EW_ISO16265	mg/L	0.020	0.050	435.010
Aniones					
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	16.400
Nitrito	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.006	0.126

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

En el caso de análisis de campo la fecha de ejecución del mismo corresponde a la fecha de muestreo.

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1917445 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					AG-SJM-5 8653832N / 0287033E 15/07/2019 16:10:00 AGUA RESIDUAL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
FECHA DE MUESTREO					
HORA DE MUESTREO					
CATEGORIA					
SUB CATEGORIA					
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis de Campo					
Turbidez	EW_APHA2130B_OPE	NTU	0.10	0.20	617.00
Análisis Físicoquímicos					
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	402.0
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO2/L	1.8	4.5	1,514.3
S.A.A.M.(Detergentes)	EW_ISO16265	mg/L	0.020	0.050	452.170
Aniones					
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	14.870
Nitrito	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.006	0.211

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

En el caso de análisis de campo la fecha de ejecución del mismo corresponde a la fecha de muestreo.

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1917446 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					AG-SJM-6 8653832N / 0287033E 15/07/2019 17:20:00 AGUA RESIDUAL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
FECHA DE MUESTREO					
HORA DE MUESTREO					
CATEGORIA					
SUB CATEGORIA					
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis de Campo					
Turbidez	EW_APHA2130B_OPE	NTU	0.10	0.20	611.00
Análisis Físicoquímicos					
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	376.0
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO2/L	1.8	4.5	1,516.7
S.A.A.M.(Detergentes)	EW_ISO16265	mg/L	0.020	0.050	441.710
Aniones					
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	16.970
Nitrito	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.006	0.203

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

En el caso de análisis de campo la fecha de ejecución del mismo corresponde a la fecha de muestreo.

ENSAYOS EQUIPO PRUEBA DE JARRA

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1917601 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P-1
FECHA DE MUESTREO					18/07/2019
HORA DE MUESTREO					13:05:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis Físicoquímicos					
Turbidez	EW_APHA2130B	NTU	0.1	0.2	317.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	96.3
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO ₂ /L	1.8	4.5	1092.71
S.A.A.M.(Detergentes)	EW_ISO16265	mg/L	0.020	0.050	66.721
Aniones					
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	12.624
Nitrato	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.006	0.343

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1917602 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P-2
FECHA DE MUESTREO					17/07/2019
HORA DE MUESTREO					13:15:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis Físicoquímicos					
Turbidez	EW_APHA2130B	NTU	0.1	0.2	315.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	98.4
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO ₂ /L	1.8	4.5	1,098.8
S.A.A.M.(Detergentes)	EW_ISO16265	mg/L	0.020	0.050	67.102
Aniones					
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	12.633
Nitrato	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.006	0.358

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1917603 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P-3
FECHA DE MUESTREO					18/07/2019
HORA DE MUESTREO					14:25:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis Físicoquímicos					
Turbidez	EW_APHA2130B	NTU	0.1	0.2	431.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	95.1
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO ₂ /L	1.8	4.5	1,017.23
S.A.A.M.(Detergentes)	EW_ISO16265	mg/L	0.020	0.050	67.172
Aniones					
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	4.129
Nitrato	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.006	0.482

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1917604 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P-4
FECHA DE MUESTREO					18/07/2019
HORA DE MUESTREO					14:35:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis Físicoquímicos					
Turbidez	EW_APHA2130B	NTU	0.1	0.2	435.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	94.3
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO ₂ /L	1.8	4.5	1,028.5
S.A.A.M.(Detergentes)	EW_ISO16265	mg/L	0.020	0.050	68.909
Aniones					
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	4.133
Nitrato	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.006	0.499

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1917605 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P-5
FECHA DE MUESTREO					18/07/2019
HORA DE MUESTREO					16:20:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis Físicoquímicos					
Turbidez	EW_APHA2130B	NTU	0.1	0.2	60.2
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	86.5
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO ₂ /L	1.8	4.5	937.80
S.A.A.M.(Detergentes)	EW_ISO16265	mg/L	0.020	0.050	64.128
Aniones					
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	5.712
Nitrato	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.006	0.052

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1917606 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P-6
FECHA DE MUESTREO					18/07/2019
HORA DE MUESTREO					16:41:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis Físicoquímicos					
Turbidez	EW_APHA2130B	NTU	0.1	0.2	63.7
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	87.8
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO ₂ /L	1.8	4.5	934.9
S.A.A.M.(Detergentes)	EW_ISO16265	mg/L	0.020	0.050	66.620
Aniones					
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	5.657
Nitrato	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.006	0.056

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1917912 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P-7
FECHA DE MUESTREO					19/07/2019
HORA DE MUESTREO					13:10:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis Físicoquímicos					
Turbidez	EW_APHA2130B	NTU	0.1	0.2	88.3
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	90.9
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO ₂ /L	1.8	4.5	948.97
S.A.A.M.(Detergentes)	EW_ISO16265	mg/L	0.020	0.050	61.976
Aniones					
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	4.109
Nitrito	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.006	0.117

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1917913 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P-8
FECHA DE MUESTREO					19/07/2019
HORA DE MUESTREO					13:30:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis Físicoquímicos					
Turbidez	EW_APHA2130B	NTU	0.1	0.2	90.5
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	92.2
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO ₂ /L	1.8	4.5	952.60
S.A.A.M.(Detergentes)	EW_ISO16265	mg/L	0.020	0.050	62.412
Aniones					
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	4.112
Nitrito	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.006	0.112

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1917914 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P-9
FECHA DE MUESTREO					19/07/2019
HORA DE MUESTREO					14:20:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis Físicoquímicos					
Turbidez	EW_APHA2130B	NTU	0.1	0.2	91.3
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	77.5
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO ₂ /L	1.8	4.5	919.13
S.A.A.M.(Detergentes)	EW_ISO16265	mg/L	0.020	0.050	55.102
Aniones					
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	4.108
Nitrito	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.006	0.098

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1917915 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P-10
FECHA DE MUESTREO					19/07/2019
HORA DE MUESTREO					14:40:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis Físicoquímicos					
Turbidez	EW_APHA2130B	NTU	0.1	0.2	84.2
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	78.7
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO ₂ /L	1.8	4.5	917.43
S.A.A.M.(Detergentes)	EW_ISO16265	mg/L	0.020	0.050	54.691
Aniones					
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	4.094
Nitrito	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.006	0.101

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1917916 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P-11
FECHA DE MUESTREO					19/07/2019
HORA DE MUESTREO					17:25:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis Físicoquímicos					
Turbidez	EW_APHA2130B	NTU	0.1	0.2	89.7
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	80.1
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO ₂ /L	1.8	4.5	902.89
S.A.A.M.(Detergentes)	EW_ISO16265	mg/L	0.020	0.050	54.783
Aniones					
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	4.032
Nitrito	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.006	0.109

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1917917 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P-12
FECHA DE MUESTREO					19/07/2019
HORA DE MUESTREO					17:45:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis Físicoquímicos					
Turbidez	EW_APHA2130B	NTU	0.1	0.2	92.3
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	81.6
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO ₂ /L	1.8	4.5	902.51
S.A.A.M.(Detergentes)	EW_ISO16265	mg/L	0.020	0.050	56.841
Aniones					
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	4.027
Nitrito	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.006	0.106

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1918009 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P-12
FECHA DE MUESTREO					22/07/2019
HORA DE MUESTREO					13:16:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis Físicoquímicos					
Turbidez	EW_APHA2130B	NTU	0.1	0.2	78.5
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	59.8
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO ₂ /L	1.8	4.5	857.92
S.A.A.M.(Detergentes)	EW_ISO16265	mg/L	0.020	0.050	50.412
Aniones					
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	4.147
Nitrito	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.006	0.088

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1918010 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P-13
FECHA DE MUESTREO					22/07/2019
HORA DE MUESTREO					13:35:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis Físicoquímicos					
Turbidez	EW_APHA2130B	NTU	0.1	0.2	76.8
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	62.6
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO2/L	1.8	4.5	864.00
S.A.A.M.(Detergentes)	EW_ISO16265	mg/L	0.020	0.050	50.456
Aniones					
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	4.141
Nitrito	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.006	0.097

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1918011 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P-14
FECHA DE MUESTREO					22/07/2019
HORA DE MUESTREO					14:24:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis Físicoquímicos					
Turbidez	EW_APHA2130B	NTU	0.1	0.2	64.1
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	51.2
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO2/L	1.8	4.5	810.25
S.A.A.M.(Detergentes)	EW_ISO16265	mg/L	0.020	0.050	49.947
Aniones					
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	4.198
Nitrito	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.006	0.052

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1918012 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P-15
FECHA DE MUESTREO					22/07/2019
HORA DE MUESTREO					14:50:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis Físicoquímicos					
Turbidez	EW_APHA2130B	NTU	0.1	0.2	62.7
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	50.4
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO2/L	1.8	4.5	812.21
S.A.A.M.(Detergentes)	EW_ISO16265	mg/L	0.020	0.050	50.021
Aniones					
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	4.002
Nitrito	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.006	0.049

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1918133 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P-16
FECHA DE MUESTREO					23/07/2019
HORA DE MUESTREO					13:13:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis Físicoquímicos					
Turbidez	EW_APHA2130B	NTU	0.1	0.2	58.5
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	56.9
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO2/L	1.8	4.5	821.12
S.A.A.M.(Detergentes)	EW_ISO16265	mg/L	0.020	0.050	49.381
Aniones					
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	4.014
Nitrito	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.006	0.021

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1918134 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P-17
FECHA DE MUESTREO					23/07/2019
HORA DE MUESTREO					13:37:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis Físicoquímicos					
Turbidez	EW_APHA2130B	NTU	0.1	0.2	60.6
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	58.6
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO ₂ /L	1.8	4.5	814.24
S.A.A.M.(Detergentes)	EW_ISO16265	mg/L	0.020	0.050	48.41
Aniones					
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	4.016
Nitrito	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.006	0.024

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1918135 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P-18
FECHA DE MUESTREO					23/07/2019
HORA DE MUESTREO					14:26:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL
SUBCATEGORIA					AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis Físicoquímicos					
Turbidez	EW_APHA2130B	NTU	0.1	0.2	51.7
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHAS210B	mg/L	1.0	2.6	49.7
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHAS220D	mgO ₂ /L	1.8	4.5	721.21
S.A.A.M.(Detergentes)	EW_ISO16265	mg/L	0.020	0.050	40.992
Aniones					
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	4.082
Nitrito	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.006	0.017

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1918136 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P-19
FECHA DE MUESTREO					23/07/2019
HORA DE MUESTREO					14:54:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis Físicoquímicos					
Turbidez	EW_APHA2130B	NTU	0.1	0.2	50.4
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	49.4
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO2/L	1.8	4.5	720.18
S.A.A.M.(Detergentes)	EW_ISO16265	mg/L	0.020	0.050	42.642
Aniones					
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	4.062
Nitrito	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.006	0.028

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

ANTES DESPUES DE LA PRUEBA EN EL SISTEMA

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1919827 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					AG-UNFV-1 (Predio 7)
FECHA DE MUESTREO					15/08/2019
HORA DE MUESTREO					08:10:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis de Campo					
Turbidez	EW_APHA2130B_OPE	NTU	0.10	0.20	659.00
Análisis Físicoquímicos					
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	494.0
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO2/L	1.8	4.5	2,086.5
S.A.A.M.(Detergentes)	EW_ISO16265	mg/L	0.020	0.050	459.330
Aniones					
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	55.023
Nitrito	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.006	0.350

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

En el caso de análisis de campo la fecha de ejecución del mismo corresponde a la fecha de muestreo.

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1919828 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					AG-UNFV-2 (Predio 7)
FECHA DE MUESTREO					15/08/2019
HORA DE MUESTREO					10:30:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis de Campo					
Turbidez	EW_APHA2130B_OPE	NTU	0.10	0.20	665.00
Análisis Físicoquímicos					
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	500.0
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO2/L	1.8	4.5	2,093.3
S.A.A.M.(Detergentes)	EW_ISO16265	mg/L	0.020	0.050	453.350
Aniones					
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	52.999
Nitrito	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.006	0.290

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

En el caso de análisis de campo la fecha de ejecución del mismo corresponde a la fecha de muestreo.

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1919840 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					AG-UNFV-3 (Predio 7)
FECHA DE MUESTREO					16/08/2019
HORA DE MUESTREO					09:20:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis de Campo					
Turbidez	EW_APHA2130B_OPE	NTU	0.10	0.20	573.00
Análisis Físicoquímicos					
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	395.0
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO2/L	1.8	4.5	2,097.3
S.A.A.M.(Detergentes)	EW_ISO16265	mg/L	0.020	0.050	478.270
Aniones					
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	49.673
Nitrato	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.006	0.390

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

En el caso de análisis de campo la fecha de ejecución del mismo corresponde a la fecha de muestreo.

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1919841 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					AG-UNFV-4 (Predio 7)
FECHA DE MUESTREO					16/08/2019
HORA DE MUESTREO					10:30:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis de Campo					
Turbidez	EW_APHA2130B_OPE	NTU	0.10	0.20	587.00
Análisis Físicoquímicos					
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	401.0
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO2/L	1.8	4.5	2,103.1
S.A.A.M.(Detergentes)	EW_ISO16265	mg/L	0.020	0.050	482.01
Aniones					
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	46.591
Nitrato	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.006	0.490

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

En el caso de análisis de campo la fecha de ejecución del mismo corresponde a la fecha de muestreo.

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1920015 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P-1
FECHA DE MUESTREO					15/08/2019
HORA DE MUESTREO					10:15:00
CATEGORIA					AGUA NATURAL
SUB CATEGORIA					AGUA SUPERFICIAL AGUA DE RIO
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis Físicoquímicos					
Turbidez	EW_APHA2130B	NTU	0.1	0.2	76.9
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	135.1
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO ₂ /L	1.8	4.5	597.3
S.A.A.M.(Detergentes)	EW_ISO16265	mg/L	0.020	0.050	40.786
Aniones					
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	17.69
Nitrito	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.006	0.079

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1920016 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P-2
FECHA DE MUESTREO					15/08/2019
HORA DE MUESTREO					10:25:00
CATEGORIA					AGUA NATURAL
SUB CATEGORIA					AGUA SUPERFICIAL AGUA DE RIO
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis Físicoquímicos					
Turbidez	EW_APHA2130B	NTU	0.1	0.2	79.5
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	133.5
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO ₂ /L	1.8	4.5	597.5
S.A.A.M.(Detergentes)	EW_ISO16265	mg/L	0.020	0.050	44.644
Aniones					
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	19.75
Nitrito	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.006	0.095

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1920017 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P-3
FECHA DE MUESTREO					15/08/2019
HORA DE MUESTREO					14:10:00
CATEGORIA					AGUA NATURAL
SUB CATEGORIA					AGUA SUPERFICIAL AGUA DE RIO
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis Físicoquímicos					
Turbidez	EW_APHA2130B	NTU	0.1	0.2	77.8
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	139.7
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO ₂ /L	1.8	4.5	632.8
S.A.A.M.(Detergentes)	EW_ISO16265	mg/L	0.020	0.050	45.641
Aniones					
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	17.76
Nitrito	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.006	0.081

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1920018 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P-4
FECHA DE MUESTREO					15/08/2019
HORA DE MUESTREO					14:25:00
CATEGORIA					AGUA NATURAL
SUB CATEGORIA					AGUA SUPERFICIAL AGUA DE RIO
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis Físicoquímicos					
Turbidez	EW_APHA2130B	NTU	0.1	0.2	78.6
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	140.5
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO ₂ /L	1.8	4.5	636.4
S.A.A.M.(Detergentes)	EW_ISO16265	mg/L	0.020	0.050	47.421
Aniones					
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	19.62
Nitrito	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.006	0.087

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1920019 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P-5
FECHA DE MUESTREO					15/08/2019
HORA DE MUESTREO					16:00:00
CATEGORIA					AGUA NATURAL
SUB CATEGORIA					AGUA SUPERFICIAL AGUA DE RIO
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis Físicoquímicos					
Turbidez	EW_APHA2130B	NTU	0.1	0.2	79.9
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	127.3
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO ₂ /L	1.8	4.5	549.1
S.A.A.M.(Detergentes)	EW_ISO16265	mg/L	0.020	0.050	39.211
Aniones					
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	16.11
Nitrito	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.006	0.080

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1920020 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P-6
FECHA DE MUESTREO					15/08/2019
HORA DE MUESTREO					16:20:00
CATEGORIA					AGUA NATURAL
SUB CATEGORIA					AGUA SUPERFICIAL AGUA DE RIO
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis Físicoquímicos					
Turbidez	EW_APHA2130B	NTU	0.1	0.2	84.9
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	130.1
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO2/L	1.8	4.5	548.3
S.A.A.M.(Detergentes)	EW_ISO16265	mg/L	0.020	0.050	38.493
Aniones					
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	17.83
Nitrito	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.006	0.078

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1920057 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P-7
FECHA DE MUESTREO					16/08/2019
HORA DE MUESTREO					09:15:00
CATEGORIA					AGUA NATURAL
SUB CATEGORIA					AGUA SUPERFICIAL
					AGUA DE RIO
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis Físicoquímicos					
Turbidez	EW_APHA2130B	NTU	0.1	0.2	71.5
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	131.3
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO ₂ /L	1.8	4.5	604.3
S.A.A.M.(Detergentes)	EW_ISO16265	mg/L	0.020	0.050	41.102
Aniones					
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	19.23
Nitrito	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.006	0.077

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1920058 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P-8
FECHA DE MUESTREO					16/08/2019
HORA DE MUESTREO					10:30:00
CATEGORIA					AGUA NATURAL
SUB CATEGORIA					AGUA SUPERFICIAL AGUA DE RIO
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis Físicoquímicos					
Turbidez	EW_APHA2130B	NTU	0.1	0.2	69.1
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	129.9
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO ₂ /L	1.8	4.5	604.1
S.A.A.M.(Detergentes)	EW_ISO16265	mg/L	0.020	0.050	39.308
Aniones					
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	17.65
Nitrito	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.006	0.087

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1920059 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P-9
FECHA DE MUESTREO					16/08/2019
HORA DE MUESTREO					14:20:00
CATEGORIA					AGUA NATURAL
SUB CATEGORIA					AGUA SUPERFICIAL AGUA DE RIO
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis Físicoquímicos					
Turbidez	EW_APHA2130B	NTU	0.1	0.2	73.8
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	137.5
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO ₂ /L	1.8	4.5	637.8
S.A.A.M.(Detergentes)	EW_ISO16265	mg/L	0.020	0.050	41.728
Aniones					
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	16.94
Nitrito	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.006	0.081

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1920060 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P-10
FECHA DE MUESTREO					16/08/2019
HORA DE MUESTREO					14:35:00
CATEGORIA					AGUA NATURAL
SUB CATEGORIA					AGUA SUPERFICIAL AGUA DE RIO
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis Físicoquímicos					
Turbidez	EW_APHA2130B	NTU	0.1	0.2	74.4
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	139.1
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO ₂ /L	1.8	4.5	642.8
S.A.A.M.(Detergentes)	EW_ISO16265	mg/L	0.020	0.050	51.760
Aniones					
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	17.98
Nitrito	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.006	0.075

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1920061 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P-11
FECHA DE MUESTREO					16/08/2019
HORA DE MUESTREO					16:10:00
CATEGORIA					AGUA NATURAL
SUB CATEGORIA					AGUA SUPERFICIAL AGUA DE RIO
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis Físicoquímicos					
Turbidez	EW_APHA2130B	NTU	0.1	0.2	78.9
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	135.7
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO ₂ /L	1.8	4.5	578.7
S.A.A.M.(Detergentes)	EW_ISO16265	mg/L	0.020	0.050	41.276
Aniones					
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	18.47
Nitrito	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.006	0.088

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1920062 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P-12
FECHA DE MUESTREO					16/08/2019
HORA DE MUESTREO					16:35:00
CATEGORIA					AGUA NATURAL
SUB CATEGORIA					AGUA SUPERFICIAL AGUA DE RIO
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis Físicoquímicos					
Turbidez	EW_APHA2130B	NTU	0.1	0.2	81.3
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	134.5
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO ₂ /L	1.8	4.5	582.9
S.A.A.M.(Detergentes)	EW_ISO16265	mg/L	0.020	0.050	42.186
Aniones					
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	20.17
Nitrito	EW_EPA300_0	mg/L	0.003	0.006	0.088

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

ANEXO N° 2:
ANÁLISIS ESTADÍSTICO

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PRUEBA ANOVA CON SPSS

Estadística Evilson.sav [ConjuntoDatos1] - IBM SPSS Statistics Editor de datos

Archivo Editar Ver Datos Transformar Analizar Gráficos Utilidades Ampliaciones Ventana Ayuda

	Nombre	Tipo	Anchura	Decimales	Etiqueta	Valores	Perdidos	Columnas	Alineación	Medida	Rol
1	Coagulante	Numérico	8	3	Dosis (g)	Ninguno	Ninguno	8	Centrado	Escala	Entrada
2	pH	Numérico	8	2	pH	Ninguno	Ninguno	8	Centrado	Escala	Entrada
3	conductividad	Numérico	8	2	Conductividad (...)	Ninguno	Ninguno	8	Centrado	Escala	Entrada
4	TDS	Numérico	8	1	TDS (mg/L)	Ninguno	Ninguno	8	Centrado	Escala	Entrada
5	SST	Numérico	8	1	SST (mg/L)	Ninguno	Ninguno	8	Centrado	Escala	Entrada
6	Coagulante2	Numérico	8	3	Dosis (gr)	Ninguno	Ninguno	8	Centrado	Escala	Entrada
7	Turbidez	Numérico	8	2	Turbidez (NTU)	Ninguno	Ninguno	8	Derecha	Escala	Entrada
8	DBO	Numérico	8	1	DBO (mg/L)	Ninguno	Ninguno	8	Centrado	Escala	Entrada
9	DQO	Numérico	8	1	DQO (mg/L)	Ninguno	Ninguno	8	Centrado	Escala	Entrada
10	Detergente	Numérico	8	2	Detergente (mg...	Ninguno	Ninguno	8	Centrado	Escala	Entrada
11	Fosfato	Numérico	8	2	Fosfato (mg/L)	Ninguno	Ninguno	8	Centrado	Escala	Entrada
12	Nitrito	Numérico	8	3	Nitrito (mg/L)	Ninguno	Ninguno	8	Centrado	Escala	Entrada
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											

Vista de datos Vista de variables

IBM SPSS Statistics Processor está listo Unicode:ON

17°C Nublado 16:32 25/10/2021

Estadística Evilson.sav [ConjuntoDatos1] - IBM SPSS Statistics Editor de datos

Archivo Editar Ver Datos Transformar Analizar Gráficos Utilidades Ampliaciones Ventana Ayuda

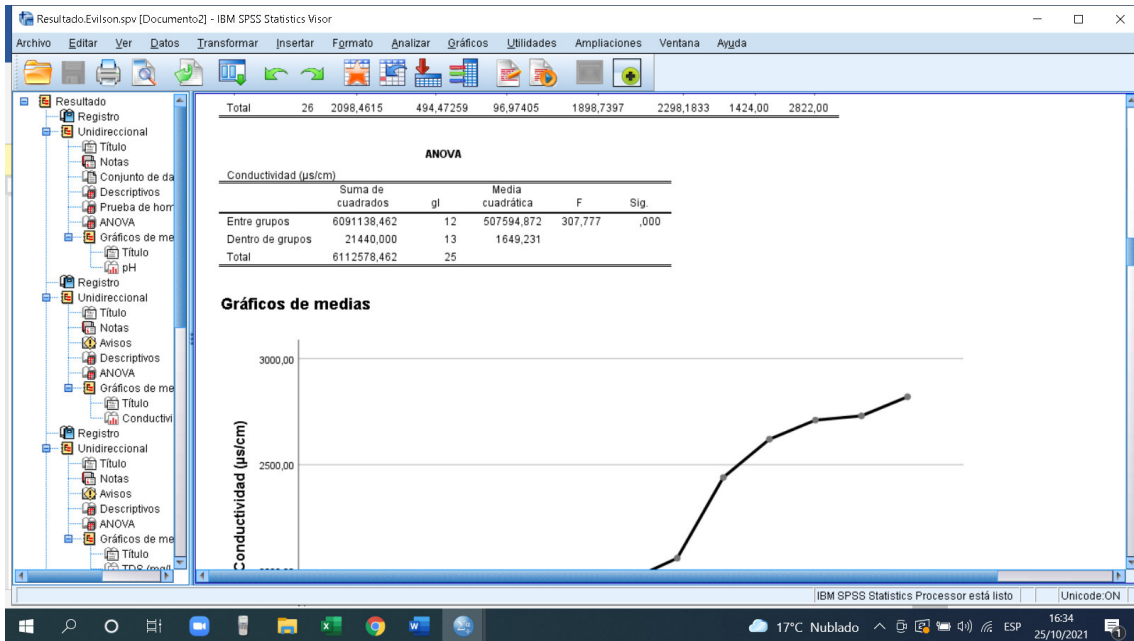
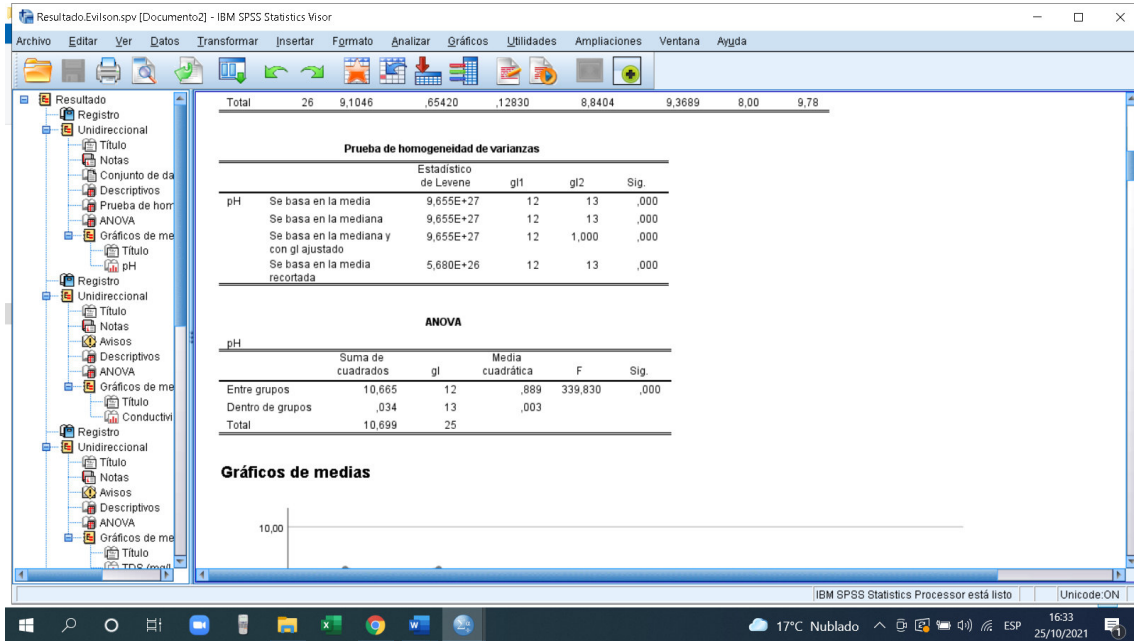
Visible: 12 de 12 variables

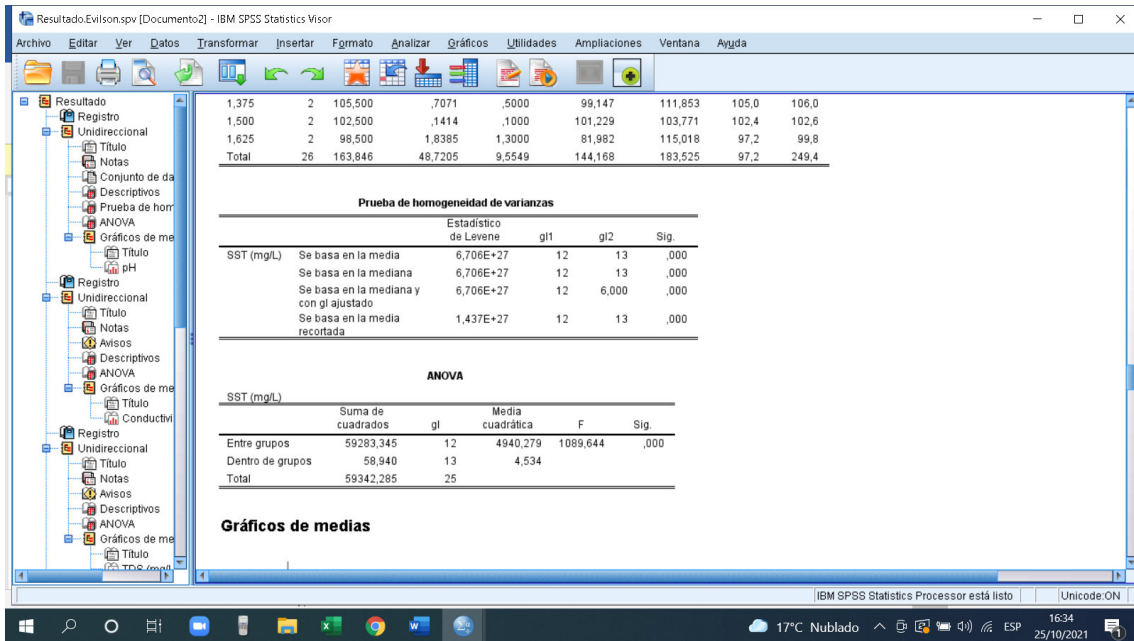
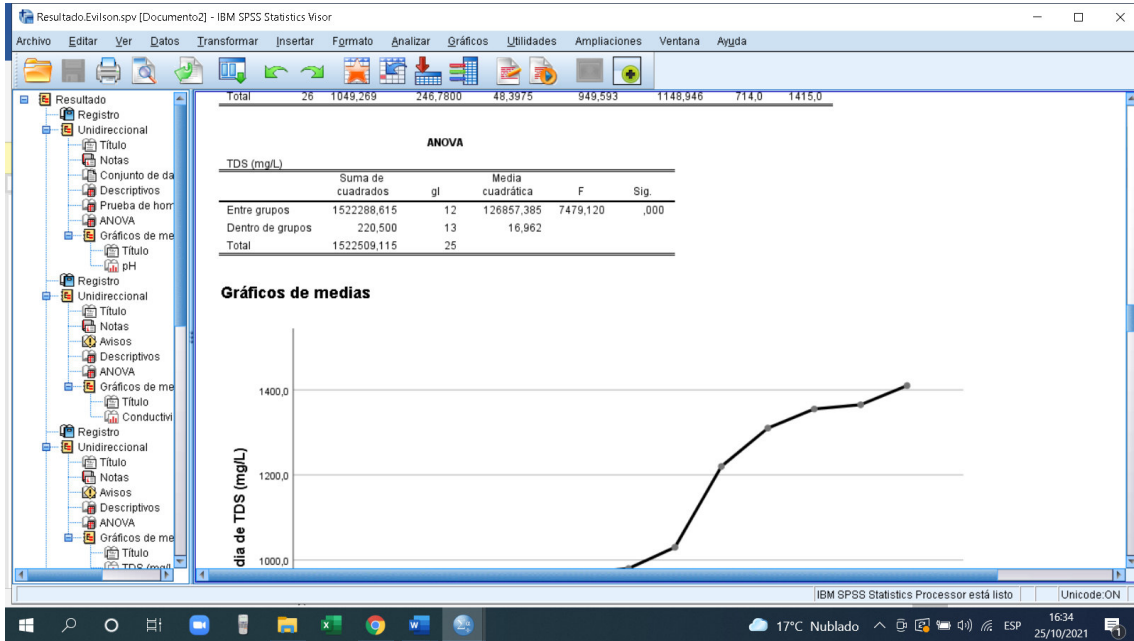
	Coagulante	pH	conductividad	TDS	SST	Coagulante2	Turbidez	DBO	DQO	Detergente	Fosfato	Nitrito	var	var	var
1	,125	9,73	1424,00	714,0	247,2	,375	317,00	96,3	1092,7	66,72	12,64	,343			
2	,125	9,77	1436,00	716,0	249,4	,375	315,00	98,4	1098,8	.	12,63	,368			
3	,250	9,74	1468,00	738,0	218,7	1,000	431,00	95,1	1017,2	.	4,12	,482			
4	,250	9,72	1492,00	742,0	222,1	1,000	435,00	94,3	1028,5	.	4,13	,499			
5	,375	9,72	1548,00	824,0	216,3	1,625	60,20	86,5	937,8	.	5,71	,052			
6	,375	9,78	1752,00	828,0	212,9	1,625	63,70	87,8	934,9	.	5,65	,056			
7	,500	9,69	1742,00	866,0	201,4	2,250	88,30	90,9	949,0	.	4,10	,117			
8	,500	9,63	1738,00	874,0	198,8	2,250	90,50	92,2	952,0	.	4,11	,112			
9	,625	9,48	1697,00	853,0	198,6	2,875	91,30	77,5	919,0	.	4,10	,098			
10	,625	9,68	1703,00	846,0	196,7	2,875	84,20	78,7	917,0	.	4,09	,101			
11	,750	9,56	1938,00	973,0	171,7	.	.	.	.	.	.	.
12	,750	9,60	1942,00	967,0	169,0	.	.	.	.	.	.	.
13	,875	9,50	1956,00	979,0	167,0	.	.	.	.	.	.	.
14	,875	9,52	1964,00	981,0	165,0	.	.	.	.	.	.	.
15	1,000	8,96	2055,00	1032,0	150,4	.	.	.	.	.	.	.
16	1,000	9,00	2065,00	1028,0	149,5	.	.	.	.	.	.	.
17	1,125	8,89	2446,00	1218,0	129,7	.	.	.	.	.	.	.
18	1,125	8,79	2434,00	1222,0	135,5	.	.	.	.	.	.	.
19	1,250	8,52	2618,00	1315,0	126,1	.	.	.	.	.	.	.
20	1,250	8,48	2622,00	1305,0	121,0	.	.	.	.	.	.	.

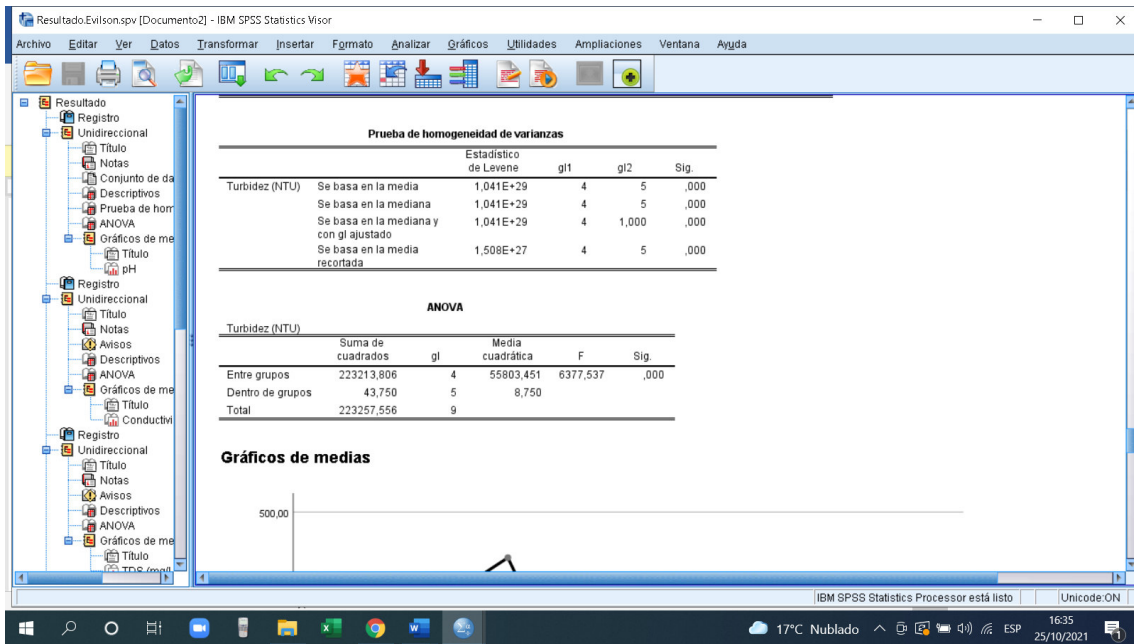
Vista de datos Vista de variables

IBM SPSS Statistics Processor está listo Unicode:ON

17°C Nublado 16:33 25/10/2021







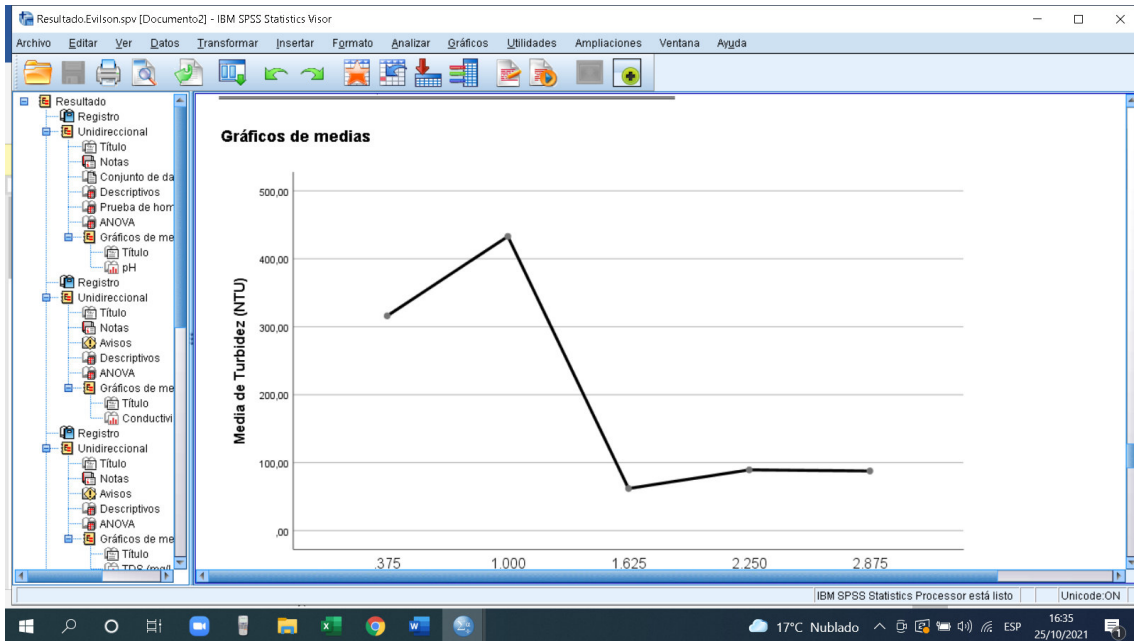
Prueba de homogeneidad de varianzas

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Turbidez (NTU)	Se basa en la media	1,041E+29	4	5	,000
	Se basa en la mediana	1,041E+29	4	5	,000
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	1,041E+29	4	1,000	,000
	Se basa en la media recortada	1,508E+27	4	5	,000

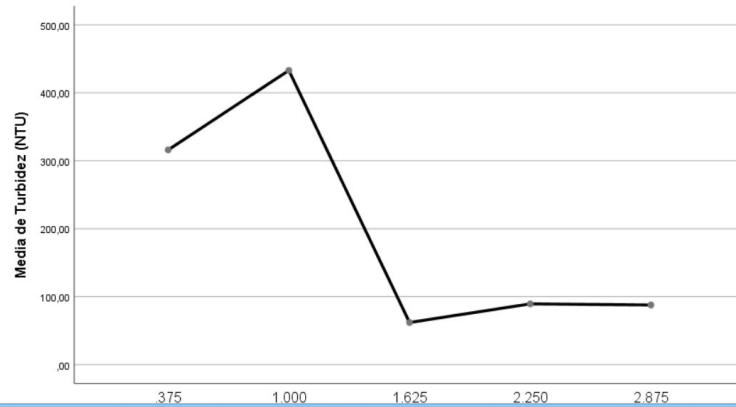
ANOVA

Turbidez (NTU)	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	223213,806	4	55803,451	6377,637	,000
Dentro de grupos	43,750	5	8,750		
Total	223257,556	9			

Gráficos de medias



Gráficos de medias



Resultado Evilson.spv [Documento2] - IBM SPSS Statistics Visor

Archivo Editar Ver Datos Transformar Insertar Formato Analizar Gráficos Utilidades Ampliaciones Ventana Ayuda

Resultado

- Registro
- Unidireccional
 - Título
 - Notas
 - Conjunto de datos
 - Descriptivos
 - Prueba de homogeneidad
 - ANOVA
 - Gráficos de media
 - pH
- Registro
- Unidireccional
 - Título
 - Notas
 - Avisos
 - Descriptivos
 - ANOVA
 - Gráficos de media
 - Conductividad
- Registro
- Unidireccional
 - Título
 - Notas
 - Avisos
 - Descriptivos
 - ANOVA
 - Gráficos de media
 - Conductividad

	Se basa en la mediana	1,118E+27	4	5	,000
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	1,118E+27	4	1,471	,000
	Se basa en la media recortada	6,209E+26	4	5	,000
Fosfato (mg/L)	Se basa en la media	5,282E+26	4	5	,000
	Se basa en la mediana	5,282E+26	4	5	,000
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	5,282E+26	4	2,000	,000
	Se basa en la media recortada	5,282E+26	4	5	,000
Nitrato (mg/L)	Se basa en la media	7,172E+28	4	5	,000
	Se basa en la mediana	7,172E+28	4	5	,000
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	7,172E+28	4	1,000	,000
	Se basa en la media recortada	5,464E+28	4	5	,000

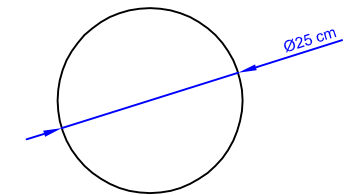
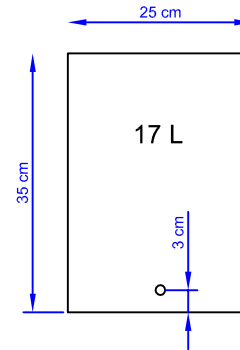
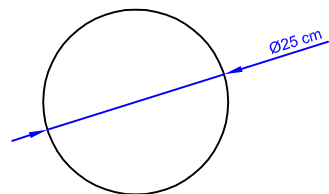
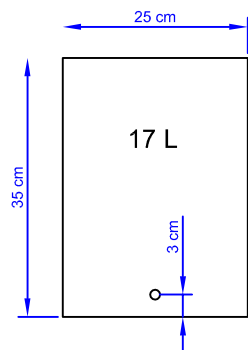
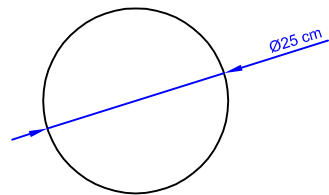
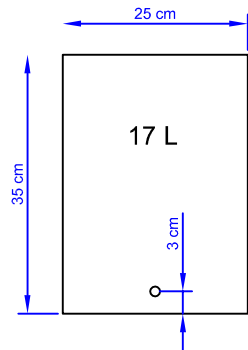
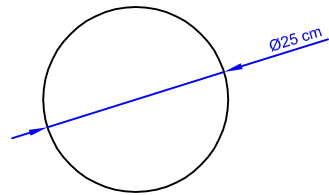
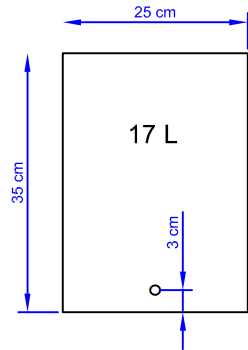
ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
DQO (mg/L)	Entre grupos	43494,117	4	10873,529	585,568	,000
	Dentro de grupos	92,846	5	18,569		
	Total	43586,963	9			
Fosfato (mg/L)	Entre grupos	109,559	4	27,390	68474,225	,000
	Dentro de grupos	,002	5	,000		
	Total	109,561	9			
Nitrato (mg/L)	Entre grupos	,287	4	,072	1271,195	,000
	Dentro de grupos	,000	5	,000		

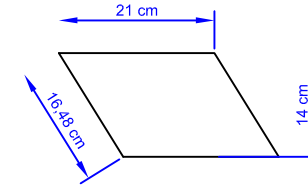
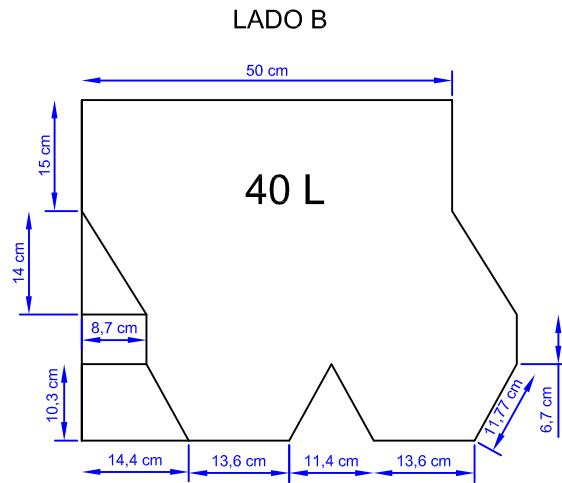
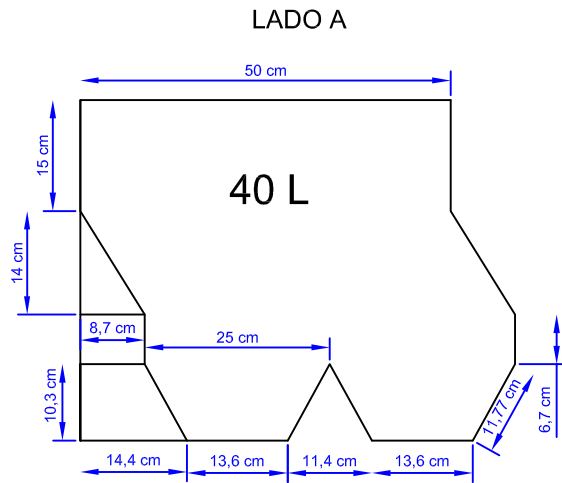
IBM SPSS Statistics Processor está listo | Unicode ON

17°C Nublado | 16:35 | 25/10/2021

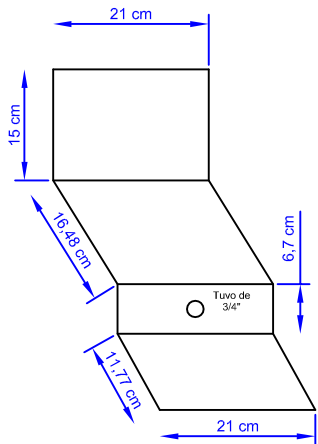
ANEXO N° 3:
PLANOS



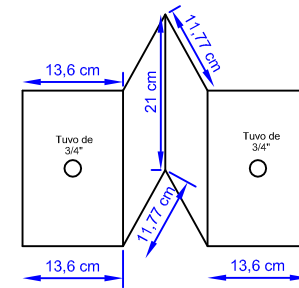
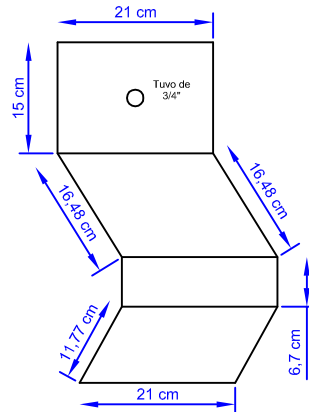
	UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL	
	FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO	
TEMA: Eficiencia de la <i>Opuntia ficus indica</i> como coagulante para el tratamiento de las aguas residuales domésticas grises en el AA.HH Villa Solidaridad - San Juan de Miraflores		
COMPONENTES DE LA UNIDAD DE COAGULACIÓN		
Elaborado por: Evilson Jaco Rivera	Docente Asesor: Dr. Noé S. Zamora Talaverano	PLANO N°: 1
Fecha: Julio-2019	ESCALA: 1:100 REGIÓN: LIMA	



LADO C



LADO D



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA,
AMBIENTAL Y ECOTURISMO

TEMA: Eficiencia de la *Opuntia ficus indica* como coagulante para el tratamiento de las aguas residuales domésticas grises en el AA.HH Villa Solidaridad - San Juan de Miraflores

COMPONENTES DE LA UNIDAD DE SEDIMENTACIÓN

Elaborado por:
Evilson Jaco Rivera

Docente Asesor:
Dr. Noé S. Zamora Talaverano

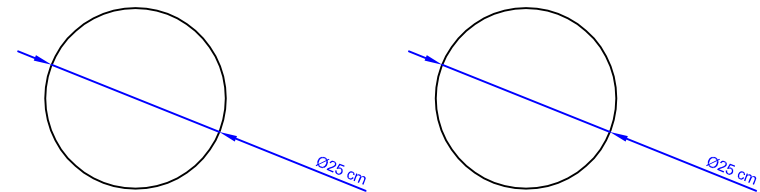
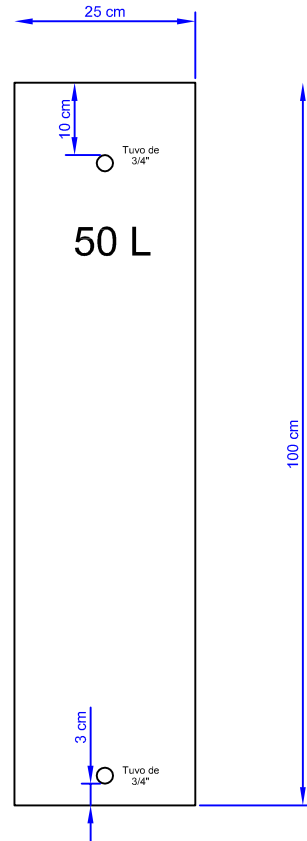
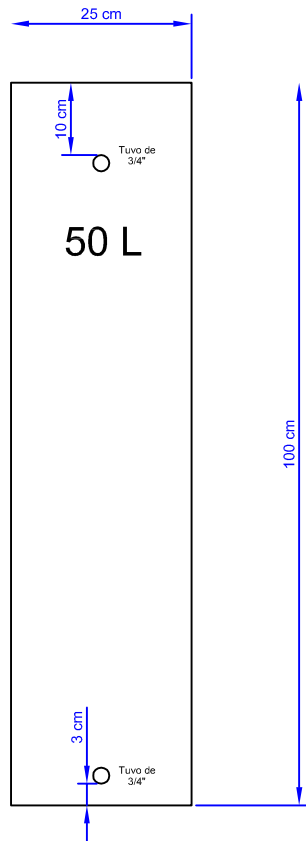
PLANO N°:

2

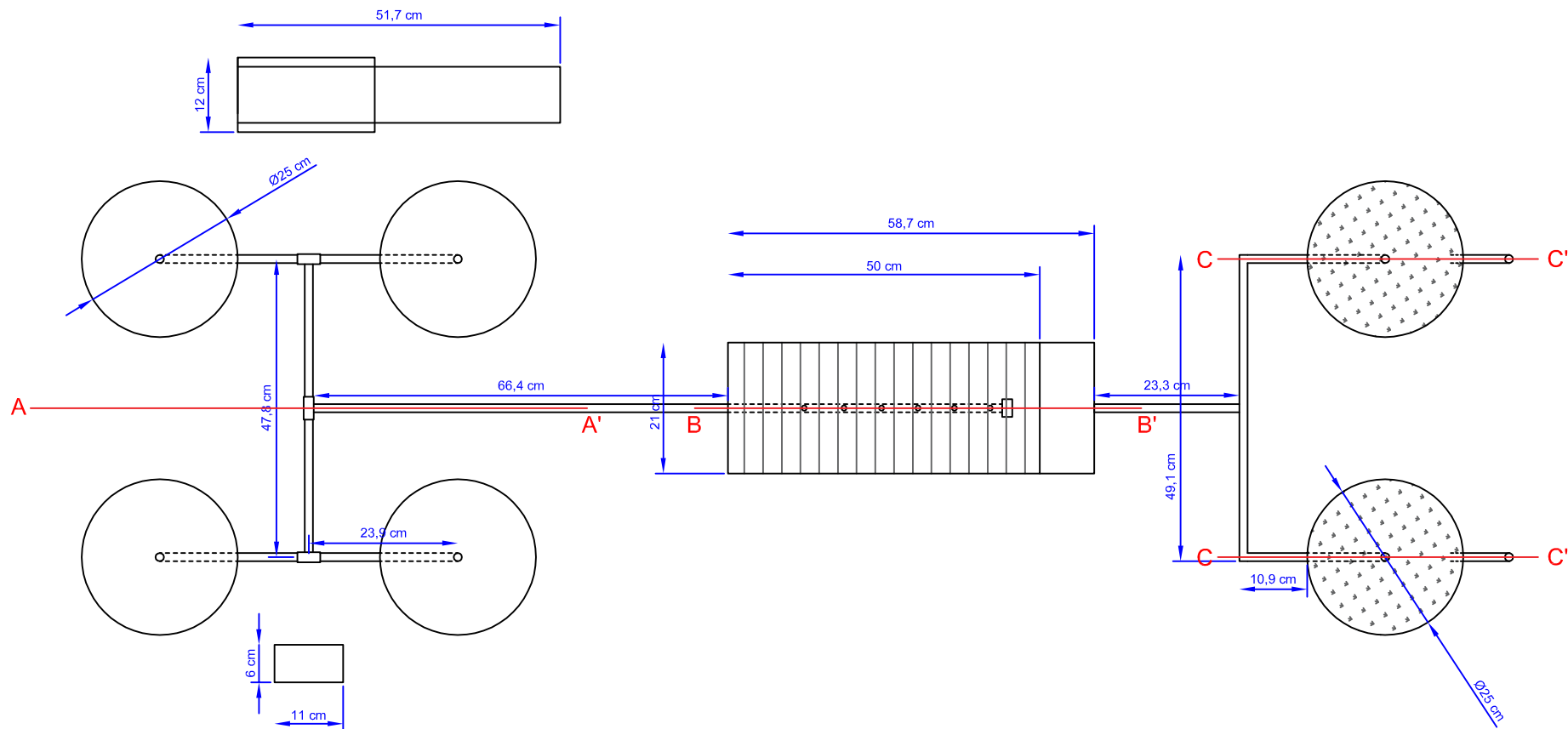
Fecha: Julio-2019

ESCALA: 1:100

REGIÓN: LIMA



	UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL	
	FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO	
TEMA: Eficiencia de la <i>Opuntia ficus indica</i> como coagulante para el tratamiento de las aguas residuales domésticas grises en el AA.HH Villa Solidaridad - San Juan de Miraflores		
COMPONENTES DE LA UNIDAD DE FILTRACIÓN		
Elaborado por: Evilson Jaco Rivera	Docente Asesor: Dr. Noé S. Zamora Talaverano	PLANO N°: 3
Fecha: Julio-2019	ESCALA: 1:100 REGIÓN: LIMA	

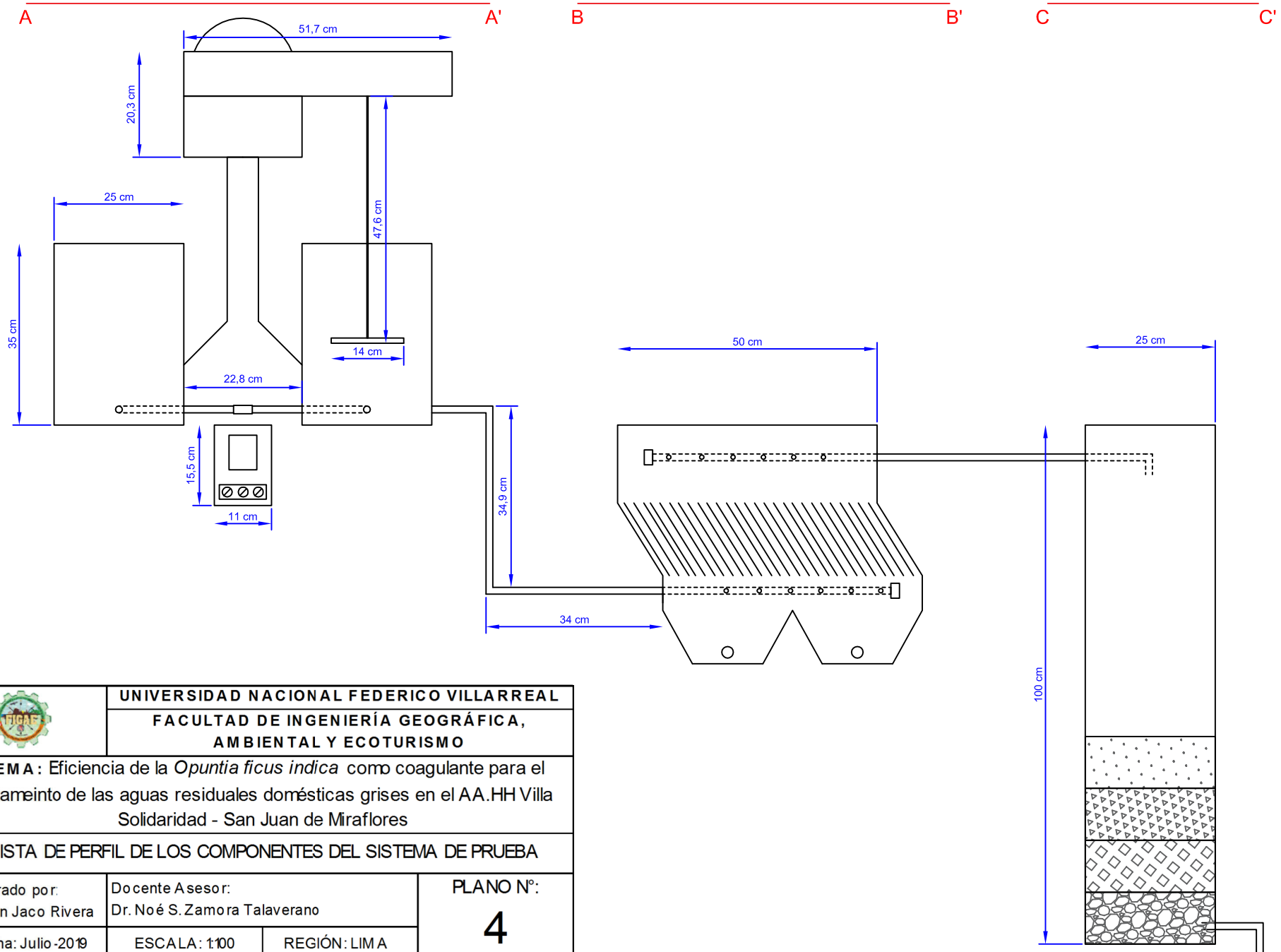


UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA,
AMBIENTAL Y ECOTURISMO

TEMA: Eficiencia de la *Opuntia ficus indica* como coagulante para el tratamiento de las aguas residuales domésticas grises en el AA.HH Villa Solidaridad - San Juan de Miraflores

VISTA EN PLANTA DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE PRUEBA

Elaborado por: Evilson Jaco Rivera	Docente Asesor: Dr. Noé S. Zamora Talaverano	PLANO N°: 5
Fecha: Julio-2019	ESCALA: 1:100		REGIÓN: LIMA



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA,
AMBIENTAL Y ECOTURISMO

TEMA: Eficiencia de la *Opuntia ficus indica* como coagulante para el tratamiento de las aguas residuales domésticas grises en el AA.HH Villa Solidaridad - San Juan de Miraflores

VISTA DE PERFIL DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE PRUEBA

Elaborado por:
Evison Jaco Rivera

Docente Asesor:
Dr. Noé S. Zamora Talaverano

PLANO N°:

4

Fecha: Julio-2019

ESCALA: 1:100

REGIÓN: LIMA

ANEXO N° 4:
PRESUPUESTO

N°	GASTO ESPECÍFICA/ SUBESPECÍFICA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDAD	COSTO UNIT. S/.	FINANCIAMIENTO UNFV S/.	FINANCIAMIENTO PERSONAL S/.
Construcción del sistema experimental							
1	Tubo PVC	De 3/4" de diámetro	2	m	23	46	
2	Llave de paso PVC	De 3/4" sin rosca	6	-	33	198	
3	Reductor de tubo PVC	De 2" a 1/2 "	4	-	9	36	
4	Válvula de compuerta	De 3/4" "	2	-	6	12	
5	Arena gruesa	Topex	40	kg	7	280	
6	Arena fina	Martell	40	kg	5	200	
7	Grava	De río	40	kg	5	200	
8	Gravilla	De río	40	kg	5	200	
9	Piedra chancada	Topex	40	kg	6	240	
10	Carbón activado	Vegetal	15	kg	30	450	
11	Algodón enrollado	6 rollos	6	kg	10	60	
12	Opuntia ficus	Pencas frescas	10	kg	20	200	
13	Tableros de plástico oficio	Clip board oficio, para apuntes	3	-	10	30	
14	Pegamento PVC	Color azul	5	-	15	75	
15	Guantes para construcción	De tela y jebe	2	-	15	30	
SUB-TOTAL						2257	
Servicio de análisis de laboratorio							
16	Servicio de análisis de laboratorio	Laboratorio externo	10	-	250	2500	

N°	GASTO ESPECÍFICA/ SUBESPECÍFICA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDAD	COSTO UNIT. S/.	FINANCIAMIENTO UNFV S/.	FINANCIAMIENTO PERSONAL S/.
17	Agua destilada		20	L	2	40	
18	Solución buffer 4		4	ml	10	40	
19	Solución buffer 7		4	ml	10	40	
20	Cloruro de sodio		4	mg	10	40	
21	Papel tornasol		1	-	17	17	
22	Tiosulfato de sodio		4	mg	10	40	
23	Hidróxido de sodio		4	mg	10	40	
24	Yoduro de sodio		4	mg	10	40	
25	R-1 sulfato de manganeso		4	mg	10	40	
26	Guantes quirúrgico	De laboratorio una caja	1	-	30	30	
27	Reactivo R-2 hidróxido de sodio		4	mg	10	40	
28	Papel filtro		1	-	8	8	
SUB-TOTAL						2915	
Servicio de confección acrílica							
29	Tanques coaguladores	volumen 15 L	4	L	200	800	
30	Tanque sedimentador	volumen 30 L	1	L	400	400	
31	Tanques de filtro	volumen 45 L	2	L	400	800	
SUB-TOTAL						2000	

N°	GASTO ESPECÍFICA/ SUBESPECÍFICA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDAD	COSTO UNIT. S/.	FINANCIAMIENTO UNFV S/.	FINANCIAMIENTO PERSONAL S/.
Servicio de confección metálica							
32	Estante de Tanques coaguladores	Soporte metálico para los tanques coaguladores	1	m	800	600	200
33	Estante de Tanques de filtro	Soporte metálico para el tanques de filtro	1	m	200	200	
34	Estante de Tanque sedimentador	Soporte metálico para el tanque sedimentador	1	m	305	305	
35	Barras metálicas para estabilizar los soportes	Sujetar las patas de las estructuras	4	m	75	-	300
36	Servicio de armado y ensamblado del sistema experimental		1	-	800	550	250
37	Pintura	Evitar la corrosión	1	-	200	-	200
SUB-TOTAL						1655	950
Materiales de escritorio							
38	Laptop	AZUS Core i7	1	-	4000	-	4000
39	Marcador		5	-	10	50	

N°	GASTO ESPECÍFICA/ SUBESPECÍFICA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDAD	COSTO UNIT. S/.	FINANCIAMIENTO UNFV S/.	FINANCIAMIENTO PERSONAL S/.
40	Caja de lapiceros	Azul y negro	2	-	20	40	
41	Hojas boom para copias e impresiones		1	-	200	200	
SUB-TOTAL						290	4000
Servicio de mantenimiento de equipos de laboratorio							
42	Bomba de vacío		1	-	200	-	200
43	Potenciómetro		1	-	200	-	200
44	Turbidímetro		1	-	200	-	200
SUB-TOTAL						-	600
Servicio de transporte							
45	Movilidad y traslado de materiales	Desde el lugar de compra hasta el lugar de ejecución del prototipo	1	-	2500	1500	1000
46	Viáticos		1	-	2383	2383	
SUB-TOTAL						3883	1000
Sistema de coagulación							
47	Motor de 220 voltios	Para girar las paletas del tanque coagulador	4	-	500	1000	1000

N°	GASTO ESPECÍFICA/ SUBESPECÍFICA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDAD	COSTO UNIT. S/.	FINANCIAMIENTO UNFV S/.	FINANCIAMIENTO PERSONAL S/.
48	Reductor de frecuencia	Para variar la velocidad de las paletas	4	-	500	1000	1000
Equipo de laboratorio							
49	Multiparámetro	Para medida de temperatura, pH, salinidad, TDS, conductividad, OD	1	-	10000	10000	
SUB-TOTAL						12000	2000
50	Mano de obra						10000
TOTAL						25 000	18 550
						S/. 43 550	

ANEXO N° 5:
MATRIZ DE CONSISTENCIA

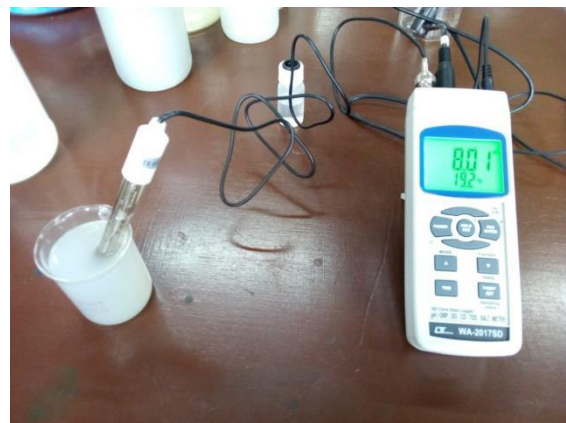
EFICIENCIA DE LA *Opuntia ficus indica* COMO COAGULANTE PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS GRISES EN EL AA.HH VILLA SOLIDARIDAD – SAN JUAN DE MIRAFLORES

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	MÉTODO	INDICADORES
<p>Problema principal</p> <p>¿Cuál es la eficiencia de la <i>Opuntia ficus indica</i> como coagulante natural de tipo vegetal para el tratamiento de las aguas residuales domésticas grises y su uso en riego no restringido de vegetales en el Asentamiento Humano Villa Solidaridad - San Juan de Miraflores?</p> <p>Problemas específicos</p> <p>¿Cuáles son los niveles de concentración de los parámetros físico-químicos de las aguas residuales domésticas grises antes del tratamiento con el coagulante <i>Opuntia ficus indica</i> en el Asentamiento Humano Villa Solidaridad - San Juan de Miraflores?</p> <p>¿Cuál es la dosis adecuada de la <i>Opuntia ficus indica</i> como coagulante en el tratamiento de aguas residuales domésticas grises en el Asentamiento Humano Villa Solidaridad - San Juan de Miraflores?</p> <p>¿Cómo se diseñará e implementará un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas grises con el coagulante <i>Opuntia ficus indica</i> en el Asentamiento Humano Villa Solidaridad - San Juan de Miraflores a una escala de prueba?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Evaluar la eficiencia de la <i>Opuntia ficus indica</i> como coagulante natural de tipo vegetal para el tratamiento de las aguas residuales domésticas grises, mediante prueba de jarras y el análisis de parámetros físico-químicos, con la finalidad de utilizarlas para riego no restringido de vegetales en el Asentamiento Humano Villa Solidaridad - San Juan de Miraflores.</p> <p>Objetivos específicos</p> <p>Determinar los niveles de concentración de los parámetros físico-químicos de las aguas residuales domésticas grises antes del tratamiento con el coagulante <i>Opuntia ficus indica</i> en el Asentamiento Humano Villa Solidaridad - San Juan de Miraflores.</p> <p>Establecer la dosis adecuada de la <i>Opuntia ficus indica</i> como coagulante en el tratamiento de aguas residuales domésticas grises mediante ensayo de jarras.</p> <p>Diseñar e implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas grises a una escala de prueba.</p>	<p>La aplicación de la <i>Opuntia ficus indica</i>, como coagulante natural de tipo vegetal, es eficiente para el tratamiento de aguas residuales domésticas grises, comparando de forma referencial las concentraciones de los parámetros físico-químicos del agua tratada con los Estándares de Calidad Ambiental aprobados mediante Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, para el riego de vegetales y bebida de animales Subcategoría D1: Riego de vegetales (Agua para riego no restringido), destinadas para el riego en el Asentamiento Humano Villa Solidaridad - San Juan de Miraflores.</p>	<p>Variable Independiente</p> <p>Coagulante <i>Opuntia ficus indica</i></p> <p>Variable dependiente</p> <p>Tratamiento de aguas residuales domésticas grises</p>	<p>Tipo investigación</p> <p>Aplicada</p> <p>Diseño</p> <p>Experimental</p> <p>Nivel</p> <p>Explicativo</p> <p>Ámbito temporal y espacial</p> <p>El desarrollo del proyecto se llevó a cabo entre los meses enero y diciembre de 2019, en el Asentamiento Humano Villa Solidaridad, específicamente en la 2° Etapa</p> <p>Muestra</p> <p>120 litros de aguas residuales domésticas grises</p> <p>Instrumento</p> <p>Hoja de anotaciones (Pruebas de Laboratorio, Pruebas de Jarras)</p>	<p>Variable Independiente</p> <p>Dosis de coagulante natural (gl)</p> <p>Variable Independiente</p> <p>Temperatura (° C)</p> <p>Potencial de hidrógeno (Unidad de pH)</p> <p>Salinidad (0/00)</p> <p>Conductividad eléctrica ($\mu S/cm$)</p> <p>Sólidos suspendidos totales (mg/l)</p> <p>Sólidos totales disueltos (mg/l)</p> <p>Turbiedad (UNT)</p> <p>Demanda biológica de oxígeno (mg/l)</p> <p>Demanda química de oxígeno (mg/l)</p> <p>Nitrito (mg/l)</p> <p>Fosfato (mg/l)</p> <p>Volumen de agua residual doméstica (ml)</p>

ANEXO N° 6:
FOTOGRAFÍAS

Figura

Determinación de la conductividad eléctrica, TDS, temperatura, salinidad y pH



Figura

Reducción y secado de la pulpa de cactus (Opuntia ficus indica)



Figura

Molienda y tamizado de la harina de tuna (Opuntia ficus indica)



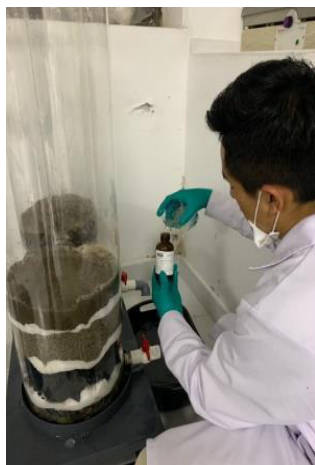
Figura

Acondicionamiento del equipo de prueba de jarras (Floculador Programable)



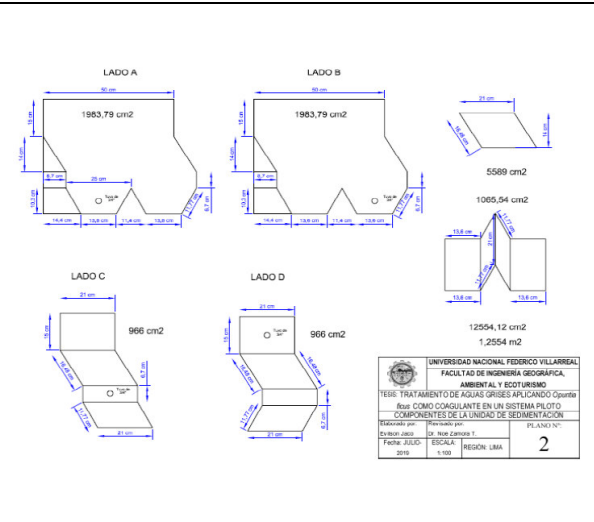
Figura

Muestras para el análisis de los parámetros fisicoquímicos y orgánicos



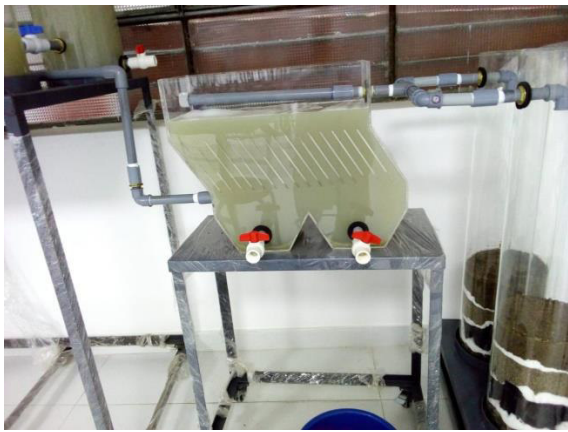
Figura

Diseño y construcción del sistema a escala de prueba (Sistema Gray Water)



Figura

Pruebas en el sistema a escala de prueba (Sistema Gray Water)



Figura

Sistema Gray Water

