

**MEJORAMIENTO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
PLUVIALES Y GRISES PROVENIENTES DEL LAVADO DE ROPA, PARA LA
REUTILIZACIÓN EN BATERÍAS SANITARIAS, LAVADO DE PISOS, RIEGO DE
PLANTAS ENTRE OTRAS.**

**DANIEL MOISES CORREDOR DIAZ
RAMZI YOUSSEF JAIMES SANTOS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2015

**MEJORAMIENTO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
PLUVIALES Y GRISES PROVENIENTES DEL LAVADO DE ROPA, PARA LA
REUTILIZACIÓN EN BATERÍAS SANITARIAS, LAVADO DE PISOS, RIEGO DE
PLANTAS ENTRE OTRAS.**

TESIS DE GRADO

**DANIEL MOISES CORREDOR DIAZ
RAMZI YOUSSEF JAIMES SANTOS**

**Trabajo de grado para optar el título de
Ingenieros Químicos**

**DIRECTOR
DR. DEBORA ALCIDA NABARLATZ
CODIRECTOR:
Ing. BENJAMÍN MANCERA BRAVO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2015

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por habernos acompañado y guiado a lo largo de la carrera, por ser nuestra fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarnos una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad. A nuestras familias por el apoyo incondicional en cada momento de nuestras vidas, en especial en esta etapa final de la carrera.

Al Ingeniero Benjamín Bravo por la vinculación al macro proyecto y su constante asesoría y orientación en su desarrollo; a la ingeniera Débora Nabarlatz, docente de la Universidad Industrial de Santander que nos dirigió en parte del proyecto. Al ingeniero Luis Eugenio Prada Director del Parque Tecnológico Guatiguará, por facilitarnos el laboratorio para culminar nuestras pruebas.

RESUMEN

TITULO: MEJORAMIENTO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS PLUVIALES Y GRISES PROVENIENTES DEL LAVADO DE ROPA, PARA LA REUTILIZACIÓN EN BATERÍAS SANITARIAS, LAVADO DE PISOS, RIEGO DE PLANTAS ENTRE OTRAS*.

AUTORES: CORREDOR DIAZ, Daniel Moisés y JAIMES SANTOS, Ramzi Youssef**

PALABRAS CLAVES: agua gris, agua lluvia, floculante, coagulante, PAC líquido, dosis óptima, depuración, remoción.

DESCRIPCION:

En este proyecto de investigación se realizó la implementación de una planta de tratamiento de aguas grises en un sistema de ahorro del recurso ya instalado en una residencia ubicada en el barrio San Alonso, de la ciudad de Bucaramanga, del departamento de Santander, la residencia se encuentra ubicada en estrato 4 con un grupo familiar de 7 personas y cuenta con tres plantas, siendo la última donde se encuentra instalado el sistema de ahorro que se mejoró con la implementación del sistema de tratamiento.

Se procedió a remodelar el sistema de almacenamiento de aguas grises y lluvias separando el sistema en dos tratamientos: uno para agua grises y otro para aguas lluvias. Se diseñó el sistema de tratamiento de aguas grises incorporando los procesos de sedimentación, decantación, coagulación, floculación, cloración y por último la filtración; se practicaron las respectivas pruebas de laboratorio para encontrar las dosis óptimas en la parte de floculación ensayando con cuatro diferentes tipos de floculantes disponibles en el mercado, posteriormente se realizó prueba de jarras para encontrar la dosis optima del cloro; logrando que el agua proveniente del lavado de ropa, ya sea de lavadora o a mano, salga a las baterías sanitarias con unas condiciones físicoquímicas mejoradas para ser reutilizada en los quehaceres domésticos bajo la normatividad colombiana.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías físicoquímicas, Ingeniería Química. Director: Ph.D. Débora Alcida Nabarlatz.

ABSTRACT

TITLE: IMPROVEMENT OF A SYSTEM OF STORM WATERS RAINWATER AND WATERS GRAYS FROM THE LAUNDRY FOR REUSE IN SANITARY BATTERIES, WASHING FLOORS, WATERING PLANTS, AND OTHERS

AUTHORS CORREDOR DIAZ, Daniel Moises y JAIMES SANTOS Ramzi Youssef**

KEYWORDS: gray water, rain water, flocculant, coagulant, PAC liquid, optimal dose, depuration, removal.

DESCRIPTION:

In this research project was the implementation of a greywater treatment plant on a system of saving of the resource already installed in a residence located in the barrio San Alonso, of the city of Bucaramanga, Department of Santander, the residence is located in tier 4 with a family group of 7 people and has three plants and the last where the saving system that is improved is installed with the implementation of the treatment system.

Proceeded to reshape the storage of grey water and rainfall system separating system in two treatments: one for water gray and another for rain water. We designed the greywater treatment system incorporating the processes of sedimentation, decanting, coagulation, flocculation, chlorination and last filtration; respective laboratory tests were carried out to find the optimum dose in the part of flocculation rehearsing with four different types of commercially available flocculants, subsequently performed optimal test jars to find the dose of chlorine; obtaining water from clothes washing, either washer or hand, exit sanitary batteries with improved physico-chemical conditions to be reused in chores under Colombian legislation.

* Project of degree

** Physicochemical Engineering Faculty, Chemical Engineering. Director: Ph.D. Débora Alcida Nabarlatz.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	16
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
2. OBJETIVO GENERAL.....	19
2.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS	19
3. ESTADO DEL ARTE	20
4. MARCO CONCEPTUAL.....	24
4.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.....	24
4.1.1 Turbiedad.....	24
4.1.2 Sólidos solubles e insolubles.....	24
4.1.3 Color	25
4.1.4 Olor y sabor.....	25
4.1.5 Temperatura.....	25
4.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS	25
4.2.1 Aceites y grasas	26
4.2.2 Acidez.....	26
4.2.3 Agentes espumantes.....	26
4.2.4 Alcalinidad.....	26
4.2.5 Aluminio.....	27
4.2.6 Ph	27
4.2.7 Sustancias minerales	27
4.2.8 Dureza.....	27
4.2.9 Fluoruros	28
4.2.10 Fosfatos.....	28
4.2.11 Materia orgánica.....	28
4.2.12 Nitrógeno.....	29
4.2.13 Azufre	29
4.2.14 Oxígeno disuelto (OD).....	29

4.2.15 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....	29
4.3 TRATAMIENTO Y USO DEL AGUA.....	30
4.4 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	30
4.4.1 Tratamiento Primario.....	30
4.4.2 Tratamiento Secundario	32
4.4.3 Tratamiento Terciario	33
5. METODOLOGÍA.....	35
5.1 REVISION BIBLIOGRÁFICA	35
5.2 DESCRIPCION DEL SISTEMA ANTERIOR	36
5.3 ELECCION Y DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA GRIS Y PLUVIAL	36
5.3.1 Búsqueda de la dosis para la clarificación del agua gris.....	36
5.3.2 Diseño sistema de filtración.	39
6. RESULTADOS Y DISCUSIONES	41
6.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ACTUAL.....	41
6.2 Caracterización fisicoquímica de las aguas grises y aguas pluviales.....	43
6.3 MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	43
6.4 DEFINICIÓN DE LAS ETAPAS Y PROCESOS PARA EL TRATAMIENTO ...	46
6.5 ELECCIÓN DEL FLOCULANTE ÓPTIMO	47
6.6 SISTEMA DE FILTRACION	51
7. CONCLUSIONES.....	54
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
BIBLIOGRAFÍA.....	59
ANEXOS	62

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Caracterización del Agua gris y pluvial Fuente: Laboratorio PSL PROANALISIS LTDA, Bucaramanga.....	43
Tabla 2. Comparativo de volúmenes antes y después.	45
Tabla 3. Dosis óptima de diferentes coagulantes.	48
Tabla 4. Dosis óptima para el pac líquido.	48
Tabla 5. Comparativo económico de los floculantes.....	50
Tabla 6. Dosis optima del cloro	50

LISTA DE FIGURAS

Ilustración 1. Metodología del proyecto	35
Ilustración 2. Cálculo dosis óptima PAC líquido y Cloro 90%	38
Ilustración 3. Equipo de Jarras (Laboratorio de química UTS).	39
Ilustración 4. Sistema de tratamiento actual.	42
Ilustración 5. Sistema para el llenado el tanque con agua potable o agua tratada.	42
Ilustración 6. Sistema de recolección de aguas grises antes y después de la modificación.	44
Ilustración 7. Sistema de almacenamiento de agua lluvia.	45
Ilustración 8. Filtro de guata.	52

LISTA DE GRÁFICOS

Grafico 1. Dosis óptima de PAC líquido.....	49
---	----

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A (informe de resultados de agua gris PSL ANALISIS LTDA).....	62
ANEXO B (informe de resultados de agua lluvia PSL ANALISIS LTDA).	63
ANEXO C (ficha tecnica del policloruro de aluminio PAC).....	64
ANEXO D (ficha tecnica del alumbre tipo A).....	65
ANEXO E (ficha tecnica del alumbre tipo B).....	67

ABREVIATURAS

°C	Grados Centígrados.
cm	Centímetros.
DBO	Demanda Bilógica De Oxígeno.
DQO	Demanda Química De Oxígeno.
g/mol	Gramos / Mol.
m ³	Metros Cúbicos.
m ³ /d	Metros Cúbicos / Día.
MBR	Reactor De Membrana.
mg/L	Miligramos Por Litro.
mgCaCO ₃ /L	Miligramos De Carbonato de Calcio / Litro.
mgMBAS/L	Miligramos De Sustancia Activa De Azul De Metileno Por Litro.
mgO ₂ /L	Miligramos De Oxígeno / Litro.
mm	Milímetros.
mWs Cm ²	Miliwatts Por Centímetro Cuadrado.
N	Normalidad.
PAC	Policloruro De Aluminio.
RBC	Contactador Biológico Rotativo.
rpm	Revoluciones Por Minuto.
SST	Sólidos Suspendidos Totales.
TOC	Carbono Orgánico Total.
Tot-N	Nitrógeno Total.
Tot-P	Fosforo Total.
UNT ó NTU	Unidades Nefelométricas De Turbiedad.
UV	Ultravioleta.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la implementación de procesos o sistemas de ahorro y uso eficiente del agua en las unidades residenciales, ha sido un tema de investigación; puesto que la contaminación del recurso hídrico se hace cada vez más notoria por las actividades antropológicas y el desaprovechamiento de las aguas lluvias. En algunas ciudades del país se ha hecho necesaria la implementación de planes de racionamiento del agua, a pesar de ser uno de los países con mayor número de fuentes hídricas en el mundo. Esto es, debido al derroche del recurso hídrico en los hogares colombianos debido a que la cultura aún es desinteresada por la preservación del medio ambiente y sus recursos naturales. La implementación de dichos sistemas de ahorro es una tecnología novedosa que se puede incorporar en hogares y edificaciones, ayudando así a mal gastar menos el agua y contribuir a la mitigación de un mayor impacto ambiental ocasionado por las aguas negras a nuestras fuentes hídricas. Pero dichos sistemas de ahorros deben llevar consigo, un sistema de tratamiento y depuración de agua, garantizando una calidad físico-química necesaria para su reutilización dentro de las actividades hogareñas.

Un sistema de tratamiento de aguas, debe contar con unas etapas mínimas de depuración y remoción de carga contaminante o sólidos suspendidos en ella. Dichas etapas son materia de revisión bibliográfica y de investigación para decidir cuál tipo de proceso es el necesario a implementar en el sistema de tratamiento.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Asociado al creciente deterioro de los recursos ambientales, se ha generado la necesidad de identificar mecanismos que permitan la continuidad de las actividades antropogénicas bajo los principios de sostenibilidad. El saneamiento básico en hogares e instituciones, es un tema que poco se ha trabajado en función del desarrollo tecnológico y social del país; así mismo es uno de los campos de acción con mayor diversidad de problemas; esto permite implementar proyectos medio ambientales para garantizar el consumo seguro, eficiente e integral del agua y disminuir la proporción en vertimientos de aguas grises, o convertir estas últimas en aguas menos contaminadas o útiles en sus trayectos.

Para conseguir un uso y ahorro eficiente del agua, se puede actuar en los diferentes equipos de consumo doméstico mejorando su rendimiento en: grifería, inodoros, cisternas, lavadoras, lavavajillas, etc., y también, sobre las costumbres de ducharse en vez de bañarse, no lavarse los dientes con la llave abierta; pero aún, se puede mejorar el uso del agua utilizada alargando el ciclo de vida en las residencias, es decir si se reutiliza y adicionalmente se disminuye el volumen de aguas residuales.

Actualmente el gasto doméstico diario por persona es de 129 litros aproximadamente, y la mitad provienen de la ducha y de la cisterna [1]; mientras que el gasto de agua potable por actividades como el lavado de ropa y lavadero es aproximadamente 20% del total consumido, el cual se puede reutilizar en otras actividades como las baterías sanitarias, riego, lavado de pisos etc. Pero para tales usos es necesario practicarle un tratamiento de mejoramiento de calidad del recurso, para su posterior reutilización y ahorro; puesto que las aguas grises poseen grandes cargas de sólidos totales, sólidos volátiles, suspendidos, tensoactivos y grasas [2].

El presente trabajo consiste en mejorar el sistema de ahorro de aguas grises ubicado en una residencia familiar situada en la meseta de Bucaramanga, Santander, el cual carece del adecuado tratamiento físico-químico para su reutilización en cisternas y lavado de pisos, asimismo, se plantea mejorar los tanques de almacenamiento del sistema inicial los cuales son de poca capacidad y adecuarlos para la recolección diferenciada de agua gris y agua pluvial.

2. OBJETIVO GENERAL

Diseñar, construir y evaluar el funcionamiento de una planta de tratamiento de aguas grises y pluviales, en una residencia urbana modelo ubicada en la ciudad de Bucaramanga.

2.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- I. Caracterizar las corrientes de agua gris y agua de lluvia a tratar a partir de los parámetros fisicoquímicos como pH, sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos volátiles, DBO, DQO, turbiedad, grasas; del agua gris y agua de lluvia a tratar para la toma de decisiones en los tratamientos de mejoramiento de la calidad.
- II. Evaluar las diferentes posibilidades de tratamientos primario, secundario o terciario para obtener la calidad de agua apropiada para su uso final en baterías sanitarias, lavado de pisos y riego de plantas.
- III. Diseño del sistema de tratamiento elegido para el agua gris.
- IV. Construcción de la planta de tratamiento de agua e implementación en el sistema de ahorro del recurso hídrico de la residencia.
- V. Evaluar y ajustar el funcionamiento del sistema de tratamiento de agua para su reuso en diferentes actividades domésticas.

3. ESTADO DEL ARTE

Es importante resaltar que los estudios sobre el tratamiento de aguas grises están en auge en los últimos años, puesto que el agua es un recurso que cada vez se agota más, viéndose necesario la implementación de soluciones a esta problemática como el ahorro intensivo del agua y la reutilización para otros usos domésticos. Para esto la población cuenta con el beneficio de reutilizar las aguas grises que su vivienda produzca o recolecte.

Las mayores actividades humanas donde se generan elevados volúmenes de vertimiento de agua gris, son en el aseo personal y lavado de ropa; en las cuales aproximadamente se gastan 49.53 litros de agua por persona al día; es decir 1.49 m³ mensuales por persona de agua evidenciado que la gran mayoría de los que hacen labores urbanas generan una considerable cantidad de aguas grises. Del total de efluentes generados, 15 Litros persona/día son consumidos en el aseo personal, 8 litros persona/día en lavado y 13 litros persona/día en el sanitario; haciendo que los porcentajes sean: aseo personal(30.38%), lavado de ropa(15.77%), servicio sanitario(24.54%); por otro lado, se observa que en nuestro sistema de alcantarillado y sistemas de acueducto, al final las aguas grises terminan mezclándose con los demás vertimientos, convirtiéndose en su totalidad desafortunadamente en aguas negras en su totalidad. [3]

La reutilización de las aguas grises es un método que se emplea en muchos países donde la potabilización del recurso es muy escasa; por ejemplo en África donde la principal actividad de consumo de agua es la agricultura se pueden emplear diversos tratamientos para la adecuación del recurso a estas actividades. Asimismo en otros países, como Australia y el Líbano, la reutilización ha beneficiado la disminución de la demanda de agua dulce, ahorro en energía y recarga de acuíferos [4]. La posibilidad de instalar un sistema de recolección y

tratamiento de aguas lluvias y aguas grises en las casas en Irlanda, es una propuesta en desarrollo, dado que dentro de las ventajas está el ahorro del agua el cual aumentó del 30% al 92%, la descentralización del consumo de agua potable, la disminución de los contaminantes al medio ambiente y la disminución en los gastos del tratamiento de estas aguas. El tratamiento de agua lluvia implementado consta de tres procesos: desinfección, filtración con arena y pasteurización, esta última en el caso de llevarla a agua potable. En el tratamiento de aguas grises, la tecnología más usada es un sistema básico de dos etapas consistente en un proceso físico y químico. La primera etapa consta de una filtración gruesa y una desinfección usando cloro o bromo. La segunda etapa consta de una filtración en profundidad a base de arena, para clarificar el agua [5] Otros estudios realizados en Australia, demuestran que las zeolitas naturales ofrecen la posibilidad de eliminar contaminantes de las aguas grises tales como cationes y aniones orgánicos, así como microorganismos. Este método es prometedor para el tratamiento de aguas grises, pero poco asequible. [6]

Un novedoso método es el tratamiento de las aguas grises por medio un reactor de membrana (MBR) para su posterior reciclado. Las aplicaciones de esta tecnología son atractivas debido al tratamiento efectivo de las aguas residuales y además es un sistema práctico para los lugares que cuenten con limitaciones de espacio debido al tamaño ya que ocupan poco espacio en las instalaciones. Las ventajas de la tecnología MBR son el alto porcentaje de remoción de turbiedad, DBO y DQO, además de coliformes fecales en un rango de remoción de 85-99%. Las falencias principales son la presencia de bacterias en el permeado debido a la migración de coliformes fecales a través de la membrana, y también que esta tecnología MBR tiene un alto costo de inversión. [7]

Otros métodos empleados en Alemania integran un tratamiento biológico de varias etapas y posteriormente una unidad de desinfección UV al proceso para alcanzar las condiciones óptimas de calidad de agua y disponerla para el lavamanos.

Paralelamente utilizan filtros fluidizados por partículas cúbicas de poliuretano y otros materiales para reutilizar el agua gris en baterías sanitarias. [8] La desinfección UV es muy eficaz para la eliminación de agentes patógenos; en este sentido se han hecho estudios donde el tratamiento de aguas grises se divide en dos fases: la primera fase, el pretratamiento, consta de un tratamiento biológico en un contactor biológico rotativo (RBC) seguido de un tanque de sedimentación.

La segunda fase es el tratamiento y desinfección de microorganismos presentes en las aguas grises, tratadas con dosis de radiación ultravioleta (UV). La eficacia de los tratamientos se midió analizando parámetros fisicoquímicos como DQO, DBO, TOC, turbidez, absorbancia (254 nm) y transmitancia (254 nm) lo que mostró una eficacia en las fases del tratamiento eliminando bacterias presentes en las aguas grises como la *P. aeruginosa sp.*, *S. aureus* y *E.coli*. Se demostró que el efluente desinfectado con altas dosis de radiación de UV produce una regeneración de las bacterias fuertes a los rayos UV (147 y 439 mWs cm²), mientras que en los efluentes tratados con dosis bajas a medianas (19 – 69 mWs cm²) no se observó nuevo crecimiento significativo. [9]

La utilización de filtros en plantas de tratamiento es de primordial importancia puesto que son las unidades óptimas para la remoción de los sólidos totales y en algunos casos DBO y DQO. Utilizando un medio filtrante como la ceniza de pizarra bituminosa se obtiene una remoción del 83 – 88 % en DQO, del 92% en DBO y 89% en fósforo residual; con una combinación de filtros verticales con recirculación y un filtro horizontal al final del sistema[10]. Otros estudios dieron como resultado que un sistema en paralelo de filtros horizontales con una inclinación del 5%, compuestos de suelo fino y grueso dan una remoción de DQO y DBO del 94-97 % y 88-89 %, respectivamente; este sistema nos da una clara idea de cómo el tamaño de partícula es proporcional al porcentaje de remoción y que es necesario hacer pruebas piloto para encontrar la combinación óptima para evitar una posible saturación y desborde del efluente. [11] La utilización de

sistemas de filtros utilizando diferentes diámetros de partícula de grava y arena puede implementarse con la combinación de plantas como *Heliconia psittacorum* (Andrómeda), *Cyperus isocladius*, *Canna sp* (Beri), *Arundina bambusifolia* (la orquídea de bambú), y *Alpinia purpurata* (jengibre rojo) para ayudar a la remoción de DQO, SST y agentes patógenos. [12]

En el tratamiento de aguas grises, algunos autores plantearon un sistema de tratamiento de filtros de corteza de pino, carbón activado vegetal y arena para la remoción de DBO, DQO, Nitrógeno total y Fósforo total. Por medio de pruebas de laboratorio, demostraron la eficacia de estos filtros para tratar el flujo de agua, y la reducción de DBO, DQO, Tot-N, Tot-P dependiendo del tipo de filtro. Según los resultados obtenidos, se catalogó al filtro de corteza de pino como el más eficiente en flujos pequeños de aguas grises, por su capacidad de extraer altas concentraciones de contaminantes; mientras que el filtro de carbón activado tiene la capacidad para tratar flujos altos de agua con alta carga orgánica. Los autores afirman que el filtro de carbón activado y arena es el más óptimo para tratar flujos altos de aguas grises y ser utilizados para otros usos dentro de los hogares, así como el filtro de corteza es óptimo para tratar agua que será reutilizada en riego. [13]

4. MARCO CONCEPTUAL

Las *aguas grises* son aquellas que salen por los desagües de bañeras, lavados, pilas de la cocina, lavadoras, etc. Básicamente son aguas con jabón, algunos residuos grasos de la cocina conteniendo detergentes corrientes y biodegradables, que son producto de nuestras tradicionales costumbres de aseo e higiene.

4.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Las características físicas del agua tienen directa incidencia sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua semitratada. Se consideran importantes las siguientes:

4.1.1 Turbiedad

Es causada por las partículas que se encuentran suspendidas en el agua reduciendo la transparencia del agua y pueden albergar contaminantes microbiológicos dañinos para la salud o disminuye la eficiencia de los desinfectantes. La medición de la turbiedad se realiza mediante un turbidímetro o nefelómetro. Las unidades utilizadas son, por lo general, unidades nefelométricas de turbiedad (UNT) [14].

4.1.2 Sólidos solubles e insolubles

Son los residuos que se obtienen como materia remanente luego de evaporar y secar una muestra de agua. En el análisis de sólidos, se determinan los sólidos totales, sólidos disueltos, sólidos en suspensión, sólidos volátiles y fijos.

4.1.3 Color

Presencia de sustancias como taninos, lignina, ácidos, y otros factores como el pH, la temperatura y el tiempo de contacto. Se analiza el color por medio de un comparador, este indicador de calidad del agua se expresa en grados de platino-cobalto [15].

4.1.4 Olor y sabor

Ambos factores están estrechamente relacionados, la falta de éstos indica ausencia de sustancias en aguas crudas, tales como compuestos orgánicos derivados de la actividad de microorganismos y algas, que provienen de descargas de desechos industriales. La eliminación de los olores puede realizarse mediante la aireación o la adición de carbón activado.

4.1.5 Temperatura

Es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, ésta influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración.

4.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

En las plantas de tratamiento de agua se vigilan distintos componentes inorgánicos y orgánicos por razones de salud y/o razones estéticas. Dentro de estas características están:

4.2.1 Aceites y grasas

La presencia en el agua altera su calidad estética. Los aceites y grasas se determinan mediante la extracción de todo el material soluble en un solvente orgánico, y su remoción es necesaria para producir un agua apta para consumo humano y evitar daños a la salud.

4.2.2 Acidez

Es la capacidad de neutralizar bases, reaccionar con iones hidróxidos y ceder protones; su determinación es de gran importancia debido a las características corrosivas, así como su costo de remoción y control [16].

4.2.3 Agentes espumantes

Están conformados por los compuestos tensoactivos provenientes de los detergentes domésticos. Estos compuestos inhiben la oxidación química y biológica haciendo interferencia en el poder auto depurador del agua.

4.2.4 Alcalinidad

Es la capacidad de reaccionar con los iones hidrógeno del agua, estando provocada mayoritariamente por los iones carbonato bicarbonato. Otros compuestos químicos que se encuentran en el agua, le contribuyen alcalinidad como los boratos, silicatos, fosfatos; sin embargo esta contribución en muchos casos es insignificante. La determinación de la alcalinidad se hace por titulación con ácido sulfúrico 0,02 N y se expresa en mg/L de carbonato de calcio [17].

4.2.5 Aluminio

Es un componente natural del agua, el cual está presente en formas solubles o en sistemas coloidales responsables de la turbiedad del agua. Las altas concentraciones de aluminio le confieren al agua un pH bajo constituyendo un problema debido a que sus sales se hidrolizan formando sales de aluminio.

4.2.6 Ph

Es una medida de la actividad de sus iones hidrógeno. Se usa para indicar la acidez o la basicidad de las soluciones acuosas que incluyen aguas naturales y el resultado de las propiedades de disociación de los solutos. El conocimiento exacto del pH es importante en cuanto a la calidad física y la constitución de los materiales de las instalaciones de una planta de tratamiento para evitar la agresividad, corrosión, incrustación y también en cuanto a los tratamientos de corrección. La medición del pH se realiza por medición eléctrica del pH e indicadores coloreados de pH [18].

4.2.7 Sustancias minerales

Estas son benéficas o tóxicas dependiendo del tipo de sustancia, pudiendo ser constituyentes naturales o artificiales, siendo estos últimos vertidos por las industrias. Dentro de estos minerales están el amonio, antimonio, arsénico, bario, boro cadmio, cinc, cobre, cromo, hierro, entre otros.

4.2.8 Dureza

Indica la concentración total de iones de calcio, magnesio, estroncio y bario. El agua dura forma sedimentos en las tuberías y calderas hasta obstruirlas; la dureza se expresa en mg/L como CaCO_3 . Es causada por los iones metálicos divalentes,

capaces de reaccionar con el jabón para formar precipitados y con ciertos aniones presentes en el agua para formar incrustaciones [19].

4.2.9 Fluoruros

Son esenciales para la nutrición, sin embargo, altas concentraciones de fluoruro pueden generar problemas y enfermedades al ser humano. Esta concentración de flúor se debe principalmente a los desechos arrojados por las industrias. Dependiendo de las condiciones climáticas del área, la dosis óptima de flúor varía entre 0.7 y 1.2 mg/L. Generalmente la remoción de fluoruros se hace por medio de intercambio iónico y adsorción, haciendo pasar el agua por medios como fosfatos tricálcico, carbón animal, carbón de huesos y alúmina activada [20].

4.2.10 Fosfatos

Estos nutrientes de la vida acuática son los responsables de la eutrofización de las aguas, generando crecimiento de algas ocasionando problemas de acumulación de sedimentos; también, afectan el proceso de coagulación durante el tratamiento del agua. El uso de detergentes aumenta el contenido de fosfatos en las aguas residuales domésticas por su gran contenido de fósforo, contribuyendo al incremento del mismo en las fuentes hídricas receptoras [21].

4.2.11 Materia orgánica

Presentes en las aguas, éstas provienen de lavados de suelos y descargas de aguas residuales. La presencia de materia orgánica es responsable del color, olor y sabor del agua.

4.2.12 Nitrógeno

Los compuestos de nitrógeno son de gran interés ingenieril debido a su importancia en los procesos vitales de todas las plantas y animales. Debido sus varios estados de valencia la química del nitrógeno es muy compleja.

4.2.13 Azufre

Tanto en la purificación de aguas como en el tratamiento de aguas residuales se presentan diferentes formas químicas del azufre que son de interés. Formas como ion sulfuro, S^{2-} ; ion hidrosulfuro HS^- ; ácidosulfídrico, H_2S ; tiosulfato de sodio, $Na_2S_2O_3$; ion tiosulfato, $S_2O_3^{2-}$; dióxido de azufre, SO_2 ; bisulfito de sodio, $NaHSO_3$; metabisulfito de sodio $Na_2S_2O_5$ entre muchos otros, son algunos ejemplos [22].

4.2.14 Oxígeno disuelto (OD)

Esencial en el agua, indica el nivel de contaminación por condiciones sépticas o actividad bacteriana. La presencia de oxígeno en el agua cruda depende de la temperatura, presión y mineralización de agua.

4.2.15 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Uno de los ensayos más importantes para determinar la concentración de la materia orgánica de aguas y aguas residuales es el ensayo de DBO a cinco días. Es la medida de la cantidad de oxígeno necesario para que los microorganismos estabilicen la materia orgánica biodegradable, bajo condiciones aeróbicas, en un periodo de 5 días y a 20 °C [23].

4.3 TRATAMIENTO Y USO DEL AGUA

La selección de los procesos para el tratamiento de las aguas residuales depende de las características fisicoquímicas y biológicas, entre otros.

El tratamiento del agua puede dividirse en tres categorías principales:

- La potabilización para uso doméstico.
- El tratamiento para aplicaciones industriales especializadas
- El tratamiento de las aguas residuales para hacerlas aceptables para su vertimiento o vertido o para su reutilización.

4.4 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

En el diseño de un sistema de tratamiento se consideran objetivos diferentes, dependiendo de la disponibilidad de recursos económicos y técnicos, así como los criterios establecidos para descarga de efluentes o eficiencias mínimas y, eventualmente, motivaciones ecológicas.

Los procesos para el tratamiento de agua residual se dividen en tres categorías principales: tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario [24].

4.4.1 Tratamiento Primario

Consiste en la reducción de sólidos en suspensión como arenas, grasas, jabones insolubles y espumas del agua, y acondicionamiento de las mismas para su descarga o bien para un tratamiento secundario. La eliminación de este material previene acumulación en otras partes del sistema de tratamiento, reduce la

obstrucción de cañerías y protege las partes móviles de la abrasión y el desgaste. Los métodos de separación en el tratamiento primario son los siguientes:

Cribado: Es la primera operación de separación y se emplea para la reducción de sólidos en suspensión de volumen elevado. Este proceso protege mecánicamente los equipos, evitar alteraciones en la circulación a través de la depuradora así como la presencia de sólidos inertes en el tratamiento de fangos.

Dilaceración: tritura o fragmenta mecánicamente los sólidos en suspensión de gran tamaño que vienen en el agua residual hasta reducirlos a un tamaño tal que no causen problemas. Los equipos empleados en la dilaceración son los Trituradores.

Desarenado: tiene como finalidad retirar del agua residual las arenas y partículas inorgánicas sólidas cuyo tamaño superan los 2 mm; para evitar la acumulación de sedimentos que producirían desgaste por abrasión en los equipos de la planta.

Desengrasado: elimina del agua residual las grasas y aceites en estado libre y las espumas y flotantes más ligeros que el agua para evitar la flotación de fangos indeseables en los procesos posteriores a la decantación del agua.

Decantación: esta operación unitaria elimina los sólidos de manera estática o dinámica, usando depósitos o equipos (decantadores) que trabajan en continuo, de manera que las partículas más pesadas que el agua son separadas.

Flotación: es un proceso para separar sólidos de baja densidad introduciendo una corriente de aire en forma de burbujas eliminando así los sólidos en suspensión; así como las partículas de grasas y aceites de tamaño muy pequeño tanto en estado libre como emulsionada.

Filtración: es un proceso de separación de sólidos a través de soportes, un medio poroso o por medio de una filtración a presión. El efluente pasa por el medio filtrante y retiene los sólidos permitiendo el paso al líquido. El tipo de filtración depende del agua a filtrar, características de los sólidos a filtrar y las características del medio filtrante.

Sedimentación: se utilizan en los tratamientos de aguas residuales para separar sólidos en suspensión. Se basa en la diferencia de pesos entre las partículas sólidas del líquido que las contiene, puede ser en una fase en varias etapas durante el tratamiento.

4.4.2 Tratamiento Secundario

Se refiere a los procesos de tratamiento biológico de las aguas residuales que eliminan la materia orgánica usando procesos biológicos aerobios o anaerobios. Estos procesos degradan el material orgánico en solución o en suspensión hasta que la DBO se reduzca a niveles aceptables.

Dentro de los procesos biológicos, los tratamientos secundarios son los siguientes:

Filtros percoladores (lechos bacterianos): conocidos también como reactores de crecimiento biológico asistido en suspensión, utilizan un soporte del crecimiento biológico, un relleno cubierto de limo biológico a través del cual se trata el agua residual.

Lodos activos: Este proceso biológico desarrolla un cultivo bacteriano disperso en forma de flóculo (lodos activados), en un depósito agitado y aireado, y alimentado con el agua a depurar. Los procesos de Lodos Activos se clasifican en numerosos tipos destacando los siguientes: convencional, mezcla completa, aireación escalonada, contacto-estabilización, entre otros.

Aireación prolongada: conociéndose también como oxidación total, es una derivación de los lodos activos, en el cual disminuye la cantidad de lodo residual al aumentar el tiempo de residencia en el reactor. Este tipo de proceso se usa para tratamiento de efluentes diarios menor a 8 m³/d.

Lagunas aireadas: son tanques con profundidades de 1 a 4 metros en las que se oxigena la corriente de agua ya sea por turbias, compresores o bien aguas superficiales. En estas lagunas se recircula el lodo para controlar el lodo biológico en el reactor.

4.4.3 Tratamiento Terciario

Conocido como “tratamiento avanzado”, es la serie de procesos destinados a conseguir una calidad del efluente superior a la del tratamiento secundario convencional [25]. Los sólidos en suspensión y microorganismos que no han sido eliminados en los tratamientos primarios y secundarios constituyen una parte importante de la DBO en el tratamiento de las aguas residuales. Algunos de los tratamientos terciarios son los siguientes:

Adsorción en carbón activado: es la concentración de un soluto en la superficie de carbón activado. Este tratamiento se lleva a cabo en forma continua o discontinua, mediante tres mecanismos: adsorción, fijación de partículas grandes y deposición de material coloidal, donde los porcentajes de eliminación están condicionados al tiempo de contacto entre el agua residual y el carbón activado.

Intercambio iónico: es un proceso de intercambio de iones entre los iones de la superficie de un sólido con iones de una especie en la disolución. Este tratamiento permite la desmineralización completa del efluente a tratar. Existen dos tipos de intercambio iónico, el catiónico y el aniónico usándose en serie para tratar la naturaleza inorgánica de las aguas residuales.

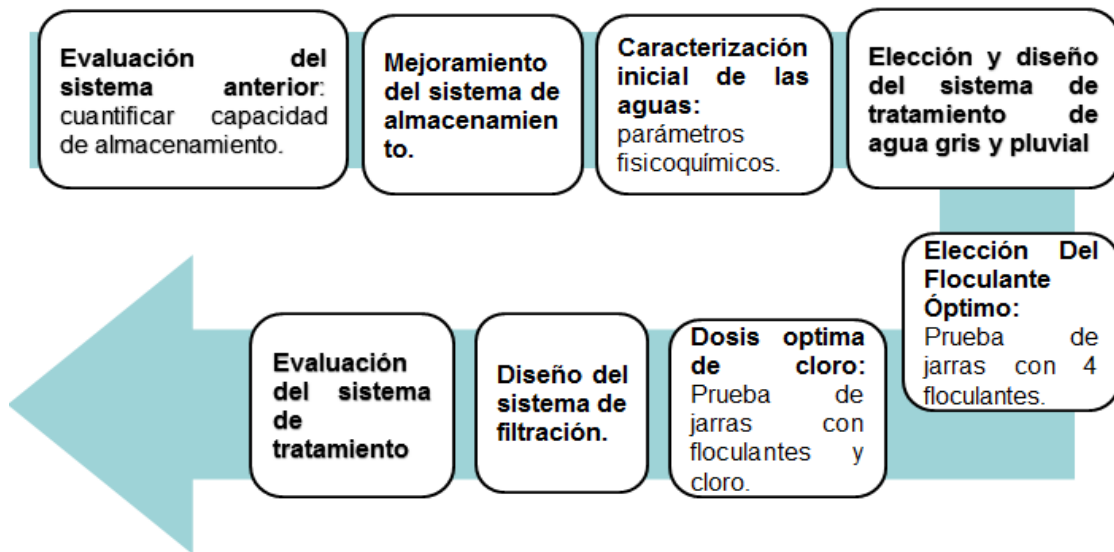
Osmosis inversa: se usa cuando las moléculas a separar son muy pequeñas, de peso molecular menor a 2000 a 3000 g/mol. En el tratamiento de aguas residuales, el efluente contaminado se pone en contacto con una membrana adecuada para este proceso.

Electrodiálisis: elimina los nutrientes inorgánicos de las aguas residuales siendo una posible etapa final de un tratamiento de aguas. El tratamiento se realiza en una celda de electrodiálisis, provistas de membranas de intercambio iónico selectivas a un tipo específico de iones según el nutriente a retirar.

5. METODOLOGÍA

La metodología llevada en el proceso fue la siguiente:

Ilustración 1. Metodología del proyecto.



5.1 REVISION BIBLIOGRÁFICA

En esta etapa se consultaron fuentes bibliográficas, bases de datos y artículos de investigación, relacionados al tratamiento del agua gris y pluvial con el fin de determinar las etapas y el proceso adecuado para tratar dichos efluentes.

Además de esto, se consultaron los datos históricos de los trabajos relacionados con el proyecto de investigación para la obtención de datos e información que sirvan como soporte para el ajuste de los parámetros del proceso realizados.

5.2 DESCRIPCION DEL SISTEMA ANTERIOR

Para la evaluación del sistema se tuvieron en cuenta los diseños originales, así como los datos históricos de los parámetros de las aguas grises y de lluvias que se han medido hasta el momento en la residencia ubicada en el barrio San Alonso de la ciudad de Bucaramanga, Santander. Para ello, se tomaron muestras del agua gris generada en un proceso típico de lavado, así como de agua de lluvia, y se enviaron para su análisis a laboratorio (ver Anexos A y B) para cuantificar el contenido en pH, sólidos totales y volátiles, sólidos suspendidos totales, DBO₅, DQO, grasas y aceites, tensoactivos y dureza total.

5.3 ELECCION Y DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA GRIS Y PLUVIAL

Una vez obtenida la caracterización del agua, se procedió a definir las etapas necesarias para el tratamiento de la corriente de agua gris proveniente del lavado de ropa y el agua pluvial. Dentro de este proceso se separó el tratamiento de los dos efluentes con el fin de minimizar costos y hacer un mejor uso de las aguas postratadas. Así mismo, se mejoró el diseño actual con el fin de cuantificar los flujos de entrada y salida así como las dosis óptimas de los reactivos y equipos utilizados para el tratamiento.

5.3.1 Búsqueda de la dosis para la clarificación del agua gris.

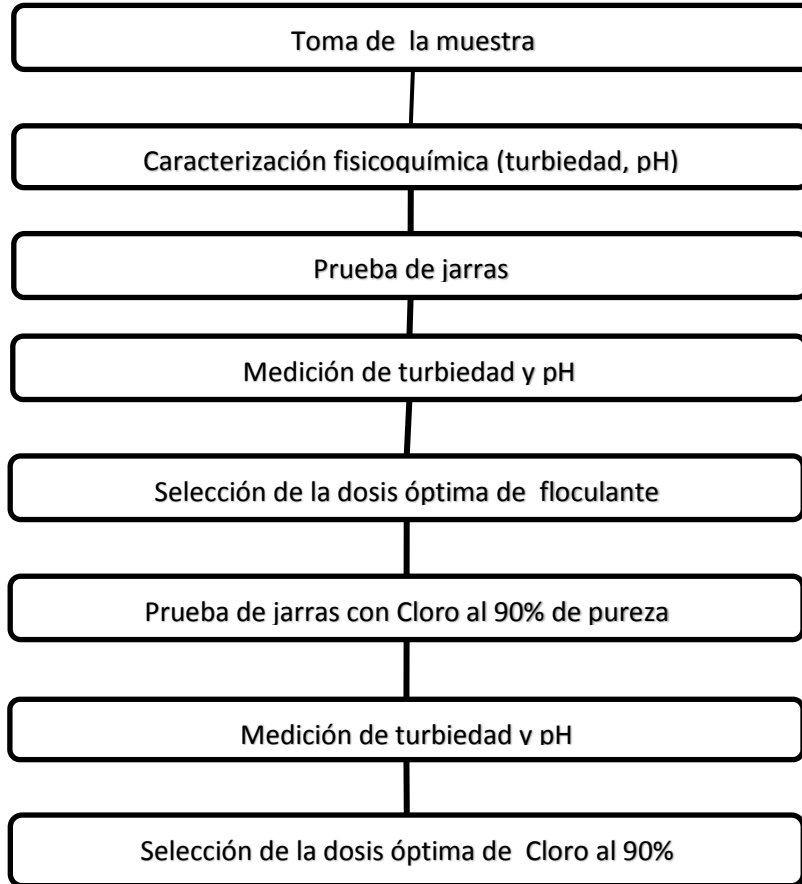
Como primer tratamiento para la clarificación del agua gris se propone realizar una floculación. Con este fin se determinó la dosis óptima del floculante y de coadyuvante para la clarificación del agua gris. De acuerdo a la bibliografía se determinó el uso del policloruro de aluminio (PAC) líquido comercial como agente floculante y cloro en polvo como agente coadyuvante de la floculación pero cabe

resaltar que se hicieron prueba de jarras con diferentes floculantes para comparar su desempeño. La dosis óptima del floculante y de cloro se calculó por medio de la prueba de jarras donde se leyó la turbidez. En la Ilustración 2 se esquematiza el procedimiento.

Para ello, se realizó un análisis fisicoquímico al agua gris sin tratamiento (ver anexo B), para estimar la turbiedad y el pH en condiciones iniciales. Posteriormente se practicó una prueba de jarras (Ilustración 3), utilizando el policloruro de aluminio líquido (PAC) comercial a fin de determinar la dosis óptima para la floculación y decantación de los sólidos suspendidos en el agua gris y encontrar el mejor floculante. Seguido a cada prueba de jarras se midió la turbiedad y el pH de cada muestra.

Luego de hallar la dosis óptima del floculante, se procede a hallar la dosis óptima del cloro al 90% como coadyuvante de la floculación y decantación. Para determinar la dosis óptima del cloro, se realiza el análisis por medio de prueba de jarras añadiendo a la prueba la dosis óptima del floculante y variando la concentración para hallar la dosis óptima del cloro al 90% (Ver Ilustración 2). El fin de la clarificación del agua gris es su reutilización en quehaceres domésticos cumpliendo las pautas de la normatividad colombiana como el Decreto 475 De 1998, Decreto 2811 DE 1974 y Resolución 2115 De 2007.

Ilustración 2. Cálculo dosis óptima PAC líquido y Cloro 90%.



Los parámetros que se usaron para la prueba de jarras son:

- Tiempo de coagulación: 1 minuto
- Tiempo de floculación: 15 minutos
- Tiempo de decantación: 30 minutos
- Gramos de PAC líquido: 0,15-0,5
- Gramos de cloro 90%: 0,02-0.12
- Velocidad de agitación en la coagulación: 100 rpm
- Velocidad de agitación en la floculación: 40 rpm

- Medición de parámetros fisicoquímicos:
- Turbiedad: turbidímetro “TURBIQUANT 1100”.
- pH: medidor de pH Thermo, modelo 4 STAR

Ilustración 3. Equipo de Jarras (Laboratorio de química UTS).



5.3.2 Diseño sistema de filtración.

El sistema de filtración, se desarrolló con base a las condiciones del proceso, teniendo en cuenta que debían ser filtros rápidos, económicos y elaborados con materiales comerciales. Los materiales usados para el diseño fueron carbón activado, poliéster prensado (guata), arena lavada, mallas para filtro (# 60 y # 300). Se realizaron tres filtros de acuerdo a las siguientes combinaciones:

Filtro 1: Dos capas de poliéster prensado (guata) y una capa intermedia de carbón activado.

Filtro 2: Dos capas de guata y una capa intermedia de arena lavada.

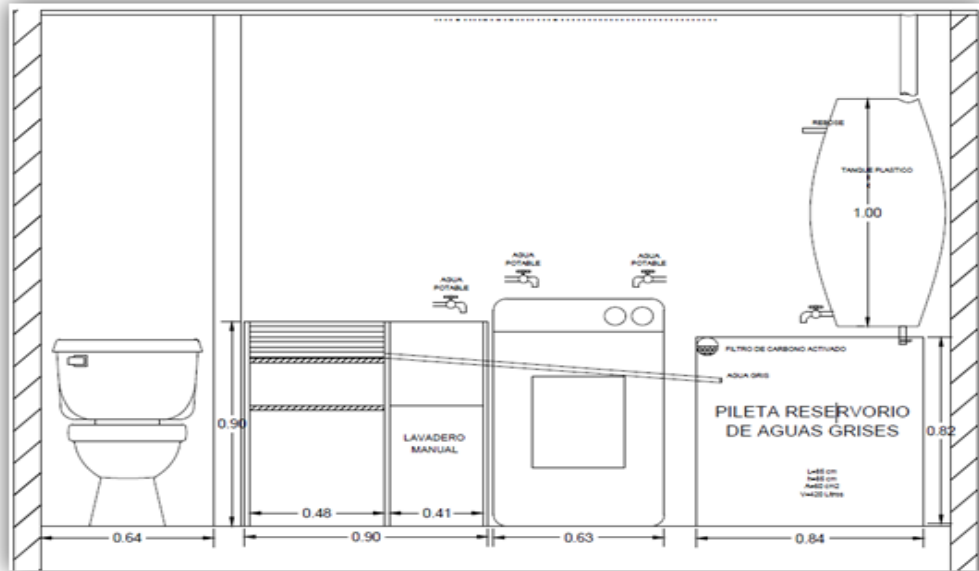
Filtro 3: Una capa de poliéster prensado de 9 cm de grosor y 20 cm de diámetro. Luego del diseño, se realizó la filtración del agua gris midiendo la turbiedad a la entrada y la salida para validar el sistema.

6. RESULTADOS Y DISCUSIONES

6.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ACTUAL

Actualmente en la residencia donde se desarrolló el proyecto se cuenta con un solo sistema para la captación de aguas grises y de aguas lluvias, el cual está ubicado en la terraza de la vivienda. El sistema de ahorro se inicia con la recolección del agua a tratar. El agua gris proveniente del lavado de ropa, así como el agua pluvial se recolecta en tanques para su respectivo almacenamiento. La recolección del agua gris se realiza directamente de la lavadora con un caudal de 150 litros por ciclo de lavado, mientras que el agua pluvial posee un caudal variable de acuerdo a la época de lluvia. Para la captación de aguas lluvias se cuenta con canales y bajantes plásticos provistos en la cubierta de la residencia, encargados de conducir el agua al tanque de almacenamiento (Ilustración 4). El agua gris y el agua pluvial se recolecta a través de un sistema con tuberías con ayuda de la presión generada por la lavadora y la acción de la gravedad; se almacenan en tanques de 500 y 150 litros respectivamente (ver Figura 4). Posteriormente se distribuyen a través de una red de tuberías para el uso secundario en baños, aseo, el riego de plantas, entre otros.

Ilustración 4. Sistema de tratamiento actual



El llenado de los tanques sanitarios cuenta con sistema con dos entradas de agua, la primera con agua tratada y la segunda con agua potable proveniente del acueducto, regulado por una válvula de $\frac{1}{2}$ pulgada que controla la entrada de cada una de las corrientes, este sistema permite utilizar el agua potable o el agua tratada.

Ilustración 5. Sistema para el llenado el tanque con agua potable o agua tratada



6.2 Caracterización fisicoquímica de las aguas grises y aguas pluviales

En la Tabla 1 se pueden observar los parámetros fisicoquímicos presentados por ambas muestras de agua analizadas

Tabla 1. Caracterización del Agua gris y pluvial

PARÁMETRO	Agua Gris	Agua pluvial
pH	9.08	5.49
Sólidos Totales [mg/L]	763	12.9
Sólidos Suspendidos Totales [mg/L]	133	< 5.5
Sólidos Volátiles [mg/L]	40.3	< 6.0
DBO [mgO ₂ /L]	341	--
DQO [mgO ₂ /L]	573	--
Turbiedad [NTU]	65.0	--
Grasas y Aceites [mg/L]	14.3	--
Tensoactivos [mgMBAS/L]	123	--
Dureza Total [mgCaCO ₃ /L]	40.9	--

Fuente: Laboratorio PSL PROANALISIS LTDA, Bucaramanga.

6.3 MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

De acuerdo con la evaluación del sistema actual y el análisis del mismo, se realizaron modificaciones al sistema. Para ello, inicialmente, se adecuó el sistema de almacenamiento de tal forma que separe el agua gris y las aguas lluvias, aumentando su volumen de almacenamiento con la nueva disposición.

Debido al que el volumen de almacenamiento del tanque actual no es suficiente (150 litros) para contener el agua proveniente de la lavadora, se reemplazó por un tanque de mayor capacidad de almacenamiento (250 litros), puesto que el estudio está enfocado en la depuración de agua gris proveniente de una lavadora marca "HACEB Assento 540PI" con una capacidad de 12.8 kilogramos de ropa, la cual por lavado utiliza aproximadamente 240 litros, en 3 ciclos de 80 litros cada uno (1 lavado y 2 enjuagues). La nueva disposición permite almacenar los 240 litros de

un lavado normal para su tratamiento y depuración; para posteriormente ser almacenada en un tanque con capacidad de 500 litros para su disposición final.

La bomba de succión con la que cuenta la lavadora permite conducir el agua por el ducto de drenaje de la misma hasta el tanque de almacenamiento ubicado aproximadamente a dos metros de altura sobre el nivel del piso (ver Ilustración 6).

Ilustración 6. Sistema de recolección de aguas grises antes y después de la modificación.



Para el almacenamiento de aguas lluvias se instalaron los tanques, quedando el sistema con un tanque de captación de 250 litros inicialmente, y en su parte inferior otro tanque de 500 litros (Ver ilustración 7). Ya que inicialmente las aguas lluvias eran captadas junto con el agua gris.

Ilustración 7. Sistema de almacenamiento de agua lluvia.



En cuanto al drenaje de los tanques, se diseñó un sistema de vaciado de lodos de modo que los tanques de almacenamiento de agua gris y lluvias puedan estar sujetos al proceso de limpieza y desinfección según sea necesario.

Al modificar el sistema de almacenamiento de la planta de tratamiento se hace un comparativo de volúmenes de agua a tratar (tabla 2).

Tabla 2. Comparativo de volúmenes antes y después.

EQUIPO	ANTES	DESPUÉS	
	Agua gris y lluvia [litros]	Agua gris [litros]	Agua lluvia [litros]
Tanque N° 1	150	250	500
Tanque N° 2	500	500	250
Volumen total	650	750	750
	650	1500	

Al modificar el sistema de almacenamiento del recurso y al dividir la planta en tratamientos independientes, se logró aumentar su capacidad en 850 litros de agua, aumentando el 230 % de la capacidad de almacenamiento inicial.

6.4 DEFINICIÓN DE LAS ETAPAS Y PROCESOS PARA EL TRATAMIENTO

Para definir las etapas del tratamiento del agua gris y aguas lluvias, se procedió inicialmente a la separación de estas dos corrientes de agua con el fin de realizar el tratamiento específico a cada una de ellas. La razón por la cual se tomó esta decisión se debió al estado fisicoquímico inicial de estas dos corrientes dado que el agua de lluvia contiene una cantidad de sólidos totales de 12.9 mg/L según los análisis realizados (ver anexo A), llegando en mejores condiciones de turbidez cuando se la compara con el agua gris la cual contiene 763 mg/L de sólidos totales sin mencionar la cantidad de grasa y aceites, los tensoactivos presentes y la turbiedad de la misma.

De acuerdo al estudio bibliográfico realizado, se diseñó y se establecieron las etapas para el tratamiento del agua gris y lluvias con el fin de mejorar y tecnificar el tratamiento. Las etapas para el tratamiento el agua gris son:

- a. Recepción del agua gris: en esta etapa se recolecta el agua a tratar proveniente de la lavadora.
- b. Tratamiento fisicoquímico: este tratamiento ayuda a la depuración del agua por medio de la adición de un floculante y un coadyuvante de la floculación y de esta manera flocular, sedimentar y decantar los sólidos volátiles disueltos y suspendidos en el agua. Para esta etapa se utilizará como agentes floculantes: el policloruro de aluminio (PAC líquido y/o sólido, alumbre tipo A y tipo B comercial) y como coadyuvante el cloro comercial al 90% de pureza.

- c. Primera filtración: luego de la floculación y decantación, el agua pasa por un primer filtro para retener las partículas en suspensión en el momento del vaciado del tanque de recepción y tratamiento químico.
- d. Segunda filtración: el agua proveniente de la primera filtración, pasa a un filtro rápido para retener las partículas en suspensión que hayan pasado a través del primer filtro.
- e. Almacenamiento del agua tratada: continuando con el proceso, el agua luego de pasar por el segundo filtro se almacena en un tanque debidamente tapado para su reutilización.

Las etapas para el tratamiento del agua de lluvia son:

- a. Filtración del agua de lluvia: en esta etapa el agua antes de ser almacenada, se pasa por un filtro rápido capaz de retener los sólidos presentes en el agua.
- b. Recepción y almacenamiento del agua lluvia: luego de la filtración, el agua se almacena en el tanque debidamente tapado con el fin de evitar la proliferación de vectores.

6.5 ELECCIÓN DEL FLOCULANTE ÓPTIMO

Para la elección del floculante para el tratamiento de agua gris se trabajó con reactivos comerciales, como lo fueron el Alumbre tipo A, Alumbre tipo B, PAC sólido y PAC líquido. Las características del PAC líquido utilizado en las pruebas se adjuntan en el Anexo C, del PAC sólido en el Anexo D y las del sulfato de aluminio tipo A y B se adjuntan en el Anexo E. De acuerdo a los parámetros fisicoquímicos iniciales del agua lluvia y gris (Anexo A y Anexo B), se realizó la

prueba de jarras para los diferentes floculantes. La turbiedad final buscada es aproximadamente de 5 NTU para el cumplimiento de la normatividad Colombiana y garantizar una calidad mejorada para su reuso. Los resultados de las pruebas de jarras son:

Tabla 3. Dosis óptima de diferentes coagulantes.

Dosis de floculante [gramos/Litro Agua Gris]	Turbiedad Inicial [NTU]	Turbiedad Final [NTU]		
		Alumbre tipo A	Alumbre tipo B	PAC sólido
0.2	65	6.72	73.42	12.35
0.4	65	6.3	106.3	10.17
0.6	65	5.8	122.2	6.13
0.8	65	5.4	15.87	7.14
1	65	4.13	4.61	5.75
2	65	10.59	7.16	10.22
3	65	12.79	13.06	18.86
4	65	15.05	17.38	102.3

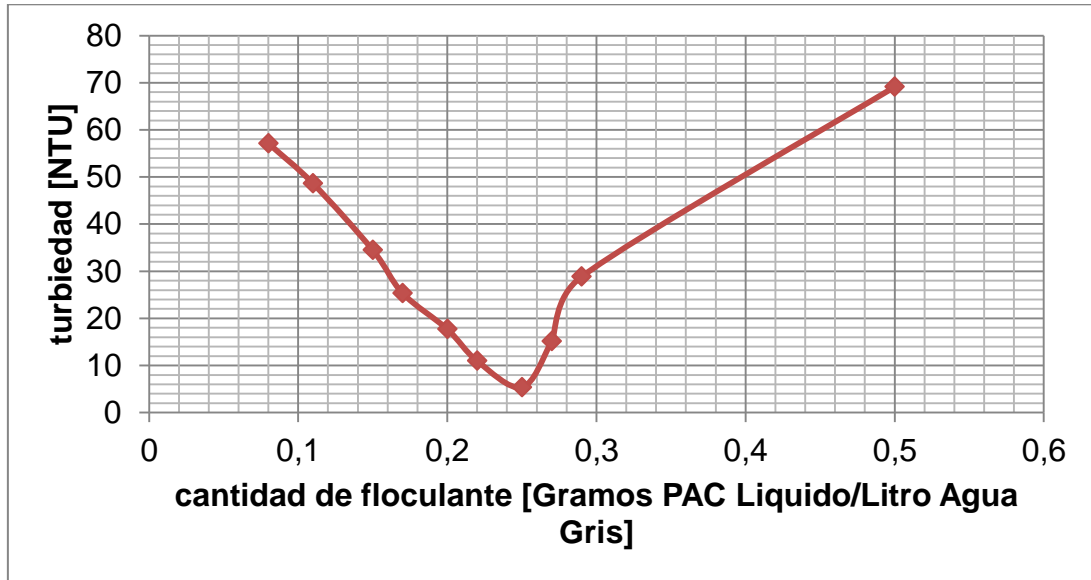
Los resultados para la prueba de jarras con el PAC líquido son:

Tabla 4. Dosis óptima para el PAC líquido.

cantidad de PAC liquido [Gramos / Litro de Agua Gris]	Turbiedad inicial [NTU]	Turbiedad Final [NTU]	pH
0,05	65	69,11	7,68
0,08	65	57,13	7,53
0,11	65	48,6	7,43
0,15	65	34,48	7,34
0,17	65	25,35	6,96
0,2	65	13,65	6,98
0,22	65	10,97	7,07
0,25	65	5,38	7,19
0,27	65	15,15	6,95
0,29	65	28,84	6,9

La dosis optima del PAC líquido, la cual corresponde a 0.25 gramos por litro de agua gris (ver Gráfico 1)

Grafico 1. Dosis óptima de PAC líquido



Se observó que el PAC líquido como la mayoría de floculantes tiene una parte decreciente y después de llegar a la dosis óptima la gráfica tiene un comportamiento creciente, donde evidenciamos la importancia de encontrar la cantidad óptima para la depuración del agua gris.

Debido a estos resultados, se tomó la decisión de utilizar el PAC líquido como floculante único durante el proyecto de investigación, puesto que es el que presenta mejor comportamiento al momento de mezclarse con el agua a tratar; ya que el tanque de almacenamiento no cuenta con agitación constante, y se observó que los floculantes sólidos no se disolvieron en su totalidad durante la prueba de jarras dificultando la obtención de la dosis óptima. Además, al estimar la dosis de floculante sólido necesaria para el tratamiento de 240 litros correspondientes a un lavado normal de la lavadora, es más costoso comparado con la cantidad de floculante líquido (ver tabla 5)

Tabla 5. Comparativo económico de los floculantes

Tipo de floculante	Cantidad [gramos]	Precio por gramo [€]	Precio de floculante para 240 litros. [€]
Alumbre tipo A	240	10	2400
Alumbre tipo B	240	10	2400
PAC sólido	240	14	3360
PAC líquido (gramos)	48	0,8	38,4

Una vez obtenida la dosis óptima del PAC líquido, se procedió a la evaluación de la prueba de jarras utilizando diferentes cantidades de cloro. Los resultados obtenidos se observan en la tabla 6.

Tabla 6. Dosis óptima del cloro

Cloro [gramos]	turbiedad [NTU]
0.02	8
0.05	5.7
0.08	5.2
0.1	6.3
0.12	8.3

De acuerdo a los resultados, podemos observar con una dosis de 0.08 gramos por litro de cloro y 0.25 gramos de PAC líquido podemos reducir la turbiedad a niveles por debajo de los 6 NTU, con lo cual se tiene una manera económica y eficaz de depuración de aguas grises, lo cual se ve reflejado en el consumo mensual de agua con un 42% de ahorro.

Posteriormente el agua tratada con floculante pasa a un tanque de sedimentación donde se sedimenta por un mínimo de 30 minutos y se filtra por una barrera construida de malla #60 y malla #300. Al abrir la válvula de desagüe del tanque de tratamiento, se conduce el agua filtrada, aguas abajo por un filtro rápido compuesto de guata. Después de hacer filtrar el agua tratada por segunda vez, se

tomaron lecturas con el TURBIQUANT 1100 dando como resultado una turbiedad final de 4 NTU.

6.6 SISTEMA DE FILTRACION

Se efectuaron pruebas con filtros compuestos de carbón activado y arena sílice lavada, de la siguiente forma:

Filtro uno: Dos capas de poliéster prensado (guata) y una capa intermedia de carbón activado. Las dimensiones de la capa de guata son de diámetro 20 cm y grosor 6 cm; así mismo, la capa de carbón activado fue de 3 cm de grosor y 20 cm de diámetro.

Filtro dos: Dos capas de poliéster prensado (guata) y una capa intermedia de arena lavada. Las dimensiones de las capas de guata son 5 cm de espesor y 20 cm de diámetro; así mismo, la capa de arena lavada de 2 cm de espesor por 20 cm de diámetro.

Filtro tres: Una capa de poliéster prensado (guata) de 9 cm de grosor y 20 cm de diámetro.

Dentro de las observaciones registradas en cada uno de los tres diseños, se determinó:

- La arena no brinda propiedades de filtración rápida para el buen funcionamiento de la planta.

- El carbón activado al ser utilizado como material filtrante suelta una pequeña capa de carboncillo y con el pasar del tiempo se sedimenta en el tanque, aumentando la turbidez.
- Por tal razón se tomó la decisión de emplear únicamente la guata como material filtrante (Ver Ilustración 8).

Ilustración 8. Filtro de guata



La eficiencia en cuanto a la turbiedad es:

Turbiedad inicial: 65 NTU.

Turbiedad final: 4 NTU.

$$\text{EFICIENCIA: } 100 - \frac{4 \times 100}{65} = 93.8 \%$$

Por otro lado, para el agua lluvia se instaló solamente un filtro de poliéster (guata), puesto que los análisis iniciales de esta agua evidenciaron solamente una

cantidad mínima de turbiedad y de sólidos, por lo que decidió que no era necesario ninguna etapa de tratamiento adicional para el agua lluvia. La turbiedad final para el agua lluvia es de 4 NTU. Se añadió una pequeña cantidad de cloro al agua lluvia, no con el fin de coayudar a un proceso de floculación si no para eliminar agentes patógenos y garantizar una cantidad de cloro residual eliminando toda posibilidad de formación de larvas de mosquitos o que se formen criaderos de los mismos.

7. CONCLUSIONES

- Se implementó una planta de tratamiento de aguas grises incluyendo etapas básicas como coagulación, floculación, sedimentación, cloración y filtración. Se logró una eficiencia del 93,8% para su posterior disposición final y uso en las baterías sanitarias.
- La turbiedad final del agua lluvia fue de 4 NTU, haciendo apta para usos domésticos no consumibles.
- El mejor coagulante y floculante fue el PAC líquido por su facilidad de disolverse con el agua a tratar, por su economía, y la pequeña cantidad necesaria para el tratamiento.
- Con la implementación y funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas grises y pluviales, se elimina la proliferación de vectores y malos olores.
- Se utilizó guata como material filtrante por sus grandes capacidades de retener partículas suspendidas en el agua tratada y por ofrecer una filtración rápida.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ESPINAL, Cristian y OCAMPO, David. Construcción de un prototipo para un sistema de reciclaje de aguas grises en el hogar. Tesis de grado. Pereira-Colombia: Universidad tecnológica del Pereira. Departamento de Ingenierías Aplicadas. 2012.
- [2] CASTRO, Daniel., Y ROSSO, Javier. Sistema de reutilización de aguas grises y aprovechamiento del agua pluvial y mantenimiento de reservorios para unidades residenciales. Tesis de grado Unipaz. Departamento de Ingeniería Ambiental y Saneamiento 2009 p. 25.
- [3] CASTRO, Daniel. Y ROSSO, Javier. Sistema de reutilización de aguas grises y aprovechamiento del agua pluvial y mantenimiento de reservorios para unidades residenciales. Tesis de grado Unipaz. Departamento de Ingeniería Ambiental y Saneamiento 2009 P.30
- [4] EMACULATE, Madungwe., SANISO, Sakuringwa. Greywater reuse: A strategy for water demand management in Harare. Physics and Chemistry of the Earth 32, 1231-1236.
- [5] ZHE LI, BoyleFergal y REYNOLDS, Anthony. Rain water harvesting and grey water treatments y stems for domestic application in Ireland. Desalination 260 2010 p.1–8.
- [6] NURUL, Widiastuti., HONGWEI, Wu., Ming Ang y Dong-ke Zhang. The potential application of natural zeolite for greywater treatment. Desalination 218 2008 p. 271 – 280.

- [7] MERZ, Cornelia. (2007). Membrane bioreactor technology for the treatment of greywater from a sports and leisure club. *Desalination* 215, p.37-43.
- [8] NOLDE, Erwin., Grey water reuse systems for toilet flushing in multi-story buildings- over ten years' experience in Berlin. *Urban Water* 1 1999, p. 275 - 284.
- [9] GILBOA, Yael., FRIEDLER, Eran. UV disinfection of RBC-treated light greywater effluent: Kinetics, survival and regrowth of selected microorganisms. *Water Research* 42, 2008, 1043 – 1050.
- [10] KARABELNIK, Kristjan., KÕIV ,Margit., KUNOKASAK, Petter D. JENSSEN, ÜloMander. High-strength greywater treatment in compact hybrid filter systems with alternative substrates. *Ecological Engineering* 49, 2012, p.84– 92.
- [11] KEN, Ushijima., KANGOITO, Ryuseilto., NAOYUKI, Funamizu. Greywater treatment by slanted soil system. *Ecological Engineering* 50, 2013 p. 62–68.
- [12] PAULO, Paula L., AZEVEDO, Claudia. Natural systems treating greywater and blackwater on-site: Integrating treatment, reuse and landscaping. *Ecological Engineering* 50, 2013, p. 95–100.
- [13] DALAHMEH SAHAR S.A., PELL, Mikael., HYLANDER, Lars D., LALANDER Cecilia., VINNERÅS Björn, JÖNSSON,Håkan. Effects of changing hydraulic and organic loading rates on pollutant reduction in bark, charcoal and sand filter treating grey water. *Journal of Environmental Management* 132, 2014, p, 338-345.
- [14] MACKENZIE L. Davis y Susan J. Masten. *Ingenierías y Ciencias Ambientales*. MC Graw Hill. p.34

- [15] CYRIL, G., Y GUERREE, H. Tratamiento de aguas para el abastecimiento público. Editores Técnicos Asociados S.A. p. 29
- [16] ROMERO ROJAS Jairo Alberto; CALIDAD DEL AGUA. Editorial Escuela Colombiana De Ingeniería, p.119
- [17] ROMERO ROJAS Jairo Alberto; CALIDAD DEL AGUA. Editorial Escuela Colombiana De Ingeniería p. 120
- [18] RUIZ S. José Efraín. Calidad del agua en Colombia, Instituto Colombiano De Hidrología, Meteorología y Adecuación De Tierras. p. 42
- [19] RUIZ S. José Efraín. Calidad del agua en Colombia, Instituto Colombiano De Hidrología, Meteorología y Adecuación De Tierras. p. 130
- [20] ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. CALIDAD DEL AGUA. Editorial Escuela Colombiana De Ingeniería p. 123 y 124
- [21] ROMERO ROJAS Jairo Alberto; ACUIQUIMICA; Editorial Presencia, p. 103
- [22] ROMERO ROJAS Jairo Alberto; ACUIQUIMICA; Editorial Presencia, p. 105
- [23] McKINNEY, E. Ross. Microbiology for Sanitary Engineers. McGraw–Hill Book Co. 1962, p.30
- [24] FRANCIA ARANA, Olga. Métodos de tratamiento de aguas residuales. [en línea] Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/44723007/Metodos-de-Tratamiento-de-Aguas-Residuales#scribd> p. 25.

[25] RAMALHO, R.S. Tratamientos de aguas residuales. Laval University. Faculty Science and Engineering. Quebec Canadá: Editorial Reverte, S.A. p. 585. <URL.<http://es.scribd.com/doc/227405116/TratamientodeAguasResiduales#scribd>.>

BIBLIOGRAFÍA

CASTRO, Daniel. Y ROSSO, Javier. Sistema de reutilización de aguas grises y aprovechamiento del agua pluvial y mantenimiento de reservorios para unidades residenciales. Tesis de grado Unipaz. Departamento de Ingeniería Ambiental y Saneamiento 2009 P.30

CASTRO, Daniel., Y ROSSO, Javier. Sistema de reutilización de aguas grises y aprovechamiento del agua pluvial y mantenimiento de reservorios para unidades residenciales. Tesis de grado Unipaz. Departamento de Ingeniería Ambiental y Saneamiento 2009 p. 25.

CYRIL, G., Y GUERREE, H. Tratamiento de aguas para el abastecimiento público. Editores Técnicos Asociados S.A. p. 29

DALAHMEH SAHAR S.A., PELL, Mikael., HYLANDER, Lars D., LALANDER Cecilia., VINNERÅS Björn, JÖNSSON,Håkan. Effects of changing hydraulic and organic loading rates on pollutant reduction in bark, charcoal and sand filter treating grey water. Journal of Environmental Management 132, 2014, p, 338-345.

EMACULATE, Madungwe., SANISO, Sakuringwa. Greywater reuse: A strategy for water demand management in Harare. Physics and Chemistry of the Earth 32, 1231-1236.

ESPINAL, Cristian y OCAMPO, David. Construcción de un prototipo para un sistema de reciclaje de aguas grises en el hogar. Tesis de grado. Pereira-Colombia: Universidad tecnológica del Pereira. Departamento de Ingenierías Aplicadas. 2012.

FRANCIA ARANA, Olga. Métodos de tratamiento de aguas residuales. [en línea] Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/44723007/Metodos-de-Tratamiento-de-Aguas-Residuales#scribd> p. 25.

GILBOA, Yael., FRIEDLER, Eran. UV disinfection of RBC-treated light greywater effluent: Kinetics, survival and regrowth of selected microorganisms. *Water Research* 42, 2008, 1043 – 1050.

KARABELNIK, Kristjan., KÕIV, Margit., KUNOKASAK, Petter D. JENSSEN, ÜloMander. High-strength greywater treatment in compact hybrid filter systems with alternative substrates. *Ecological Engineering* 49, 2012, p.84– 92.

KEN, Ushijima., KANGOITO, Ryuseito., NAOYUKI, Funamizu. Greywater treatment by slanted soil system. *Ecological Engineering* 50, 2013 p. 62–68.

MACKENZIE L. Davis y Susan J. Masten. *Ingenierías y Ciencias Ambientales*. MC Graw Hill. p.34

McKINNEY, E. Ross. *Microbiology for Sanitary Engineers*. McGraw–Hill Book Co. 1962, p.30

MERZ, Cornelia. (2007). Membrane bioreactor technology for the treatment of greywater from a sports and leisure club. *Desalination* 215, p.37-43.

NOLDE, Erwin., Grey water reuse systems for toilet flushing in multi-story buildings- over ten years' experience in Berlin. *Urban Water* 1 1999, p. 275 - 284.

NURUL, Widiastuti., HONGWEI, Wu., Ming Ang y Dong-ke Zhang. The potential application of natural zeolite for greywater treatment. *Desalination* 218 2008 p. 271 – 280.

PAULO, Paula L., AZEVEDO, Claudia. Natural systems treating greywater and blackwater on-site: Integrating treatment, reuse and landscaping. Ecological Engineering 50, 2013, p. 95–100.

RAMALHO, R.S. Tratamientos de aguas residuales. Laval University. Faculty Science and Engineering. Quebec Canadá: Editorial Reverte, S.A. p. 585. <URL.<http://es.scribd.com/doc/227405116/TratamientodeAguasResiduales#scribd>.>

ROMERO ROJAS Jairo Alberto; ACUIQUIMICA; Editorial Presencia, p. 103

ROMERO ROJAS Jairo Alberto; ACUIQUIMICA; Editorial Presencia, p. 105

ROMERO ROJAS Jairo Alberto; CALIDAD DEL AGUA. Editorial Escuela Colombiana De Ingeniería, p.119

ROMERO ROJAS Jairo Alberto; CALIDAD DEL AGUA. Editorial Escuela Colombiana De Ingeniería p. 120

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. CALIDAD DEL AGUA. Editorial Escuela Colombiana De Ingeniería p. 123 y 124


RUIZ S. José Efraín. Calidad del agua en Colombia, Instituto Colombiano De Hidrología, Meteorología y Adecuación De Tierras. p. 42

RUIZ S. José Efraín. Calidad del agua en Colombia, Instituto Colombiano De Hidrología, Meteorología y Adecuación De Tierras. p. 130

ZHE LI, BoyleFergal y REYNOLDS, Anthony. Rain water harvesting and grey water treatments y stems for domestic application in Ireland. Desalination 260 2010 p.1–8.

ANEXOS

ANEXO A (informe de resultados de agua gris PSL ANALISIS LTDA).



PSL PROANALISIS LTDA

LABORATORIO DE ANALISIS
ACREDITACION IDEAM NTC ISO - IEC 17025
CERTIFICACION DE BUREAU VERITAS ISO 9001, ISO 14001, ISO 18001
Análisis Físico-Químico, Microbiológico y
Biológico de Aguas, Suelos y Aire
Proyectos, Asesorías, Servicios, Diseños e
Ingeniería de la Industria Petrolera y Ambiental

NIT. 800.193.010-3

INFORME DE RESULTADOS

Informe No.: 0397-14 Solicitante: RAMZI YOUSEEF JAIMES SANTOS Lugar y punto de muestreo: No suministrado Fecha de muestreo: No suministrado Matriz de la muestra: Aguas residuales Fecha / Hora de recepción: 31 de Marzo del 2014 / 16:00	Fecha de emisión: 25 de Abril del 2014 Dirección: Manzana E Casa 42 Villas de san Juan, Piedecuesta Muestras tomadas por: Cliente Tipo de muestra: Simple Muestra recibida por: Jairo Villamizar Fecha de análisis: 31 Marzo a 24 Abril del 2014
---	---

RESULTADOS DE ANÁLISIS AGUAS


ANÁLISIS	IDENTIFICACIÓN DE LA(S) MUESTRA(S)	UNIDADES	MÉTODO DE ANÁLISIS
	Muestra 1. Aguas grises		
pH	9,08	Unidades de pH	S.M. 4500-H+
Sólidos Totales	763	mg/L	S.M. 2540 B
Sólidos Suspendedos Totales	133	mg/L	S.M. 2540 D
Sólidos Volátiles	40,3	mg/L	S.M. 2540 G
Demanda Bioquímica de Oxígeno	341	mg O ₂ /L	S.M. 5210 B
Demanda Química de Oxígeno	573	mg O ₂ /L	S.M. 4500-O-G
Turbiedad	65,0	NTU	S.M. 5220 C
Grasas y Aceites	14,3	mg/L	S.M. 2170-B
Tensoactivos	123	mg MBAS/L	S.M. 6520-B
Dureza total	40,9	mg CaCO ₃ /L	S.M. 5540 C

S.M.: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st Edition, 2005, APHA, AWWA, WEF

• Laboratorio acreditado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM mediante Resolución de Extensión de la acreditación número 1566 del 31 de julio de 2013 con la cual se renovó el alcance de la acreditación del laboratorio bajo los lineamientos de la norma NTC ISO/IEC 17025 "Requisitos generales de competencia de laboratorios de ensayo y calibración" versión 2005 para los siguientes análisis en la matriz agua: Alcalinidad total, cloruros, conductividad, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, dureza como CaCO₃, sólidos totales, sólidos disueltos, sólidos suspendidos, Sólidos sedimentables, Nitratos, Sulfatos, Grasas y aceites, Muestras simple y disueltas; se extendió el alcance de la acreditación para los siguientes análisis en la matriz agua: Nitratos, Plomo total y disuelto, Cadmio total y disuelto, Hierro total y disuelto, Plata total y disuelto, cromo total y disuelto Fenoles totales; se extendió el alcance de la acreditación para los siguientes análisis en la matriz aire: Toma de muestras y análisis de laboratorio para la determinación de la concentración másica de dióxido de azufre en la atmósfera, Toma de muestras y análisis de laboratorio para la determinación de la concentración másica de dióxido de azufre en la atmósfera, Toma de muestras y análisis de laboratorio para la determinación de partículas suspendidas totales en la atmósfera, Toma de muestras y análisis de laboratorio para la determinación de material particulado como PM10 en la atmósfera. "Requisitos generales de competencia de laboratorios de ensayo y calibración" Matriz agua: Recolección de muestras, procesamiento y análisis de Macroinvertebrados bentónicos, Recolección de muestras y análisis de Perfiton, Recolección de muestras y análisis de Macrofitas, Recolección de muestras y análisis de Peces, Recolección de muestras y análisis de Fitoplancton, Recolección de muestras y análisis de Zooplancton.

*"Este informe de laboratorio es válido únicamente para las muestras analizadas y relacionadas en él.
Cualquier reproducción parcial requiere de la autorización de PSL PROANALISIS LTDA"*

Revisado y Aprobado por:



PSL PROANALISIS LTDA
JAVIER MAURICIO PABÓN
QUÍMICO PQ - 2838
Coordinador Técnico

FIN DEL DOCUMENTO
F-040 Rev. 6 01-08-2013

Página 1 de 1

BUCARAMANGA, CARRERA 14 No. 55-18 - TELEFAX: (097) 6444625 - 6415176 - CEL. 300 2006390
www.pslproanalisis.com - E-mail: pslproanalisis@yahoo.com - info@pslproanalisis.com

ANEXO B (informe de resultados de agua lluvia PSL ANALISIS LTDA).



**PSL
PROANALISIS
LTDA**

LABORATORIO DE ANALISIS
ACREDITACION IDEAM NTC ISO - IEC 17025
CERTIFICACION DE BUREAU VERITAS ISO 9001, ISO 14001, ISO 18001
Análisis Físico-Químico, Microbiológico y
Biológico de Aguas, Suelos y Aire
Proyectos, Asesorías, Servicios, Diseños e
Ingeniería de la Industria Petroliera y Ambiental

NIT. 800.193.010-3

INFORME DE RESULTADOS

Informe No.: 0366-14 Solicitante: RAMZI YOUSEEF JAIMES SANTOS Lugar y punto de muestreo: No suministrado Fecha de muestreo: No suministrado Matriz de la muestra: Aguas residuales Fecha / Hora de recepción: 31 de Marzo del 2014 / 16:00	Fecha de emisión: 25 de Abril del 2014 Dirección: Manzana E Casa 42 Villas de san Juan, Piedecuesta Muestras tomadas por: Cliente Tipo de muestra: Simple Muestra recibida por: Jairo Villamizar Fecha de análisis: 31 Marzo a 24 Abril del 2014
---	---

RESULTADOS DE ANALISIS AGUAS

ANÁLISIS	IDENTIFICACIÓN DE LA(S) MUESTRA(S)	UNIDADES	METODO DE ANALISIS
	Muestra 2. Aguas lluvias		
pH	5,49	Unidades de pH	S.M. 4500-H+
Sólidos Totales	12,9	mg/L	S.M. 2540 B
Sólidos Suspendedos Totales	< 5,5*	mg/L	S.M. 2540 D
Sólidos Volátiles	< 6,0*	mg/L	S.M. 2540 G

S.M.: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21ª Edition, 2005, APHA, AWWA, WEF.

* Laboratorio acreditado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM mediante Resolución de Extensión de la acreditación número 1566 del 31 de julio de 2013 con la cual se renovó el alcance de la acreditación del laboratorio bajo los lineamientos de la norma NTC ISO/IEC 17025 "Requisitos generales de competencia de laboratorios de ensayo y calibración" versión 2005 para los siguientes análisis en la matriz agua: Alcalinidad total, cloruros, conductividad, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, dureza total, pH, sólidos totales, sólidos disueltos, sólidos suspendidos, Sólidos sedimentables, Nitratos, Sulfatos, Grasas y aceites, Muestreo simple y compuesto; se extendió el alcance de la acreditación para los siguientes análisis en la matriz aguas: Nitratos, Plomo total y disuelto, Cadmio total y disuelto, Hierro total y disuelto, Plata total y disuelto, cromo total y disuelto Fenoles totales; se extendió el alcance de la acreditación para los siguientes análisis en la matriz aire: Toma de muestras y análisis de laboratorio para la determinación de la concentración máxima de dióxido de nitrógeno en la atmósfera, Toma de muestras y análisis de laboratorio para la determinación de la concentración máxima de dióxido de azufre en la atmósfera, Toma de muestras y análisis de laboratorio para la determinación de partículas suspendidas totales en la atmósfera, Toma de muestras y análisis de laboratorio para la determinación de material particulado como PM10 en la atmósfera. *Requisitos generales de competencia de laboratorios de ensayo y calibración", Matriz agua: Recolección de muestras, procesamiento y análisis de Macroinvertebrados bentónicos, Recolección de muestras y análisis de Perifiton, Recolección de muestras y análisis de Macrofitas, Recolección de muestras y análisis de Peces, Recolección de muestras y análisis de Fitoplancton, Recolección de muestras y análisis de Zooplancton.

*"Este informe de laboratorio es válido únicamente para las muestras analizadas y relacionadas en él.
Cualquier reproducción parcial requiere de la autorización de PSL PROANALISIS LTDA"*

Revisado y Aprobado por:



PSL PROANALISIS LTDA
JAVIER MAURICIO PABÓN
 QUÍMICO PQ - 2838
 Coordinador Técnico

FIN DEL DOCUMENTO

F-040 Rev. 6 01-08-2013 Página 1 de 1

BUCARAMANGA, CARRERA 14 No. 55-18 - TELEFAX: (097) 6444625 - 6415176 - CEL. 300 2006390
 www.pslproanalisis.com - E-mail: pslproanalisis@yahoo.com - info@pslproanalisis.com

ANEXO C (ficha técnica del policloruro de aluminio PAC).



Policloruro de Aluminio, PAC Ficha Técnica del Producto



KOSHER PAREVE
3627
No Reg. 290



icontec
Internacional
Certificado N° 102 - 1

Propiedades Químicas (AWWA B408-03)

Fórmula Química	$[Al(OH)_m Cl_{3-m}]_n$
Densidad a 25 °C, g/ml	1.23 ± 0.05
pH a 25 °C	2.5 ± 0.3
% Al ₂ O ₃	10.5 ± 0.5
Relación de Basicidad	70% min.

*Vida útil posterior a su fabricación: 3 meses

Indicaciones

El policloruro de aluminio (PAC) es una sal de alta basicidad con base en anión cloruro. Se diferencia del hidroxiclорuro de aluminio (ACH) porque presenta especies polinucleares del metal convirtiéndolo en un coagulante de alto desempeño, con excelentes propiedades para el tratamiento de aguas con dificultades especiales y generando bajo volumen de lodos, pues trabaja bien con poco suministro de alúmina.

Condiciones de Manejo

El producto debe ser almacenado en tanques de fibra de vidrio, polietileno o acero recubierto en caucho y conducido empleando fibra de vidrio, PVC o cualquier otro material termoplástico. También es compatible con EPDM, Caucho Natural y Vitón. El producto no debe estar en contacto con hierro, acero al carbón, acero inoxidable y bronce. Es deseable que el Policloruro de Aluminio Líquido sea dosificado tal como se recibe del proveedor y no ser contaminados por agua u otra impureza durante el almacenamiento.

Para la dosificación exacta y uniforme, debe ser usada una bomba de desplazamiento positivo. El producto no se deteriora con el tiempo mientras sea manejado bajo las condiciones explicadas. Su vida útil es de 3 meses.

Precauciones y Seguridad

El producto no presenta alto riesgo en su manejo pero, por ser una sal ácida debe tratarse con cuidado. Evite el contacto con metales que puedan sufrir corrosión tales como hierro, cobre, bronce, aluminio y acero inoxidable. Se recomienda el uso de guantes y gafas protectoras. En los ojos y mucosas causa irritación; en caso de contacto debe enjuagarse con agua abundante. El producto no emite gases y por lo tanto no causa efectos nocivos al ser inhalado.



Oficina Principal y Producción

Medellín: Calle 55 No 46-85 Itagüí, Antioquia; Tel: (574)370 1170; Fax: (574)277 5676; sulfosa@sulfoquimica.com

Producción

- Barbosa: Vía Girardota - El Hatillo km. 4 (Vereda Platanito), Barbosa, Antioquia. Tel. (574)289 2480, Fax. (574)289 1234; sqbarbosa@sulfoquimica.com
- Barranquilla: Vía Malambo - Sabanagrande, km. 3; Parque Industrial PIMSA; Malambo, Atlántico. Tel (575)347 8350; Fax: (575)3478353; sqbarranquilla@sulfoquimica.com
- Caloto: Vía Caloto - Santander de Quilichao, km. 7, Caloto, Cauca. Tel (572)550 4344; Fax: (572)550 4343; sqcaloto@sulfoquimica.com

ANEXO D (ficha tecnica del alumbre tipo A).

FICHA TÉCNICA Y CERTIFICADO DE ANÁLISIS

PAC-A

Nombre Técnico	Policloruro de Aluminio tipo A
Presentación	Granular
Presentación	Sacos de 25 kilos.

Especificaciones:

Relative density g/cm³(20°C)≥-

Ingrediente Activo:

AL ₂ O ₃ ≥	30%
Fe ₂ O ₃ ≥	0.9%
Basicity	55.0-90.0%
PH (1% water solution)	5 %
Amoniacal Nitrógeno ≤	0.09%
As≤	0.0005%
Mn ≤	0.045%
Cr ₆₊ ≤	0.0015%
Hg≤	0.00002%
Pb≤	0.003%
Cd≤	0.0006%

Uso:

Específicamente es usado como coagulante para clarificar aguas de consumo humano y tratar aguas residuales. Puede utilizarse como floculante en aguas de piscinas. Especial para aguas con alto contenido de Hierro y metales pesados.

Dosificación:

Se recomienda hacer una prueba de campo o de jarras para dosificar la cantidad apropiada. Se dosifica manualmente o mediante bomba dosificadora.

La dosis depende de la turbiedad del agua, sin embargo la cantidad a dosificar es de 3 a 5 veces menos que Sulfato de Aluminio. Generalmente no requiere alcalinizante como Cal o soda cáustica para corregir el PH.

Antes de la aplicación se debe hacer una solución con agua limpia al 1% hasta 10% de acuerdo a la calidad del agua y forma de dosificar.

El rango ideal de PH del agua a clarificar es entre 6.0 a 8.0. Si el PH es mayor o menor se debe ajustar antes de aplicar PAC.

ANEXO E (ficha tecnica del alumbre tipo B).



FICHA TÉCNICA SULFATO DE ALUMINIO

1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO

Nombre Químico	Sulfato de aluminio
Formula química	$Al_2(SO_4)_3$
Peso Molecular	342.3
Sinónimos	Alumbre

2. DESCRIPCIÓN

- Cristales o en solución.
- Soluble en agua, insoluble en alcohol, tiene sabor dulce.
- Estable en el aire.
- El sulfato de aluminio, conocido como tipo B, se produce a partir de bauxita o arcilla, con un alto contenido de alúmina.
- Grados especiales de sulfato de Aluminio, como utilizado en la industria del papel, se producen utilizando materias primas de alta pureza, libres de hierro, como la alúmina hidratada, en lugar de bauxita y ácido sulfúrico en un grado especial. Así se obtiene un producto blanco, con un contenido de óxido de Fe, de sólo 0.005% a 0.01%. El alumbre libre de hierro, es importante en la manufactura de papeles, en los cuales la presencia de hierro causa problemas de color.

3. ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

PROPIEDAD	TIPO A SÓLIDO	TIPO B SÓLIDO	TIPO A LÍQUIDO	TIPO B LÍQUIDO
Al_2O_3 , %	17 mín.	15 mín.	8 mín.	7.3mín.
Fe_2O_3 , %	1.0 máx.	1.5 máx.	0.5 máx.	1.2máx.
Insolubles, %	0.5 máx.	10 máx.	0.2 máx.	0.1 máx.

4. PROPIEDADES

	TIPO A SÓLIDO	TIPO B SÓLIDO	TIPO A LÍQUIDO	TIPO B LÍQUIDO
Color	Blanco Café	Transparente	Café	
Densidad	1.1 aparente	1.1 aparente	1.33 a 20°C	1.33 a 20°C
pH al 1%	3.5	3.5	2.4	1.3
Granulometría	100% pasa la malla 4, Menos del 10% inferior a malla 100		Solución al 48.2% del sólido de A	Solución al 46.6% del sólido de B

FECHA	REALIZO	REVISO	ACTUALIZO
2006/11/ 03	I.Q. Iván Darío Ospina	I.Q. Doria María Naranjo	I.Q. Iván Darío Ospina

Cra. 50C N° 10 Sur-18 Tels: 361 07 11-361 05 03-255 35 00-285 97 34 Fax: 285 64 74
Apartado Aéreo: 060802 - e-mail: quindus@epm.net.co Medellín - Colombia.