EVALUACIÓN DEL PROCESO DE COAGULACION-FLOCULACION Y DOSIFICACIÓN DE COAGULANTE EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES DE LA EMPRESA PQA

DANIEL FELIPE LÓPEZ OCAMPO

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
INGENIERÍA AMBIENTAL
MANIZALES –CALDAS

EVALUACIÓN DEL PROCESO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN Y DOSIFICACIÓN DE COAGULANTE EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES DE LA EMPRESA PQA

TRABAJO DE GRADO
MODALIDAD-AUTORÍA PROPIA

ASESOR: SEBASTIÁN ISAAC PACHECO GONZALES
Ingeniero Químico
Docente investigador

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
INGENIERÍA AMBIENTAL
COLOMBIA
2019

AGRADECIMIENTOS

A Dios nuestro señor el cual me brindo salud, sabiduría, paciencia y entrega para culminar satisfactoriamente mi carrera profesional guiándome a través de las dificultades y sacándome victorioso de las mismas.

A mi madre por su inmenso apoyo, por su entrega y su sabiduría por estar a mi lado como una guía para culminar este sueño de ser un gran profesional, a mi padre por estar siempre atento a mis dificultades y estar dispuesto a solucionarlas.

Al profesor Sebastián Isaac Pacheco Gonzales por brindarme las herramientas y tutorías para terminar este trabajo de grado.

Contenido

1. RESUMEN 7
2. ABSTRACT 8
3. PALABRAS CLAVE (KEYWORDS) 8
4. INTRODUCCIÓN 9
5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 10
6. JUSTIFICACIÓN 11
7. OBJETIVOS 12
Objetivo general: 12
Objetivos específicos: 12
8. MARCO TEÓRICO 13
8.1. Antecedentes 13
8.1.1 Instalaciones de la planta: 13
8.1.1.1. Cribado 13
8.1.1.2. Decantador o presedimentador tipo convencional 15
8.1.1.3. Dosificación y mezcla rápida realizada por vertedero. 16
8.1.1.4 Floculadores tipo cox o tipo Alabama 17
8.1.1.5. Sedimentadores con paneles tipo hexagonales, acomodados tipo colmena 18
8.1.1.6. Filtros ascendentes 19
8.2. Historia 19
8.3. Procesos de una PTAR 20
9. METODOLOGÍA 23
1-Revisión del estado del arte 23
2-Evaluación de la remoción de turbiedad mediante un estudio de tratabilidad por prueba de jarras. 31
3-Diseñar un sistema que garantice un caudal homogéneo de dosificación de bajo costo. 34
10. ANÁLISIS Y RESULTADO 37
10.1 Histórico de la planta 37
Estudio estadístico del historial de turbiedades. 37
10.2. Prueba de jarras con el coagulante Sulfato De Aluminio (tipo B líquido) 42
10.2.1 Gráfica Turbiedad vs Dosis Óptima de coagulante (sulfato de aluminio tipo b líquido) .. 52
10.3. Pruebas de jarras de coagulante natural a base de Bore. 53
10.4. Pruebas de jarras de coagulante policloruro de aluminio. 57
10.5. Análisis de eficiencia de los tres coagulantes 58

10.6. Diseño de un sistema de caudal homogéneo de dosificación de bajo costo por flotación. . 59
10.6.1. Curva de calibración del sistema por flotadores..... 62
11. CONCLUSIONES 64
12. RECOMENDACIONES 65
13. BIBLIOGRAFIA 66

Tabla 1.Revision del estado del arte 26
Tabla 2.Normativa 31
Tabla 3.Historico de turbiedades 38
Tabla 4.Distribucion de frecuencias 40
Tabla 5.Primera prueba de jarras 42
Tabla 6.Segunda prueba de jarras 43
Tabla 7.Tercera prueba de jarras 44
Tabla 8.cuarta prueba de jarras 44
Tabla 9.quinta prueba de jarras 45
Tabla 10.Sexta prueba de jarras 46
Tabla 11.Septima prueba de jarras 46
Tabla 12.Octava prueba de jarras 47
Tabla 13.Novena prueba de jarras 48
Tabla 14.Décima prueba de jarras 48
Tabla 15.Undécima prueba de jarras 49
Tabla 16.Decimosegunda prueba de jarras 49
Tabla 17.Decimotercera prueba de jarras 50
Tabla 18.Decimocuarta prueba de jarras 50
Tabla 19.Decimoquinta prueba de jarras 51
Tabla 20.Turbiedad-Dosis óptima 52
Tabla 21.primera prueba de jarras coagulante natural a base de bore 55
Tabla 22.segunda prueba coagulante natural a base de bore 56
Tabla 23.Primera prueba de jarras coagulante policloruro de aluminio 58
Tabla 24.Curva de calibración 62

Ilustración 1.Planos de la planta. 13
Ilustración 2.cribado. Fuente propia 14
Ilustración 3.presedimentadores. Fuente propia 15
Ilustración 4.tanques y vertedero Fuente propia 16
Ilustración 5. Floculadores Fuente propia. 17
Ilustración 6.Sedimentadores. Fuente propia. 18
Ilustración 7.filtros. Fuente propia. 19
Ilustración 8.Test de Jarras. Fuente propia 31
Ilustración 9.Turbidimetro 32
Ilustración 10.prueba de jarras. Fuente propia 42
Ilustración 11.coagulante natural puro. Fuente propia 54
Ilustración 12.coagulante natural dosis. Fuente propia 54
Ilustración 13.prueba de jarras coagulante Natural a base de Bore. Fuente propia. 55
Ilustración 14.prueba de jarras coagulante policloruro de Aluminio. Fuente propia. 57
Ilustración 15.diseño del método de flotadores. Fuente propia. 59

Grafica 1.Turbiedad de la PTAR vs Días de mes 39
Grafica 2.Dosis óptima vs turbiedad 53
Grafica 3.Turbiedad residual (NTU) vs Dosis de coagulante (ml) 58
Grafica 4.Curva de Calibración. 62

RESUMEN

En el siguiente trabajo se ~~describe un~~describe un estudio de tratabilidad que se realizó a la planta de tratamiento de agua residual de la empresa PQA(Productos Químicos Andinos) ubicada en la ciudad de Manizales / Caldas, con más 25 años de experiencia y líder en la fabricación de películas plásticas para aplicaciones en los sectores agrícolas, industriales y comerciales. PQA cuenta con dos plantas productivas en Perú y una en México; es una empresa comprometida con el medio ambiente buscando de forma constante generar buenas prácticas operacionales que ayuden a prevenir y mitigar la contaminación causada por sus procesos; a través de su sistema de gestión ambiental se han desarrollado diferentes prácticas que ayudan a la protección del medio ambiente.

Para el año 2009 se creó la planta de tratamiento de agua residual, la cual trata de forma continua las aguas provenientes de la limpieza y reciclaje de las películas plásticas de invernadero; esta planta tiene un caudal de Entrada de 748.8 m^3 al día / salida 604.792 m^3 al día; se tiene un flujo de agua cerrada. Basado en esto, se desarrollaron pruebas de tratabilidad que consistieron en encontrar la relación Turbiedad Vs Dosis optima a escala laboratorio de coagulantes sulfato de aluminio, coagulante natural a base de bore y Policloruro de Aluminio, con dosis óptimas para una turbiedad de 100 NTU(Unidad Nefelometría de turbiedad por sus siglas en ingles) de 18,37 y 16 ml respectivamente para posteriormente implementarlo en la planta ya que no se cuenta con un sistema de homogenización ni se tienen las dosis óptimas de coagulante para las turbiedades que entran a la planta.

ABSTRACT

PQA (productos químicos andinos) is located in the city of Manizales / Caldas with more than 25 years of experience and leader in the manufacture of plastic films for applications in the agricultural, industrial and commercial sectors. PQA has two production plants in Peru and one in Mexico, it is a company committed to the environment. Through its environmental management system, different practices have been developed that help protect the environment.

For the year 2009, the wastewater treatment plant, the wastewater treatment plant, the wastewater treatment plant, the output plant of 748.8 m3 per day / output 604.792 m3 per day were created. closed water flow. The treatability tests that consisted in finding the ratio Turbiedad Vs. Optimal dose at laboratory scale of aluminum sulphate coagulants, natural coagulant based on bore and Aluminum Polychloride, with optimal doses for a turbidity of 100 NTU(Nephelometric Turbidity Unit for its acronym in English) of 18, 37 and 16 ml , respectively, for its implementation in the plant and that there is no homogenization system nor do they take into account the optimal coagulant doses for the turbidity that enters the plant.

PALABRAS CLAVE (KEYWORDS)

PTAR, Coagulación-floculación, flocs, turbiedad, agua residual, Sulfato de aluminio

INTRODUCCIÓN

Tratar el agua de un efluente de un proceso industrial, se ha convertido a nivel mundial en un objetivo claro de control de calidad del agua, ya que se debe hacer un respectivo tratamiento de limpieza y purificación del agua antes de llegar a un cuerpo receptor natural ya sea un rio, lago, quebrada o mar; tratar el agua que se utiliza en procesos industriales es primordial para la salud y bienestar del medio ambiente ya que al no tener un control de los vertimientos industriales se contaminaban fuentes hídricas necesarias para el desarrollo y la calidad de vida del ser humano, estos vertimientos de aguas negras o crudas de una empresa o industria se regulan mediante leyes y políticas las cuales al incumplirse son sancionadas por la ley.

Para el control de vertimientos y tratamiento del agua muchos países adoptan reglamentos basados en las guías para la calidad del agua potable de la Organización mundial de la salud. En el caso de Colombia se basa en la normativa de vertimientos.
La Resolución 0631 de 2015, por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones; esta resolución establece los valores límites permitidos que deberán cumplir los usuarios que realicen vertimientos puntuales a cuerpo de agua o a los sistemas de alcantarillado.(Sostenible, 2015)
Igualmente, se establecen los parámetros objeto de análisis y reporte por parte de las actividades industriales, comerciales o servicios la cual reglamenta el artículo 28 del Decreto 3930 de 2010 y actualiza el Decreto 1594 de 1984 (vigente desde hace 30 años) respondiendo a la nueva realidad urbana, industrial y ambiental del país. Esta permite el control de las sustancias contaminantes que llegan a los cuerpos de agua vertidas por 73 actividades productivas presentes en ocho sectores económicos del país. (Minambiente, 2010)

Por su parte, el tratamiento de aguas residuales ha tenido una aporte de suma importancia en el transcurso de la historia en cuanto a tratamientos de aguas contaminadas se refiere, teniendo sus primeras apariciones en la antigua Roma, debido a la necesidad de mantener los ríos limpios ya que son la principal fuente de vida de cualquier población.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La empresa PQA (productos químicos andinos) es una empresa comprometida con el cuidado del medio ambiente buscando permanentemente generar buenas prácticas operacionales que ayuden a prevenir la contaminación causada por sus procesos, A través de su sistema de gestión ambiental se han desarrollado diferentes prácticas que les ayudan a la protección del medio ambiente como lo es el programa de reciclaje de películas plásticas de invernadero que al final de su vida útil son devueltas a las instalaciones para seguir un proceso de aprovechamiento que les proporciona materia prima para otro tipo de producto, para ello se creó la planta de tratamiento de agua residual; esta trata de forma continua las aguas provenientes de la limpieza y reciclaje de estas películas plásticas de invernadero que llegan cargadas de contaminantes los cuales deben ser tratados.(productos químicos andinos, s.f.)

Sin embargo, la planta de tratamiento de agua residual, no opera de la mejor manera el agua que proviene de la limpieza de estas películas plásticas, ya que no cuenta con un sistema de homogenización que regule la turbiedad que entra a la planta y, por lo tanto, la cantidad de coagulante que se debe adicionar no está siendo previamente calculado; en reemplazo cuenta con una sola dosis de coagulante que no cambia, cuando debería cambiar por cada NTU diferente que entre.

¿Cómo mejorar el proceso de coagulación y dosificación de coagulante sabiendo que diariamente los valores físico-químicos varían en el agua a tratar y la técnica de dosificación no es la adecuada?

JUSTIFICACIÓN

El trabajo “Evaluación del proceso de coagulación - floculación y dosificación de coagulante en la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa PQA” se realizará con el fin de encontrar la relación Turbiedad Vs Dosis óptima de coagulante a través de unas pruebas de tratabilidad respondiendo a la pregunta “¿Cómo mejorar el proceso de coagulación y dosificación de coagulante sabiendo que diariamente los valores físico-químicos varían en el agua a tratar y la técnica de dosificación no es la adecuada? “, esto se realizará con el propósito de mejorar la calidad en el proceso de la planta de tratamiento de aguas residuales, disminuir la turbiedad del efluente y conseguir un agua más clarificada, debido a que el agua que está siendo tratada en el momento está saliendo con valores de turbiedad y color elevados, al mejorar estos parámetros se mejorará el proceso de limpieza de películas plásticas de invernadero recicladas y, ya que el proceso es de circuito cerrado, estos parámetros se irán mejorando paulatinamente.

OBJETIVOS

Objetivo general:

- Evaluar el proceso de coagulación-floculación y dosificación de coagulante en una planta de tratamiento de aguas residuales.

Objetivos específicos:

- Hacer una revisión del estado del arte.
- Evaluar la remoción de turbiedad mediante un estudio de tratabilidad por prueba de jarras.
- Diseñar un sistema que garantice un caudal homogéneo de dosificación de bajo costo.

MARCO TEÓRICO

8.1. Antecedentes

8.1.1 Instalaciones de la planta:

Recuperada de archivos PQA

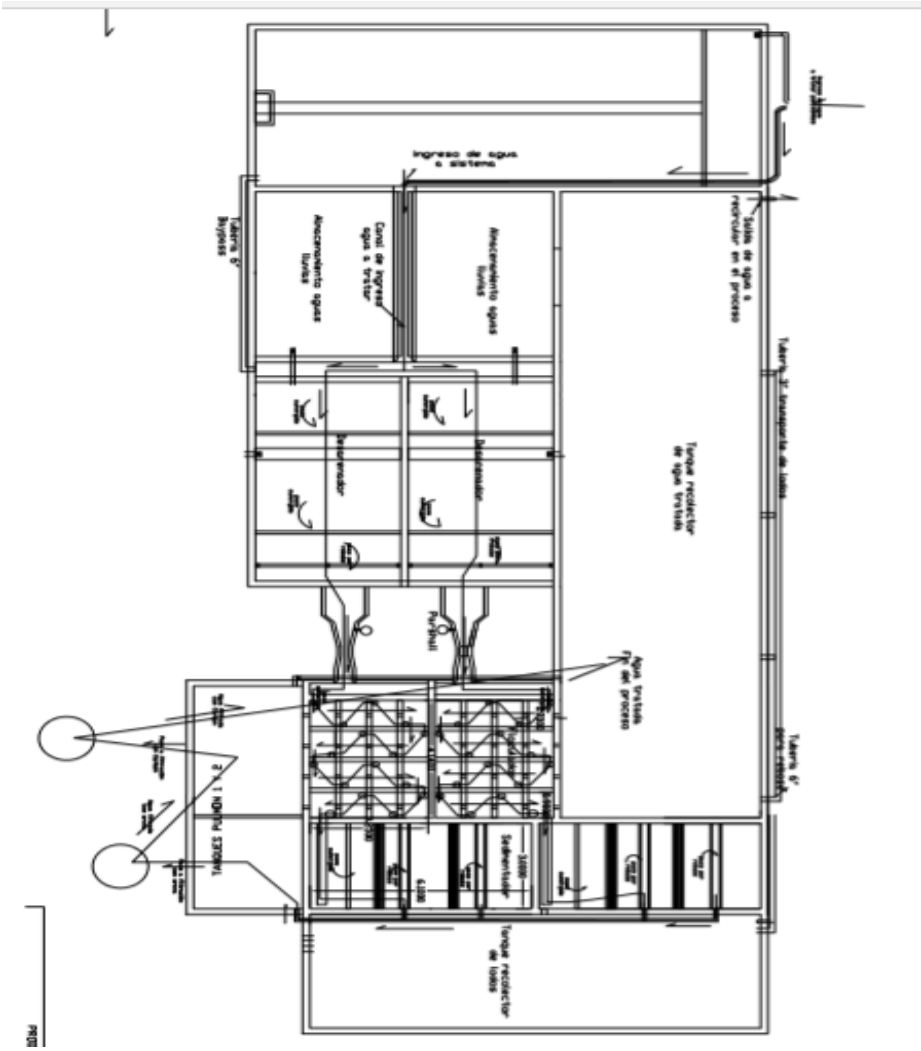


Ilustración 1.Planos de la planta.

En la imagen se muestra el plano general de la planta desde una vista superior, en ella se puede observar las operaciones unitarias de la planta y los tanques de almacenamiento, se ve la unidad de cribado, decantador primario, canaletas parshall, floculadores, sedimentadores con estructura panal de abejas, 2 tanques de aguas lluvias, un tanque de agua tratada y un tanque de lodos.

8.1.1.1. Cribado

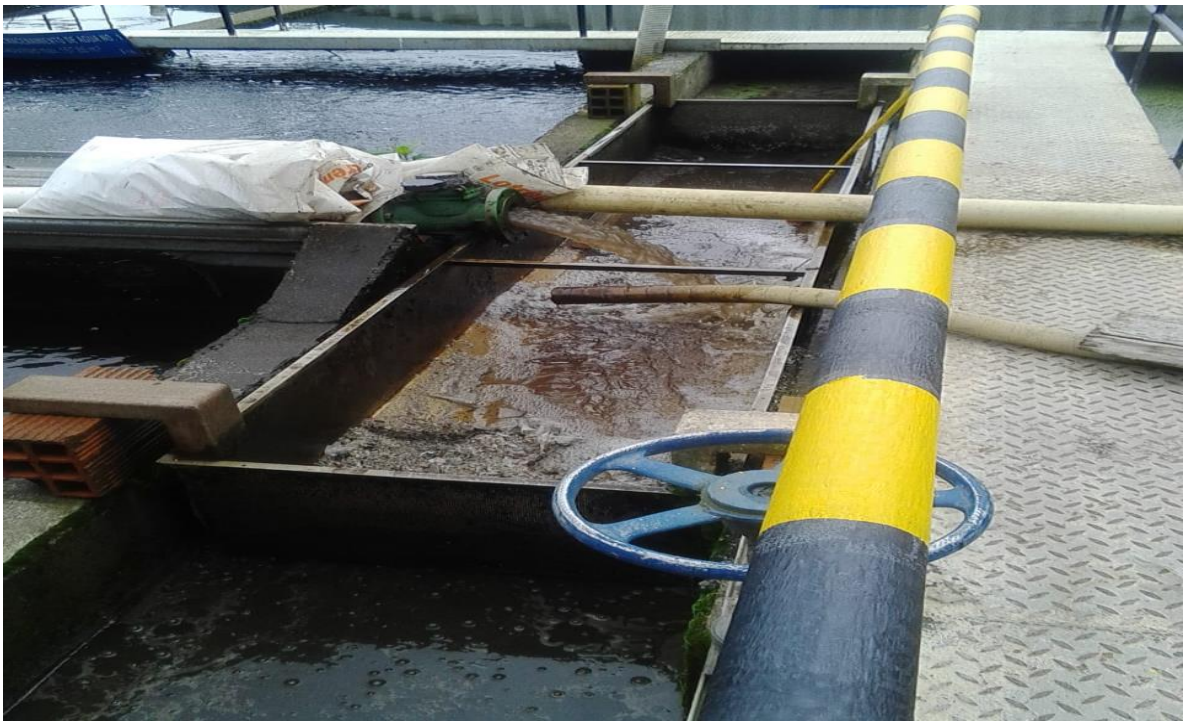


Ilustración 2.cribado. Fuente propia

El cribado de la planta de tratamiento de agua residual de PQA consta de un cribado convencional; una malla perforada la cual retiene los sólidos de mayor tamaño y deja pasar los sólidos menores al tamaño de sus perforaciones.

8.1.1.2. Decantador o presedimentador tipo convencional

Ilustración 3.presedimentadores. Fuente propia

La Planta de tratamiento de aguas grises de la empresa PQA cuenta con dos presedimentadores convencionales, los cuales ayudan a disminuir la turbiedad antes de entrar al proceso de dosificación y mezcla rápida.

8.1.1.3. Dosificación y mezcla rápida realizada por vertedero.

Ilustración 4.tanques y vertedero Fuente propia

La PTAR cuenta con un sistema de dosificación por tanques de almacenamiento de coagulante Sulfato de Aluminio (tipo B líquido) y un sistema de mezcla rápida por vertedero, donde se produce la coagulación.

El Sulfato de Aluminio, $Al_2(SO_4)_3 \times 18H_2O$, aunque es una sustancia irritante, lesiona las mucosas y puede causar hemorragias severas, es el que se utiliza con mayor frecuencia en plantas de tratamiento de agua potable debido a su bajo costo y su manejo sencillo; se encuentra en presentación liquida y sólida, y en diferentes concentraciones de alúmina (Al_2O_3), parte reactiva del coagulante.

Su propiedad como catión metálico está asociada con el agua en solución, actuando como ácidos y con las bases de la misma, ocurriendo un consumo y un descenso del pH al actuar también con las bases que constituyen la alcalinidad.(Beltran, 2017)

8.1.1.4 Floculadores tipo cox o tipo Alabama

Ilustración 5. Floculadores Fuente propia.

La PTAR cuenta con 2 floculadores tipo cox o Alabama en los cuales se produce la mezcla lenta o floculación.

8.1.1.5. Sedimentadores con paneles tipo hexagonales, acomodados tipo colmena

Ilustración 6.Sedimentadores. Fuente propia.

La PTAR cuenta con dos sedimentadores con paneles tipo hexagonal, acomodados tipo colmena. El sistema es mucho más versátil que los tradicionales, ya que se adecúa a cualquier construcción por ende se acopla a cualquier característica geométrica.

En esta etapa las partículas tienden a sedimentarse (quedarse en el fondo del depósito de agua) cuando tienen un peso específico mayor al fluido. En cambio, cuando las partículas tienen un peso específico menor, flotan.

El tiempo para la sedimentación de una partícula es inversamente proporcional a su tamaño por ello la importancia de las etapas de coagulación y floculación para acelerar el proceso de sedimentación.(Roosevelt & Briceño, 2016)

8.1.1.6. Filtros ascendentes

Ilustración 7.filtros. Fuente propia.

La PTAR cuenta con 5 filtros ascendentes 3 filtros de gravilla y 2 filtros de carbón activado este es un producto comercial con superficie específica alta, de carácter microporoso y una alta capacidad de adsorción, por lo que elimina una amplia variedad de contaminantes orgánicos e inorgánicos y metales pesados presentes en medios acuosos.(Ñacari, 2017)

8.2. Historia

A través de la historia los tratamientos de agua residual han sido pieza fundamental en el desarrollo de las civilizaciones comenzando los primeros sistemas de tratamientos de agua en 1887 donde Talbot de Urbana (Illinois) le colocó bafles a pozos sépticos siendo estos los primeros tratamientos. En 1905 Karl Imhoff, ingeniero alemán separa las dos fases del proceso: sedimentación y digestión. Pero el inmenso avance fue el proceso de mineralización de lodos en periodos largos de retención, haciendo más segura e inofensiva la disposición. (Lizarazo & Orjuela, 2013)

Sin embargo la mayoría de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en los países en desarrollo comprendían el tratamiento primario y secundario sin incluir ningún tratamiento terciario o procesamiento de lodos. Los tomadores de decisiones piensan que el tratamiento adicional es costoso e ineficiente donde los beneficios ambientales obtenidos son limitados.(Awad, Alalm, & El-etriby, 2019)

Por ejemplo en Latinoamérica de 1950 a 1995, la población aumentó de 179 millones a 481 millones de habitantes, lo cual correspondió con una carga mayor sobre la infraestructura existente y un aumento en la producción de residuos domésticos, lo que significó que los tratamiento de aguas residuales tendieron a tener mayor demanda a medida que la población

iba creciendo para así evitar propagación de enfermedades y mantener condiciones salubres.(Reynolds & Ph, 2002)

En Colombia, en 1993, se construyó la primera PTAR constituyéndose en la base y en los primeros pasos para construir la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR). En el Salitre que se encuentra en el norte de Bogotá (Colombia), en la desembocadura del río Juan Amarillo, uno de los principales afluentes del río Bogotá, en el año 2000 se puso en funcionamiento la planta más grande de Colombia. Cuenta con una capacidad media de 4 m3/s, un nivel suficiente para albergar los volúmenes de descargas de aguas residuales existentes cuando se firmó el inicio de las obras de su construcción hace más de dos décadas; esta planta carga con las aguas residuales generadas por los hogares e industrias del centro y el norte de la ciudad que cuenta con cerca de 2.700.000 habitantes.(Trillas & Ricart, 2019)

8.3. Procesos de una PTAR

Proceso coagulación-Floculación

Se llama Coagulación-Floculación al proceso en el cual las partículas se aglomeran en pequeñas masas, con peso específico superior al del agua, llamadas flocs. Dicho proceso se usa para lograr la:

-Remoción de turbiedad orgánica o inorgánica.

-Remoción de color verdadero y aparente.

-Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor en algunos casos y de precipitados químicos suspendidos, en otros.

-Eliminación de bacterias virus y organismos patógenos susceptibles a ser separados.(Garci & Torres, 2015)

Clases de Coagulante:

Sales de Aluminio: Las sales de aluminio se caracterizan por formar flocs ligeramente pesadas. Las más conocidas son:

El Sulfato de Aluminio, Al2(SO3) · 14H2O,el Sulfato de Aluminio Amoniacal y el Aluminato Sódico. El primero es el que más se utiliza en las plantas de tratamiento debido a su bajo costo y a su manejo relativamente sencillo.

Sales de Hierro: En las sales de Hierro se utilizan el Cloruro Férrico, FeCl3, y los Sulfatos de Hierro Férrico y Ferroso, Fe(SO4)3 y FeSO4. Estos Forman flocs más pesadas y de mayor velocidad de asentamiento que las sales de aluminio.

Polímeros o polielectrolitos: Los polímeros se caracterizan por ser compuestos complejos de alto peso molecular que se utilizan no propiamente como coagulantes sino como ayudantes de coagulación. La dosificación de estas sustancias se lleva a cabo en concentraciones muy

bajas, lo cual es una gran ventaja y compensa el costo del polímero. Estos polímeros están siendo altamente empleados en plantas de tratamiento de agua potable debido a que generan pocos lodos y estos son de fácil manejo. (Osorno, 2009)

Un ejemplo es el policloruro de aluminio (abreviado generalmente como PAC) es el resultado de un proceso de fabricación complejo bajo condiciones de trabajo controladas.(Shirley & Medina, n.d.)

CRIBADO: Es un proceso que separa materiales de gran tamaño. Esto se cumple proporcionando un movimiento en particular al medio de cribado, el cual la mayoría de las veces son mallas o placas perforadas que dejan pasar los tamaños menores al tamaño de su orificio y las partículas más grandes se acarrean como residuos. (Quiminet, 2009)

DESARENADOR: Los desarenadores son estructuras hidráulicas que tienen como función remover las partículas de cierto tamaño como arenas y sólidos que la captación de una fuente superficial permite pasar. Se utilizan en bocatomas para acueductos, en centrales hidroeléctricas (pequeñas), PTARs y PTAPs y en sistemas industriales.

FLOCULADOR: El Floculador, en este caso particular tipo Cox, tiene como objetivo generar flócs a partir de una agitación lenta. Entre los floculadores más conocidos se pueden citar, en primer lugar, las unidades de pantallas de flujo horizontal y vertical, las de medios porosos, la de tipo Alabama y Cox los más utilizados, y los floculadores de mallas. En la agitación mecánica tenemos agitador vertical y agitador horizontal.(Baxter, Hastings, Law, & Glass, 2008)

FLOCULADOR TIPO COX: El floculador COX está conformado por cámaras que llevan un codo que impulsa el agua hacia arriba la cual vuelve a ser tomada en el fondo, estos codos son ubicados alternadamente, el primero a la derecha el que sigue a la izquierda para que no se genere un corto circuito, se podría decir que es un floculador vertical y se puede calcular de esa manera, el mínimo de cámaras es de 9 pero se recomiendan 12, la velocidad en el codo está entre 0.40 y 0.20 m/s, para evitar rotura en el floc, en el extremo de los codos se ubica una platina que se puede cambiar, cuando se requiera cambiar el gradiente.

SEDIMENTADOR TIPO COLMENA: Los sedimentadores con estructura hexagonal tipo panal de abeja, son un sistema mucho más versátil que las tradicionales Placas Planas, ya que este es aplicable a cualquier planta de tratamiento sin importar su tamaño útil, desde fincas, condominios, municipios, hasta ciudades capitales, aumentando la capacidad del decantador en más de un 200%. Su construcción es simple y se hace sobre cualquier medida sin importar la geometría del decantador ya sea circular o rectangular, evitando regirse por un patrón de medida estándar que incurre por lo general en sobrecostos. La experiencia nos dice que es mucho más rápida la decantación de un agua cargada de materias en suspensión dentro de un tubo que tiene cierta inclinación sobre la línea horizontal, que dentro de un tubo colocado verticalmente. Este diseño permite obtener una decantación ordenada y dirigida, acelerando la precipitación de los fangos en una altura mínima y por su forma compacta no se desperdicia materia, ni tiempo en su instalación, lo que se ven reflejados en dinero.

FILTROS CONVENCIONALES DE ARENA

Los filtros convencionales o de arena son utilizados para filtración de aguas con una carga de sólidos baja o media. Estos filtros consiguen una retención de partículas de hasta 5 micras. Los sólidos en suspensión que lleva el agua son retenidas durante su paso a través del lecho de arena. Una vez colmatado el filtro puede ser regenerado por lavado a contra corriente. (Piamonte & Arcila, 2013)

FILTROS DE CARBON ACTIVADO: Los filtros de carbón activado se componen de carbón poroso producido artificialmente, junto con la naturaleza química de los átomos de carbono que lo conforman, tienen la propiedad de atraer y atrapar de manera preferencial ciertas moléculas del fluido que lo rodea.

A esta propiedad de atraer y atrapar ciertas moléculas se le llama adsorción, al sólido se le denomina "adsorbente" y a la molécula atrapada "adsorbato"; la unión entre el carbón y el adsorbato se lleva a cabo por medio de fuerzas de London, que son una de las clases de fuerzas de Van der Waals. Éstas son relativamente débiles y, por lo tanto, reversibles. El carbón activado es un compuesto covalente que muestra preferencia por moléculas covalentes, esto es, moléculas que tienden a ser no iónicas y poco polares. Tal es el caso de los compuestos orgánicos, por lo tanto, el carbón activado se considera un adsorbente casi universal de moléculas orgánicas.(Ramirez & Irma, 2008)

PRUEBA DE JARRAS: La prueba o test de jarra es la técnica más utilizada para determinar la dosis de coagulante y otros parámetros. En ella se tratan de simular los procesos de coagulación, floculación y sedimentación a nivel de laboratorio.(Piamonte & Arcila, 2013)

Para conocer la dosis óptima de coagulante se realizan ensayos de prueba de jarras, que simulan las condiciones de coagulación-floculación de una planta de tratamiento de agua residual o potable, buscando obtener el floc pesado y compacto que pueda quedar fácilmente retenido en los sedimentadores y que no se rompa al pasar los filtros, ni en el trayecto de los floculadores.

En la prueba de jarras se determina el tamaño del floc producido a través del índice de Willcomb, el tiempo inicial de formación del floc y la turbiedad residual después de un periodo de sedimentación no inferior a diez minutos; se escoge como dosis óptima la jarra que presenta el floc más grande, mayor velocidad de asentamiento y menor turbiedad residual.(Nadia, 2011)

METODOLOGÍA

1-Revisión del estado del arte

1. Se realizó una revisión del estado del arte con artículos científicos de 20 a 30 (en inglés y en español) para pruebas de tratabilidad en plantas convencionales y sistemas de dosificación de bajo costo.

2. Se observó similitudes y diferencias de plantas de tratamiento de aguas grises industriales convencionales, para su posterior implementación.

En las siguientes tablas se sintetizó la revisión del estado del arte teniendo en la primera tabla artículos y tesis y en la segunda la normatividad.

Titulo	Coagulante	Gradientes	pH	Remoción de turbiedad	Dosis óptima	Referencia bibliográfica
Evaluación y optimización de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Purificación en el departamento del Tolima.	Sulfato de aluminio	Canaleta parshall 759.8 s-1 Floculador 106.7 s-1	-	-	-	(Piamonte & Arcila, 2013)
Influencia del pH, concentración de coagulante y floculante en la remoción de sólidos suspendidos, demanda química de oxígeno y turbidez en el efluente de lavado de pulpa de la planta papelera trupal s.a	Policloruro de aluminio y sulfato de aluminio	-	4,01	98,49%	7.5 ml/L	(Garci & Torres, 2015)
sistemas de plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia	N/A información general de plantas de tratamiento de aguas residuales	Basado en normativa	-	-	Basado en normativa	(Lizarazo & Orjuela, 2013)

Estado actual de los sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales de Colombia	Informacion detallada de PTARs en Colombia	-	-	-	-	(Arango, 2018)
Variación en la reducción de la turbiedad de lixiviados del relleno sanitario la esmeralda, mediante un proceso de coagulación/floculación ayudado por almidón de plátano y aguas termales.	Agua termal y almidón de plátano	-	8,1	Turbiedad inicial de 68 NTU	Agua termal 40 (ml) Almidón de plátano(mg)75	(Castro, 2016)
Evaluación del proceso de coagulación-floculación de una planta de tratamiento de agua potable.	Sulfato de aluminio tipo B	-	7.37	Turbiedad inicial de 163	10 (ml)pass 5.5 (ml)S.A 7 (ml) PAC	(Osorno, 2009)
Environmental and cost life cycle assessment of different alternatives for improvement of wastewater treatment plants in developing countries	-	-	-	-	-	(Awad et al., 2019)
Policloruro de aluminio en el proceso de potabilización de aguas superficiales	Cloruro férrico Sulfato de aluminio	-	6-7	132	15 mg/l	(Valero, 1998)
Tecnología para aplicación del policloruro de aluminio en procesamiento de aguas.	Policloruro de aluminio	-	7.68	95%	50 mg/l PAC	(Shirley & Medina, n.d.)

Small wastewater treatment plants in austria – technologies , management and training of operators	-	-	-	-	-	(Langergraber, Pressl, Kretschmer, & Weissenbacher, 2018)
Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica	-	-	-	-	-	(Reynolds & Ph, 2002)
PTAR el salitre ,Bogotá(Colombia)	-	-	-	-	-	(Trillas & Ricart, 2019)
Uso de moringa oleífera y carbón activado para el mejoramiento de la calidad del agua residual de lavado vehicular en el distrito de san Martín de Porres tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica.	Moringa oleífera	-	8,25	98,6%	140 mg /l	(Ñacari, 2017)
Evaluación de dos clases de carbón activado granular para su aplicación efectiva en la remoción de fenoles en los vertimientos de una empresa de jabones	-	-	5,19-5,5	-	-	(Ramírez & Irma, 2008)
Tratamiento de agua para consumo humano	-	-	-	-	-	(Nadia, 2011)

Evaluación de la sustitución del agente coagulante - sulfato de aluminio- en el proceso actual de coagulación-floculación de agua potable en la empresa eaf sas esp	- Sulfato férrico liquido -PAC	-	6,84	-	-	(Beltran, 2017)
Sistema de monitoreo para una red de distribución de agua usando una red de sensores inalámbricas.	-	-	-	-	-	(Roosevelt & Briceño, 2016)
Optimización de la coagulación-floculación en la planta de tratamiento de agua potable de la sede recreacional Campoalegre-Cajasan	Sulfato de Aluminio granulado	248 s-1-250 RPM	De 5,5 a 7,5	85% y 95% según el manejo del pH	25 mg/l	(Amorocho, 2010)
Propuesta metodológica para tratamiento de lodos provenientes de plantas de potabilización en la sabana de Bogotá.	Sulfato de Aluminio	-	-	41.66%	-	(Torres, 2013)
Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio (al2(so4)3 18h2o) en el proceso de coagulación floculación para el tratamiento de agua potable por medio del uso de una red neuronal artificial.	Sulfato de Aluminio	-	5,5 a 8,0	99.5%	-	(Claudia Lorena Barajas Garzon, 2015)
Diagnóstico y optimización de la ptap del municipio de Fómeque, (Cundinamarca)	sulfato de aluminio tipo A	-	< 6.5	-	-	(Cindy Jiménez, 2017)

Tabla 1.Revision del estado del arte

A continuación se describirán brevemente cada uno de los artículos o tesis.

1-Evaluación y optimización de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Purificación en el departamento del Tolima.

La planta de tratamiento del municipio de Purificación, Tolima, está funcionando con un sobre diseño lo que genera sobrecostos de operación y mantenimiento; de igual forma, en determinadas operaciones unitarias de la planta de tratamiento, el agua no cumple con los requerimientos mínimos, lo que genera la necesidad de buscar alternativas para mejorar las condiciones del agua del municipio de Purificación.

2- Influencia del pH, concentración de coagulante y floculante en la remoción de solidos suspendidos, demanda química de oxígeno y turbidez en el efluente de lavado de pulpa de la planta papelera Trupal S.A

La planta papelera Trupal S.A con su programa para el lavado de Pulpas de frutas (materia prima) la cual se diluye con licor negro reciclado, vierte aguas residuales provenientes de las lavadoras de la industria.
Mediante la búsqueda de dosis óptimas de coagulantes y floculantes busca disminuir el impacto ambiental de contaminación.

3- Sistemas de plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia.

El trabajo Sistemas de plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia está enfocado en revisar y comparar los diferentes sistemas de las plantas del país, trabajando en programas de generación de desechos, recolección de basuras y tratamiento de A.R.

4-Estado actual de los sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales de Colombia.

Este trabajo contiene los lineamientos normativos para la gestión y el manejo del recurso hídrico en Colombia, específicamente en saneamiento básico de aguas residuales, desde su recolección, disposición, tratamiento, lodos y gases.

5- Variación en la reducción de la turbiedad de lixiviados del relleno sanitario la esmeralda, mediante un proceso de coagulación/floculación ayudado por almidón de plátano y aguas termales.

El proyecto de investigación enfatiza en buscar un tratamiento alternativo para los lixiviados, que tiene como finalidad reducir los niveles de contaminación en los cuerpos de agua, también propone aplicar coagulantes orgánicos los cuales son menos perjudiciales para el medio ambiente.

6-Evaluación del proceso de coagulacion-floculacion de una planta de tratamiento de agua potable.

El presente trabajo tiene como finalidad evaluar el proceso de coagulacion-floculacion de la planta de tratamiento de la Cervecería Unión S.A, cuyo principal recurso es el agua y por ende es de gran importancia evaluar el sistema de tratamiento y, verificar si la calidad del agua con que se están elaborando sus productos, es la ideal.

7-Environmental and cost life cycle assessment of different alternatives for improvement of wastewater treatment plants in developing countries.

El presente trabajo evalúa el ciclo de vida ambiental y los costos de diferentes alternativas para el mejoramiento de plantas de tratamiento de aguas residuales en países en desarrollo, para ello se implementan cuatro escenarios en los cuales se le da un tratamiento terciario a los procesos de potabilización, se trata el manejo de lodos, su digestión anaerobia y otros procesos.

8- Policloruro de aluminio en el proceso de potabilización de aguas superficiales.

El presente trabajo evalúa la eficiencia del policloruro de aluminio en la planta de tratamiento del Llobregat (Barcelona-España) comparándola con otros coagulantes debido a que el agua que entra a la planta es captada directamente del rio.

9- Tecnología para la aplicación del policloruro de aluminio en procesamiento de aguas.

El presente documento busca determinar qué tipo de coagulantes son más eficaces para el agua utilizada y así poder establecer criterios adecuados para la aplicación de polímeros ayudantes de floculación, para ello se tiene el coagulante policloruro de aluminio, como coagulante principal.

10- Small wastewater treatment plants in austria – technologies, management and training of operators.

En el presente artículo se evidencia el estudio que se hizo sobre pequeñas plantas de tratamiento de agua residual en Austria, las cuales vienen en auge debido a la demanda por parte de pequeñas poblaciones y empresas.

11-Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica.

Este artículo tiene como objetivo demostrar el crecimiento poblacional en Latinoamérica ligado a la necesidad de implementar tratamientos de aguas residuales y a la necesidad de una infraestructura que permita mejorar las condiciones de salud y saneamiento, con el fin de evitar enfermedades y vectores.

12- PTAR el salitre, Bogotá (Colombia)

Este informe analiza el plan de mejoramiento y ampliación de la planta de tratamiento de agua residual del Salitre de Bogotá, Colombia, para lograr más capacidad y eficiencia.

De acuerdo a esto la planta pasará de realizar un solo tratamiento primario (eliminación de sólidos) para dar paso a uno secundario de lodos activos (reducción de materia orgánica) y desinfección, mediante cloro.

13- Uso de moringa oleífera y carbón activado para el mejoramiento de la calidad del agua residual de lavado vehicular en el distrito de san Martín de Porres tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica.

En la presente tesis se tiene como objetivo principal analizar la remoción de contaminantes presentes en el agua residual de lavado vehicular mediante el uso del coagulante moringa oleífera y carbón activado, para mejorar la calidad del agua, y así poder cumplir con la normativa vigente.

Para ello se tomó una muestra de agua de un centro de lavado de carros en el distrito de San Martín de Porres y se realizaron las mediciones de campo como el pH y la temperatura y, se analizaron los parámetros de campo físicos y químicos.

14-Evaluación de dos clases de carbón activado granular para su aplicación efectiva en la remoción de fenoles en los vertimientos de una empresa de jabones

En el presente trabajo de grado se tuvo como objetivo principal la investigación y evaluación de dos clases de carbón activado, uno de origen mineral y otro vegetal, para su aplicación en la remoción de fenoles en los vertimientos de una empresa de jabones conocida como AzulK S.A.

15- Tratamiento de agua para consumo humano

El presente trabajo tiene como objetivo principal describir las diferentes actividades que se realizan en la potabilización del agua, describiendo contaminantes, procesos de una PTAP y químicos utilizados en la potabilización.

16- Evaluación de la sustitución del agente coagulante - sulfato de aluminio- en el proceso actual de coagulación- floculación de agua potable en la empresa EAF sas esp

El presente trabajo tiene como finalidad evaluar la sustitución del coagulante sulfato de aluminio en la planta de tratamiento de aguas de la Empresa Aguas de Facatativá, para lo cual se han seleccionado el cloruro férrico, el sulfato férrico y el policloruro de aluminio como las opciones que generan mayor ventaja económica y operativa, dentro del proceso.

17- Sistema de monitoreo para una red de distribución de agua usando una red de sensores, inalámbrica.

En el presente trabajo de grado se expone el diseño e implementación de un prototipo de monitorización de las propiedades físicas y químicas del agua en diferentes etapas de una planta de potabilización. Adicionalmente se desarrollan dos herramientas con interfaces gráficas de fácil comprensión, que permiten visualizar la información a través de una plataforma móvil y otra de escritorio.

18- Optimización de la coagulación-floculación en la planta de tratamiento de agua potable de la sede recreacional Campoalegre-Cajasan

En el presente proyecto de grado se expone la optimización al proceso Coagulación-Floculación en la PTAP de Campoalegre-Casajan, donde se estudia el comportamiento de parámetros como la Turbiedad, el color, el pH y la alcalinidad en relación a las lluvias y a dos fuentes de abastecimiento de la planta.

19- Propuesta metodológica para tratamiento de lodos provenientes de plantas de potabilización en la sabana de Bogotá.

En este proyecto de grado tiene como objetivo plantear acciones que mejoren los sistemas de tratamiento de agua potable y mitiguen impactos generando una metodología que proporcione diseños para un tratamiento de lodos.

20- Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio (al2(so4)3 18h2o) en el proceso de coagulación floculación para el tratamiento de agua potable por medio del uso de una red neuronal artificial.

El presente proyecto tiene como objetivo llevar a cabo la determinación de la dosis óptima de Sulfato de Aluminio utilizando modelos de correlación entre variables como las regresiones lineales y polinomiales y al mismo tiempo un modelo de Red Neuronal Artificial (RNA) para asi conseguir una coagulación efectiva en el agua a tratar.

21- Diagnóstico y optimización de la ptap del municipio de Fómeque, (Cundinamarca)

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la eficiencia del proceso de descontaminación de la PTAP del municipio de Fómeque (Cundinamarca), describiendo el estado actual de la planta y determinando a nivel fisicoquímico los puntos de muestreo.

Normativa utilizada como soporte en la revisión del estado del arte.

RESOLUCIÓN 0330 DE 2017	Ministerio de vivienda, ciudad y territorio	2017	Por el cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico-RAS y se derogan las resoluciones 1096de 2000,0424 de 2001,0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de2009.
RESOLUCIÓN 0631 DE 2015	Ministerio de medio ambiente y desarrollo sostenible	2015	Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

Procedimiento para el método de jarras en la coagulación-floculación del agua.	Norma técnica Colombiana	1996	Gestión ambiental. Agua. Procedimiento para el método de jarras en la coagulación-floculación del agua.

Tabla 2.Normativa

2-Evaluación de la remoción de turbiedad mediante un estudio de tratabilidad por prueba de jarras.

Para poder evaluar la remoción de turbiedad mediante un estudio de tratabilidad por prueba de jarras se tomaron muestras del agua cruda y se realizaron 15 pruebas en el laboratorio de la PTAR de la empresa PQA (Productos Químicos Andinos).

Para ello se tomaron 24 litros de agua problema para hacerle la prueba de jarras, recordando que cada jarra debe contener 2 litros de agua problema para un total de 6 jarras, las pruebas se hicieron dos veces para cerciorarse que los valores finales fueran los correctos y no generaran margen de error. Para realizar las pruebas se necesitó un test de jarras cuadradas de 2 litros y un turbidímetro, que se ven a continuación.

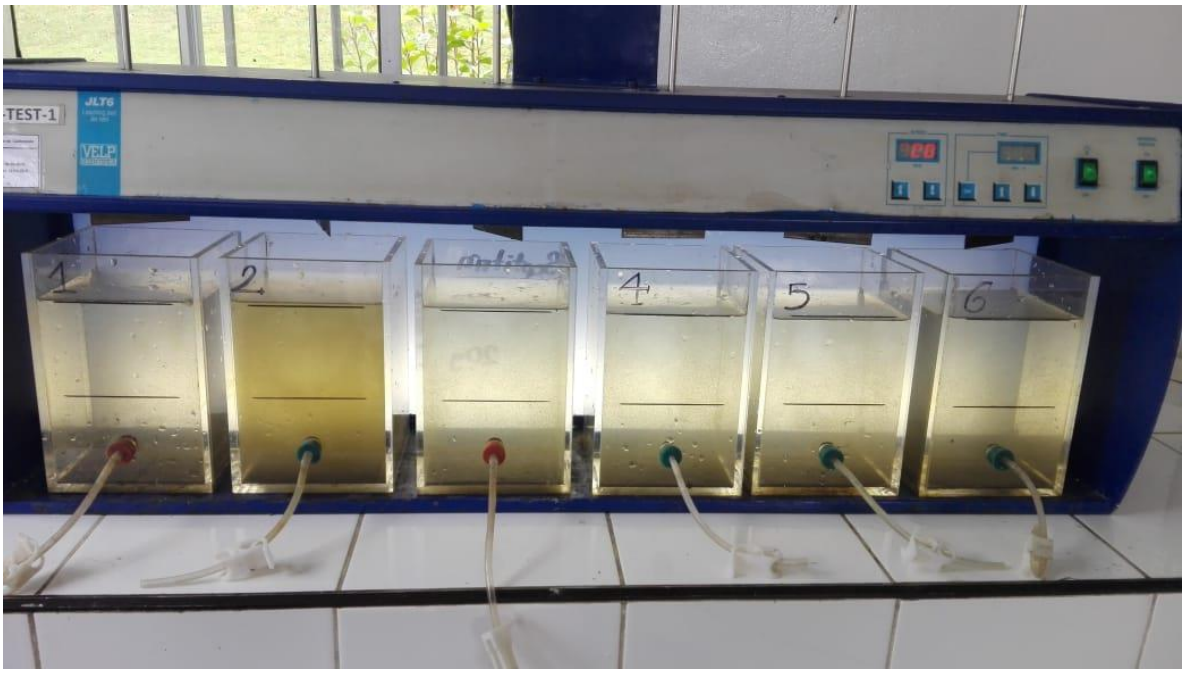


Ilustración 8.Test de Jarras. Fuente propia

Ilustración 9.Turbidimetro

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:

Rangos de medición: 0,00 hasta 50,00 NTU y 50 hasta 1000 NTU

Resolución: 0,01 y 1 NTU

Precisión: ±5 % del rango de medición o ±0,5 NTU

Fuente luminosa: LED infrarrojo a 850 nm

Duración del sensor: de larga duración

Detector de luz: fotodiodo

Tiempo de medición: <10 s

Baterías: 6 x baterías de 1,5 V AAA

Condiciones ambientales: máx. 50 °C, máx. 85 % H.r.

Dimensiones: (alto x ancho x profundo) 155 x 76 x 62 mm

Peso: 320g. (“Ks-pool,” n.d.)

Se procedió a realizar diferentes pruebas de jarras, con diferentes turbiedades, para poder determinar la dosis óptima de coagulante para cada una de ellas. Para determinarlo se siguieron los siguientes pasos:

1. Se realiza una solución con una concentración de 1% de sulfato de aluminio tipo B (liquido) de la siguiente manera:

-Se escoge un balón aforado de 100 mililitros.

-Para calcular la cantidad en ml de Sulfato de Aluminio hacemos una solución al 1%. Significa que, en 100 mililitros de solvente, hay 1 mililitro de soluto; sin embargo, como esta relación es para densidades de 1g/ml como la del agua y el sulfato tiene una densidad de 1,33 g/ml hacemos la siguiente relación:

$$\left(\frac{1g/ml}{1{,}33g/ml}\right) = 0{,}752$$

Es decir que para realizar soluciones con sulfato de aluminio al 1% tenemos que en 100 mililitros de solución hay 0,752 mililitro de sulfato de aluminio tipo B líquido.

-con una jeringa tomamos 0.752 ml de Sulfato de aluminio en estado puro.

-posteriormente agregamos esta cantidad en el balón aforado y completamos con agua destilada los 100 mililitros.

2. Al agua cruda se le determinó: temperatura, turbiedad y pH.

3. En cada una de las jarras se pusieron dos litros de agua, previamente agitada.

4. Se tomaron diferentes volúmenes conocidos de coagulante para dosificar en las 6 jarras, de la siguiente forma:

-Se agregó diferente volumen de sulfato de aluminio comenzando en la primera prueba con valores muy bajos, teniendo un rango entre 0,4 y 3,6 ml y a medida que la prueba fuera negativa, es decir que no tuviera una dosis óptima, el rango cambiaba a valores mayores de volumen, hasta hallar un rango en donde se encontrara el valor óptimo requerido.

5. Se ubicaron las paletas dentro de las jarras.

6. Se puso el sistema de agitación al máximo (300 rpm).

7. Durante la agitación, se dosificó el coagulante, de modo que en todas las jarras se aplique a la misma profundidad y al mismo tiempo.

8. A los 20 o 30 segundos de agitación, se disminuyó la velocidad de rotación de las paletas y se dejó flocular durante 25 minutos.

9. A los 25 minutos de la floculación, se apagó la máquina y se dejó sedimentar por 10 minutos.

10. Pasados los 10 minutos de sedimentación, se procedió a tomar pH, temperatura y turbiedad final. (Técnica, coagulación-floculación, & Agua, 2001)

2. Al tener las dosis óptimas para cada rango de turbiedad se procedió a realizar la gráfica turbiedad vs dosis óptima.

3-Diseñar un sistema que garantice un caudal homogéneo de dosificación de bajo costo.

1-Se analizaron diferentes diseños de dosificadores de bajo costo, en la revisión del estado del arte.

2-Se entregó un diseño en AutoCAD con sus correspondientes dimensiones, caudales y diámetro, los cuales se ven reflejados en el análisis y resultados, siguiendo los siguientes parámetros.

-Para saber qué caudal de diseño requiere el sistema por flotadores, se debe verificar los caudales de dosificación de sulfato de aluminio en la planta de tratamiento y buscar el caudal máximo que se requiere.

-Para ello se utiliza la fórmula de dosificación, en la cual se escala la dosis óptima hallada en el laboratorio para la planta de tratamiento.

$$Qd = \frac{Do.Qpl.60}{1000} * d$$

Donde:

Qd=Caudal dosificador

Qpl=Caudal de la planta

d= densidad del sulfato de aluminio tipo b (liquido)

- Después de saber el caudal máximo que se tiene en el sistema de dosificación se procede a hallar el caudal óptimo que requiere el sistema por flotadores, para ello se utiliza la ecuación de Bernoulli y el principio de Torricelli de la siguiente manera.

$$Q = V.A$$

Donde:

Q= caudal

V=velocidad de salida del flujo

A= área del orificio de salida

-Para conocer la velocidad de salida del líquido se utiliza la ecuación de Bernoulli.

-La ecuación de Bernoulli describe el comportamiento de un fluido bajo condiciones variantes y tiene la siguiente forma:

$$P1 + \frac{1}{2}\rho V1^2 + \rho g y1 = P2 + \frac{1}{2}\rho V2^2 + \rho g y2$$

Donde:

P1= Presión de entrada

P2=Presión en el punto de salida del orificio

ρ=Densidad del líquido

V2=Velocidad de Salida

V1=Velocidad en el punto 1

Y2=Altura 2

Y1=Altura 1

-Tomando como base la ecuación de Bernoulli se trabaja en el sistema de tanques de dosificación de la siguiente manera.

$$P1 + \frac{1}{2}\rho V1^2 + \rho g y1 = P2 + \frac{1}{2}\rho V2^2 + \rho g y2$$

P1 es igual a la presión atmosférica ya que el tanque está abierto a la atmósfera

V1 es la velocidad de descenso del agua; sin embargo, debido a que el área del tanque es muy grande, la velocidad tiende a 0

Y1 es igual a la altura que se denomina h

P2 es igual a la presión atmosférica ya que el orificio de salida está abierto a la atmósfera

Y2 es igual a la altura del orificio en este caso 0 ya que este es el nivel de referencia.

Por lo tanto la ecuación queda de la siguiente manera:

$$Patm + 0 + \rho g h = Patm + \frac{1}{2}\rho V2^2 + 0$$

-Como se tiene **Patm** en ambos lados de la igualdad se pueden cancelar al igual que la ***ρ***(densidad) quedando la ecuación de la siguiente forma:

$$gh = \frac{1}{2}V^2$$

-Se despeja V (velocidad) quedando la ecuación de la siguiente manera

$$V = \sqrt{2gh}$$

-Lo que lleva al principio de Torricelli donde la velocidad de salida se puede tener en función de la altura del tanque.

-Se procede a tomar una altura conocida y se resuelve la ecuación encontrando la velocidad.

-Se calcula el área del orificio de salida de la siguiente manera:

$$A = \pi r^2$$

Donde:

A= área

r= radio

Al encontrar estas dos incógnitas A y V se procede a encontrar el caudal que el sistema por flotadores dosificará.

ANÁLISIS Y RESULTADO

Las pruebas de jarras se empezaron a realizar el día 10 de septiembre de 2018 y finalizaron el 19 de febrero de 2019; se realizaron pruebas de jarras con tres diferentes coagulantes, los cuales fueron sulfato de aluminio, coagulante natural a base de bore y policloruro de aluminio que se dividieron en 6 etapas.

1) Histórico de la planta.

2) Prueba de jarras de Sulfato de Aluminio para hallar las dosis óptimas de coagulante.

3) Pruebas de jarras de coagulante natural a base de bore.

4) Pruebas de jarras de coagulante Policloruro de Aluminio.

5) Análisis de eficiencia de los tres coagulantes

6) Diseñar un sistema que garantice un caudal homogéneo de dosificación de bajo costo.

10.1 Histórico de la planta

Se presenta el historial de turbiedades de los meses de julio a diciembre de 2018 debido a la ausencia de registros pasados y futuros, por ende se toman estas turbiedades como base para el análisis de los coagulantes y el rango de turbiedades para la posterior búsqueda de las dosis óptimas.

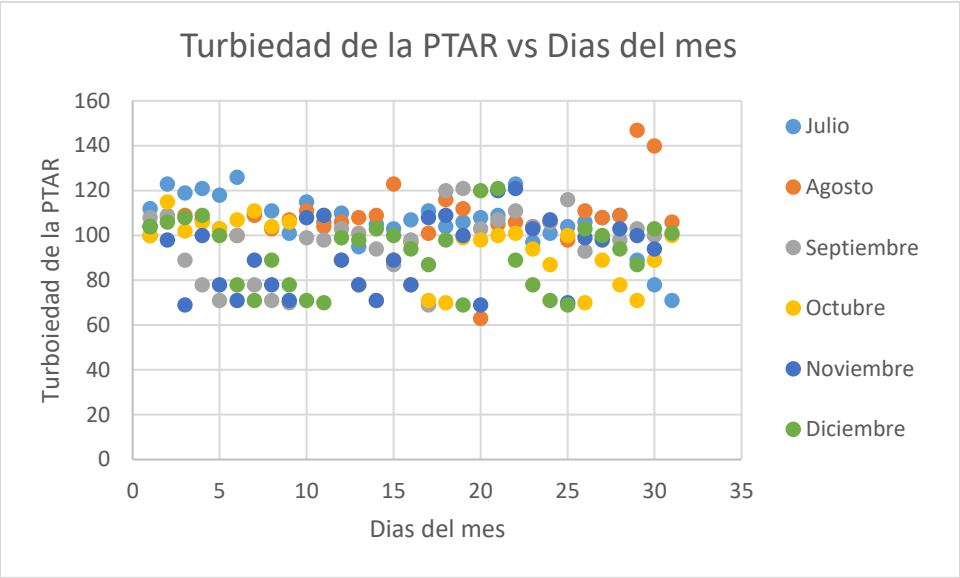
Estudio estadístico del historial de turbiedades.
Para realizar el estudio estadístico de turbiedades se tomó un dato por cada día de los seis meses, estas turbiedades dadas en NTU (unidades nefelométricas de turbiedad) se obtuvieron de la base de datos de la empresa PQA que tomaba diariamente la turbiedad del agua que entraba en la planta.

VALORES DADOS EN NTU.

Los datos de la siguiente tabla son valores diarios de cada uno de los meses, para tener un tamaño de muestra de 184, considerado un tamaño de muestra idóneo para realizar el análisis estadístico.

día	Julio (NTU)	Agosto(NTU)	Septiembre(NTU)	Octubre (NTU)	Noviembre (NTU)	Diciembre (NTU)
1	112	100	108	100	104	104
2	123	108	109	115	98	106
3	119	109	89	102	69	108
4	121	107	78	106	100	109
5	118	103	71	103	78	100
6	126	100	100	107	71	78
7	110	109	78	111	89	71
8	111	103	71	104	78	89
9	101	107	70	106	71	78
10	115	111	99	108	108	71
11	106	104	98	109	109	70
12	110	106	103	89	89	99
13	95	108	101	78	78	98
14	105	109	94	71	71	103
15	103	123	87	89	89	100
16	107	97	98	78	78	94
17	111	101	69	71	108	87
18	104	116	120	70	109	98
19	106	112	121	99	100	69
20	108	63	103	98	69	120
21	109	105	107	100	120	121
22	123	106	111	101	121	89
23	97	104	104	94	103	78
24	101	106	106	87	107	71
25	104	98	116	100	70	69
26	106	111	93	70	99	103
27	108	108	99	89	98	100
28	109	109	98	78	103	94
29	89	147	103	71	100	87
30	78	140	100	89	94	103
31	71	106		100		101

Tabla 3.Historico de turbiedades



Grafica 1.Turbiedad de la PTAR vs Días de mes

En la gráfica anterior se puede relacionar las turbiedades de entrada en la PTAR con los días y meses en que se produjo dicha turbiedad, se puede ver que las turbiedades más altas se presentaron el día 29 y 30 de Agosto con 147 y 140 NTU respectivamente, al igual que la más baja el día 20 del mismo mes con una turbiedad de 63 NTU.

Se puede observar una tendencia en la turbiedad de 100 NTU donde convergen la mayoría de las turbiedades de entrada.

n(tamaño de la muestra)	184
MÁXIMO	147
MÍNIMO	63
RANGO	84
m(número de clases)	9
C(tamaño de clases)	9.3

TABLA DE DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS					
CLASES		ni	Hi	NI	HI
63,0	72,3	23	0,125	23	0,13
72,3	81,7	13	0,071	36	0,20
81,7	91,0	15	0,082	51	0,28
91,0	100,3	37	0,201	88	0,48

100,3	109,7	67	0,364	155	0,84
109,7	119,0	15	0,082	170	0,92
119,0	128,3	12	0,065	182	0,99
128,3	137,7	0	0,000	182	0,99
137,7	147,0	2	0,011	184	1,00
147,0	156,3	0	0,000	184	1,00
156,3	165,7	0	0,000		0,00
totales		184	1,00		

Tabla 4.Distribucion de frecuencias

Donde:

ni= frecuencia absoluta

hi=frecuencia relativa

NI= frecuencia absoluta acumulada

HI=frecuencia relativa acumulada

Media ----------98

Mediana----------101

Moda----------100

Análisis

Después de hacer el estudio estadístico con el tamaño de muestra(n) de 184 datos, se analiza que, el valor máximo de turbiedad que se llegó a tener en los meses de julio a diciembre, fue de 147 NTU, y que, el valor mínimo de turbiedad que se presentó en este lapso de tiempo fue de 63 NTU lo que nos da un rango de 84 NTU.

Como se tiene un número grande de valores, estos se dividen en clases o grupos para así poder clasificar los datos, de acuerdo a esto utilizamos la ley de Sturges que es=1 + 3,322 $*$ $\log_{10}$ (n) lo que dio un número de clases (m) de 9 y un tamaño de clases(c) de 9,3, al dividir el rango por el número de clases.

De acuerdo a lo anterior, se puede entender la tabla de distribuciones de frecuencia en donde a cada clase se le haya:

ni= frecuencia absoluta: Número de datos de la muestra que se encuentran en dicha clase, es decir, en la primera clase que es de 63 a 72,3 encontramos una frecuencia absoluta de 23 datos lo que significa que 23 turbiedades están en el rango de 63 a 72,3 NTU.

hi=frecuencia relativa: Es la división de la frecuencia absoluta y el número total de datos en el caso de la clase de 63 a 72,3 la frecuencia relativa es de 0,125 o de 12,5 % del total de la muestra.

NI= frecuencia absoluta acumulada: La frecuencia absoluta acumulada es la suma de todos los valores inferiores o iguales a la clase en estudio, por ejemplo, la frecuencia absoluta acumulada de la segunda clase que es de 72,3 a 81,7 es de 36 ya que se suma la frecuencia absoluta de la primera clase que fue 23 con la segunda clase que fue 13 y así sucesivamente hasta que la última clase abarque todas las frecuencias acumuladas dando como resultado el tamaño de la muestra, en este caso 184.

HI=frecuencia relativa acumulada: La frecuencia relativa acumulada es la suma de las frecuencias relativas acumuladas inferiores e iguales a la clase de estudio, por ejemplo la HI de la primera clase sumada con la HI de la segunda clase nos da una HI de 0,20 o 20 % es decir las dos clases contienen el 20% de todos los datos de la muestra.

10.2. Prueba de jarras con el coagulante Sulfato De Aluminio (tipo B líquido)

Las pruebas de jarras se realizaron basados en la experiencia y la revisión de artículos, en específico en la guía de la Norma Técnica Colombiana.

Se realizaron 15 pruebas de jarras con sulfato de aluminio tipo B (líquido) dos pruebas de jarras para el coagulante natural a base de bore y una prueba de jarras para el coagulante policloruro de aluminio las cuales arrojaron los datos suficientes para realizar la gráfica turbiedad vs dosis óptima con el sulfato de aluminio y para realizar la comparación con los otros dos coagulantes.

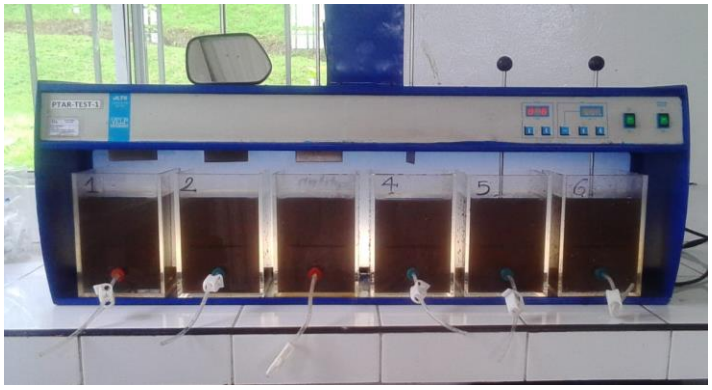


Ilustración 10.prueba de jarras. Fuente propia

En la imagen se puede apreciar el test de jarras con el agua a tratar, la cual a medida que se realizaron las 16 pruebas de jarras con sulfato de aluminio tipo líquido, se evidenció el pH entre 6.5 a 8 y temperaturas entre los 18 a 22 grados Celsius, una temperatura ambiente.

Primera prueba de jarras

Turbiedad del agua problema: 100 NTU

Temperatura: 19,6 ℃

pH: 7,2

Jarra	1	2	3	4	5	6
Volumen Jarra (L)	2	2	2	2	2	2
Dosis (ml) de sulfato de aluminio.	0,4	0,8	1,6	2,4	3	3,6
Dosis (ppm)	2	4	6	12	15	18
Turbiedad final(NTU)	77	76	69	54	52	44,79

Tabla 5.Primera prueba de jarras

En la primera prueba de jarras se midió la turbiedad a la muestra de agua residual, dando 100 NTU, al hacer la dosificación de coagulante al 1% con volúmenes muy pequeños, evidenciamos una disminución de la turbiedad, dando una turbiedad final de 44,79 NTU; sin embargo, el comportamiento de las pruebas de jarras mostró que a mayor dosis de coagulante, mayor remoción de turbiedad, lo que indica que se debe proceder con la segunda prueba de jarras con volúmenes mayores de coagulante sulfato de aluminio tipo B y mirar su comportamiento ya que no se logró obtener una dosis óptima, la cual se evidencia cuando una turbiedad menor pasa a una turbiedad mayor.

Segunda prueba de jarras

Turbiedad: 129 NTU

Temperatura: 21 ℃

pH: 6,5

Jarra	1	2	3	4	5	6
Volumen Jarra (L)	2	2	2	2	2	2
Dosis (ml)	5	6	7	8	9	10
Dosis (ppm)	25	30	35	40	45	50
Turbiedad final(NTU)	26,56	19,21	16,93	13,13	12,11	11,33

Tabla 6.Segunda prueba de jarras

Para la segunda prueba de jarras se tomó el agua cruda con una turbiedad de 129 NTU, al hacer la dosificación de coagulante con volúmenes entre 5 y 10 ml, se notó comparando los resultados de la primera prueba de jarras, una similitud en el comportamiento de las mismas, donde la turbiedad disminuye a medida que se le agrega mayor dosis del sulfato de aluminio al 1%, lo que da una reducción significativa de la turbiedad al final de la prueba; sin embargo, no se llega al resultado esperado que es la dosis óptima, ya que no se paso de una turbiedad menor a una mayor, lo que indica que el dato de menor turbiedad es la dosis óptima; por el contrario, se tiene que, todos los datos van disminuyendo a medida que se dosifica mayor dosis de coagulante, para ello se continúa el proceso con volúmenes mayores en una tercera prueba de jarras.

Tercera prueba de jarras

Turbiedad: 128 NTU

Temperatura: 20 ℃

pH: 7.1

Dosificación

Jarra	1	2	3	4	5	6
Volumen Jarra (L)	2	2	2	2	2	2
Dosis (ml)	10	12	14	16	18	20
Dosis (ppm)	50	60	70	80	90	100
Turbiedad final(NTU)	7,41	6,78	6,40	4,35	4,76	3,40

Tabla 7.Tercera prueba de jarras

En la tercera prueba de jarras se tomó el agua cruda con una turbiedad de **128 NTU** al hacer la dosificación de coagulante con volúmenes entre 10 y 20 ml,se notó una reducción de la turbiedad significativa en la dosis de **16 ml a 80** PPM dándonos una turbiedad de 4,35 NTU.

Este resultado es la respuesta al proceso coagulación-floculación, el cual se realiza en el test de jarras donde se tiene un agua a tratar en este caso con 128 NTU y después del proceso, al agregarle el coagulante, el cual actúa uniendo las partículas y aglutinándolas en pequeñas masas, llamadas flócs, éstas se sedimentan, logrando una remoción de turbiedad, en el caso de la prueba número tres, hasta 4,35 NTU.

Al mirar la siguiente dosis que fue la de 18 ml, se puede notar que da una turbiedad mayor, de acuerdo a esto la dosis óptima para una turbiedad de 128 NTU es de 16 ml de coagulante sulfato de aluminio al 1%.

Cuarta prueba de jarras

Turbiedad: 130 NTU

Temperatura:19,5 ℃

pH: 7.21

Dosificación

Jarra	1	2	3	4	5	6
Volumen Jarra (L)	2	2	2	2	2	2
Dosis (ml)	15	17	19	21	23	25
Dosis (ppm)	75	85	95	105	115	125
Turbiedad final(NTU)	3,11	4,34	4,15	2,86	2,90	3,05

Tabla 8.cuarta prueba de jarras

En la cuarta prueba de jarras se tomo el agua cruda con una turbiedad de **130 NTU,** al hacer la dosificación de coagulante con volúmenes entre 15 y 25 ml, se notó una reducción de la turbiedad significativa en la dosis **de 15 ml a 75 PPM** dándo una turbiedad de 3,11 NTU; al

mirar la siguiente dosis que fue la de 17 ml, se nota que da una turbiedad mayor; de acuerdo a esto, la dosis óptima para una turbiedad de 130 NTU es de 15 ml de coagulante sulfato de aluminio al 1%; al compararlo con la anterior prueba se nota una congruencia en los resultados; no obstante, la dosis óptima cambia de 16 ml, en la prueba anterior, a 15 en esta prueba, esto se produce porque se hicieron las pruebas en diferentes rangos, pero los resultados coinciden con la mínima turbiedad.

Quinta prueba de jarras

Turbiedad: 72 NTU

Temperatura: 20,3 ℃

pH: 6,98

Dosificación

Jarra	1	2	3	4	5	6
Volumen Jarra (L)	2	2	2	2	2	2
Dosis (ml)	12	15	18	21	24	27
Dosis (ppm)	60	75	90	105	120	135
Turbiedad final(NTU)	10,01	9,20	9,12	6,34	7,40	7,55

Tabla 9.quinta prueba de jarras

En la quinta prueba de jarras se tomó el agua cruda con una turbiedad de **72 NTU,** al hacer la dosificación de coagulante con volúmenes entre 12 y 27 ml, se nota una reducción de la turbiedad en la dosis de **21 ml o 105 PPM** dando una turbiedad de 6,34 NTU. Como se puede evidenciar en la tabla, al mirar la siguiente dosis que fue la de 24 ml, se nota que nos da una turbiedad final mayor; de acuerdo a esto, la dosis óptima para una turbiedad de 72 NTU es de 21 ml de coagulante sulfato de aluminio al 1%. Es necesario señalar que, la planta estaba funcionando solamente con uno de los dos floculadores, el segundo floculador no estaba en funcionamiento.

Sexta prueba de jarras

Turbiedad: 70 NTU

Temperatura: 20,2 ℃

pH: 7,02

Dosificación

Jarra	1	2	3	4	5	6
Volumen Jarra (L)	2	2	2	2	2	2
Dosis (ml)	14	16	18	20	22	24
Dosis (ppm)	70	80	90	100	110	120
Turbiedad final(NTU)	10,43	6,60	6,20	4,90	5,10	5,15

Tabla 10.Sexta prueba de jarras

En la sexta prueba de jarras se tomó el agua a tratar con una turbiedad de **70 NTU** un pH de 7,02 y una temperatura de 20,2 ℃; al hacer la dosificación de coagulante sulfato de aluminio tipo B (líquido) con volúmenes entre 14 y 24 ml, se nota una reducción de la turbiedad en la dosis de **20 ml o 100** PPM, dando una turbiedad final de 4,90 NTU.

Al mirar la siguiente dosis que fue la de 2 ml, se nota que da una turbiedad final mayor, lo que se puede evidenciar en la tabla anterior, de acuerdo a esto, la dosis óptima de coagulante para una turbiedad de 70 NTU es de 20 ml de sulfato de aluminio tipo B (líquido) al 1%; al compararlo con la quinta prueba que tenía una turbiedad de 72 NTU se evidencia una congruencia en los resultados, mostrando en las diferentes pruebas que una misma dosis óptima sirve para turbiedades en un rango de 10 NTU; por ejemplo, de 66 NTU a 75 NTU la dosis óptima es de 20 ml.

Séptima prueba

Turbiedad: 90 NTU

Temperatura: 19,8 ℃

pH: 7.2

Dosificación

Jarra	1	2	3	4	5	6
Volumen Jarra (L)	2	2	2	2	2	2
Dosis (ml)	12	15	18	21	24	27
Dosis (ppm)	60	75	90	105	120	135
Turbiedad final(NTU)	12,3	9,5	7,4	6,925	8,60	7,6

Tabla 11.Septima prueba de jarras

En la séptima prueba de jarras se evidenció una reducción de 90 NTU, con la que entró el agua problema a 6,92 NTU que fue la reducción máxima, teniendo como dosis de coagulante

sulfato de aluminio 21 ml o 105 PPM; analizando la tabla anterior, se ve que la dosis siguiente que fue de 24 ml, dio una turbiedad mayor de 8,60 NTU.

Octava prueba de jarras

Turbiedad: 93 NTU

Temperatura: 19,8 ℃

pH: 7.2

Dosificación

Jarra	1	2	3	4	5	6
Volumen Jarra (L)	2	2	2	2	2	2
Dosis (ml)	12	15	18	21	24	27
Dosis (ppm)	60	75	90	105	120	135
Turbiedad final(NTU)	9,67	8,42	8,34	8,30	9,06	9,05

Tabla 12.Octava prueba de jarras

En la octava prueba de jarras se tomó el agua cruda con una turbiedad de 93 NTU, al hacer la dosificación de coagulante con volúmenes entre 12 y 27 ml de coagulante, se evidenció como se ve en la tabla anterior, una disminución mayor de la turbiedad en la dosis de 21 ml o 105 PPM, la cual arrojó una turbiedad final de 8,42; al compararla con la dosis siguiente de 24 ml o 120 PPM se notó que la turbiedad aumentó, lo que significa que la dosis óptima para una turbiedad de 93 NTU, es 21 ml de coagulante sulfato de aluminio tipo B (líquido); cabe destacar que la muestra de agua cruda fue la misma que se utilizó en la séptima prueba, es decir se tomó al mismo tiempo, con condiciones fisicoquímicas iguales, lo cual dio la posibilidad de comparar los resultados, los cuales nos mostraron un comportamiento igual con la misma dosis óptima de coagulante.

Novena prueba

Turbiedad: 120 NTU

Temperatura: 19,0 ℃

pH: 6,64

Dosificación

Jarra	1	2	3	4	5	6
Volumen Jarra (L)	2	2	2	2	2	2
Dosis (ml)	14	16	18	20	22	24
Dosis (ppm)	70	80	90	100	110	120
Turbiedad final(NTU)	5,01	6,2	7,0	6,8	6,7	7,2

Tabla 13.Novena prueba de jarras

En la Novena prueba de jarras, se tomó el agua cruda con una turbiedad de 120 NTU, al hacer la dosificación de coagulante con volúmenes entre 14 y 24 ml, se vio una reducción de la turbiedad en la dosis de **14 ml o 70 PPM** dando una turbiedad final de 5,01 NTU; al mirar la tabla, se observó que la siguiente dosis que fue la de 16 ml, da una turbiedad final de 6,2 NTU; de acuerdo a esto, la dosis óptima para una turbiedad de 120 NTU es de 14 ml de coagulante sulfato de aluminio al 1%.

Décima prueba

Turbiedad: 110 NTU

Temperatura: 18,6 ℃

pH: 6,68

Dosificación

Jarra	1	2	3	4	5	6
Volumen Jarra (L)	2	2	2	2	2	2
Dosis (ml)	12	15	18	21	24	27
Dosis (ppm)	60	75	90	105	120	135
Turbiedad final(NTU)	10,52	7,92	6,95	7,79	7,9	7,85

Tabla 14.Décima prueba de jarras

En la décima prueba de jarras, se tomó el agua cruda con una turbiedad de 110 NTU; al dosificar las diferentes dosis se observa una reducción mayor de la turbiedad en la dosis de **18 ml o 90 PPM,** dando una turbiedad final de **6,95 NTU;** al mirar la siguiente dosis que fue la de 21 ml se evidencia una turbiedad mayor final de 7,79 NTU; de acuerdo a esto, la dosis óptima para una turbiedad de 110 NTU, es de 18 ml de coagulante sulfato de aluminio al 1%.

Undécima prueba

Turbiedad: 160 NTU

Temperatura: 20,7 ℃

pH: 6,7

Dosificación

Jarra	1	2	3	4	5	6
Volumen Jarra (L)	2	2	2	2	2	2
Dosis (ml)	9	12	15	18	21	24
Dosis (ppm)	45	60	75	90	105	120
Turbiedad final(NTU)	7,39	7,3	6,0	4,1	4,3	4,33

Tabla 15.Undécima prueba de jarras

En la undécima prueba de jarras, se tomó el agua cruda con una turbiedad de 160 NTU; al hacer la dosificación de coagulante con volúmenes entre 9 y 24 ml, se evidenció una reducción de la turbiedad en la dosis de **18 ml o 90 PPM,** dando una turbiedad final de **4,1 NTU;** al mirar la siguiente dosis que fue la de 21 ml, notamos que, da una turbiedad final de 4,3 NTU; de acuerdo a esto, la dosis óptima para una turbiedad de 160 NTU, es de 18 ml de coagulante sulfato de aluminio al 1%.

Decimosegunda prueba

Turbiedad: 100

Temperatura: 20,2℃

pH: 6,9

Dosificación

Jarra	1	2	3	4	5	6
Volumen Jarra (L)	2	2	2	2	2	2
Dosis (ml)	12	15	18	21	24	27
Dosis (ppm)	60	75	90	105	120	135
Turbiedad final(NTU)	7,51	7,01	5,6	5,25	6,32	6,24

Tabla 16.Decimosegunda prueba de jarras

En la decimosegunda prueba de jarras, la dosis óptima fue de **21 ml o 105 PPM** dándo una turbiedad final de **5,25 NTU**.

Decimotercera prueba

Turbiedad: 140 NTU

Temperatura: 19,8 ℃

pH: 7,1

Dosificación

Jarra	1	2	3	4	5	6
Volumen Jarra (L)	2	2	2	2	2	2
Dosis (ml)	12	14	16	18	20	22
Dosis (ppm)	60	70	80	90	100	110
Turbiedad final(NTU)			4,34	7,4		

Tabla 17.Decimotercera prueba de jarras

En la decimotercera prueba de jarras, se tomó el agua cruda con una turbiedad de 140 NTU. Al hacer la dosificación de coagulante con volúmenes entre 12 y 22 ml, se notó una reducción de la turbiedad en la dosis de **16 ml o 80 PPM** dando una turbiedad final de **4,34 NTU;** al mirar la siguiente dosis que fue la de 18 ml, se notó que nos da una turbiedad final de 7,4 NTU; de acuerdo a esto, la dosis óptima para una turbiedad de 140 NTU, es de 16 ml de coagulante sulfato de aluminio al 1%.

Decimocuarta prueba

Turbiedad: 150 NTU

Temperatura: 20,0 ℃

pH: 6,9

Dosificación

Jarra	1	2	3	4	5	6
Volumen Jarra (L)	2	2	2	2	2	2
Dosis (ml)	12	14	16	18	20	22
Dosis (ppm)	60	70	80	90	100	110
Turbiedad final(NTU)	9,8	8,4	6,9	5,89	7,9	7,8

Tabla 18.Decimocuarta prueba de jarras

En la decimocuarta prueba de jarras; se evidenció una reducción de la turbiedad mayor en la jarra número 4, en la cual se adicionó 18 ml o 90 PPM de coagulante sulfato de aluminio tipo B (líquido); de acuerdo a esto, la dosis óptima para una turbiedad de 150 NTU es de 18 ml de coagulante Sulfato de aluminio al 1%, debido a que la jarra numero 5 tuvo mayor turbiedad final.

Decimoquinta prueba

Turbiedad: 80 NTU

Temperatura: 19,2 ℃

pH: 6,9

Dosificación

Jarra	1	2	3	4	5	6
Volumen Jarra (L)	2	2	2	2	2	2
Dosis (ml)	14	16	18	20	22	24
Dosis (ppm)	70	80	90	100	110	120
Turbiedad final(NTU)	8,03	7,53	6,9	6,01	8,04	8,21

Tabla 19.Decimoquinta prueba de jarras

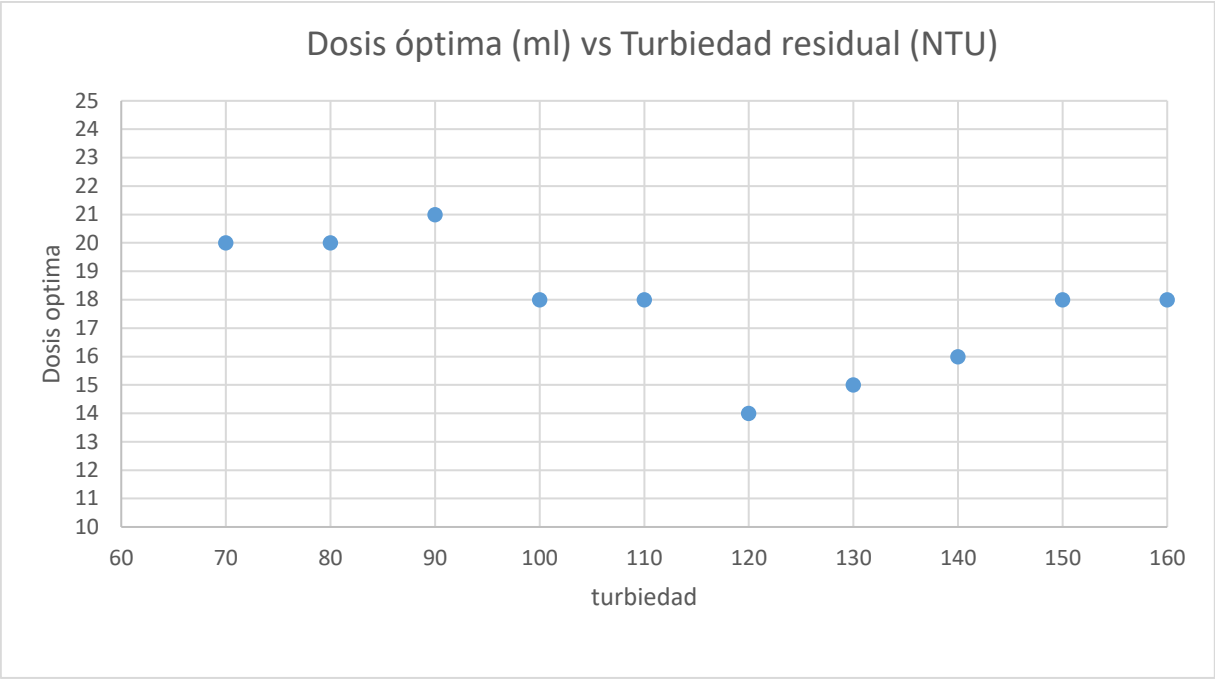
En la Decimoquinta prueba de jarras se tomó el agua a tratar con una turbiedad de 80 NTU, una temperatura ambiente de 19,2 ℃ y un pH de 6,9; como se constata en la tabla anterior las turbiedades que más se redujeron fueron de 6,01 y 6,9 en los dosis de18 ml a 90 PPM y 20 ml a 100 NTU de sulfato de aluminio tipo B (líquido), lo que significa que, la dosis óptima que se debe implementar en la planta para una turbiedad de 80 NTU es de 20 ml a 100 PPM, la cual generó la mayor reducción de la turbiedad.

10.2.1 Gráfica Turbiedad vs Dosis Óptima de coagulante (sulfato de aluminio tipo b líquido)

Turbiedad (NTU)	Dosis óptima (ml)
De 70 a 75	20
De 76 a 85	20
De 86 a 95	21
De 96 a 105	18
De 106 a 115	18
De 116 a 125	14
De 126 a 135	15
De 136 a 145	16
De 146 a 155	18
De 156 a 165	18

Tabla 20.Turbiedad-Dosis óptima

Como se evidenció en las pruebas de jarras anteriores, específicamente en las pruebas donde se repetía la dosis óptima, como en la Octava y la Séptima prueba con turbiedades de 90 y 93 NTU respectivamente, o como en la tercera y cuarta donde las turbiedades fueron de 128 y 130 NTU respectivamente, se puede concluir que el rango en el cual se debe utilizar la misma dosis óptima de coagulante es de 10 valores de NTU, como se ve en la tabla anterior, lo que da una enorme ventaja, esto, debido a que las propiedades fisicoquímicas con que llega el agua cruda, son muy similares, ya que el agua que recircula por el proceso de lavados de películas plásticas y PTAR sucesivamente no varía en el tiempo; por esta razón las turbiedades cambian cuando las películas llegan muy cargadas de suciedad, que en la mayoría de veces son materia orgánica, tierra y demás sólidos propios de granjas y fincas que utilizan dichas películas plásticas de invernadero.



Grafica 2.Dosis óptima vs turbiedad

En la gráfica se puede observar la relación turbiedad vs dosis óptima de coagulante, con los valores encontrados en las 15 pruebas de jarras realizadas en la empresa PQA (Productos químicos Andinos) la cual da un comportamiento senoidal que no tiene relevancia, para el presente trabajo, debido a que cada punto es un Test de jarras totalmente diferente; contrario a las gráficas de turbiedad vs dosis óptima, que aparecen en la literatura, las cuales relacionan las dosis de coagulante con la turbiedad residual, para poder ver en ellas, claramente, la dosis óptima.

10.3. Pruebas de jarras de coagulante natural a base de Bore.

Se realizaron dos pruebas de jarras, con el coagulante natural a base de Bore, teniendo como referencia el estudio estadístico, donde se encontró que la turbiedad que más se repetía en la planta es de 100 NTU; lo cual nos sirvió, para relacionar y comparar los diferentes coagulantes.

Para encontrar la turbiedad exacta de 100 NTU se tomaron durante 3 días, las turbiedades en horas de la mañana y de la tarde, hasta que, al tercer día, el agua problema llegó con la turbiedad idónea de 100 NTU, pudiendo realizar tanto la prueba de coagulante natural a base bore, como la prueba del policloruro de aluminio.

Ilustración 11.coagulante natural puro. Fuente propia

Coagulante natural a base de bore solución madre, de allí se tomaron todas las dosis con las cuales se realizó la prueba de jarras.

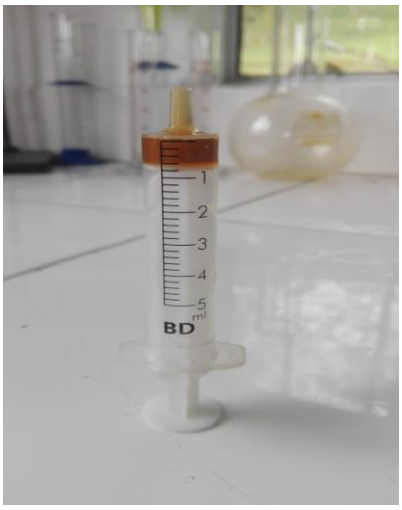


Ilustración 12.coagulante natural dosis. Fuente propia

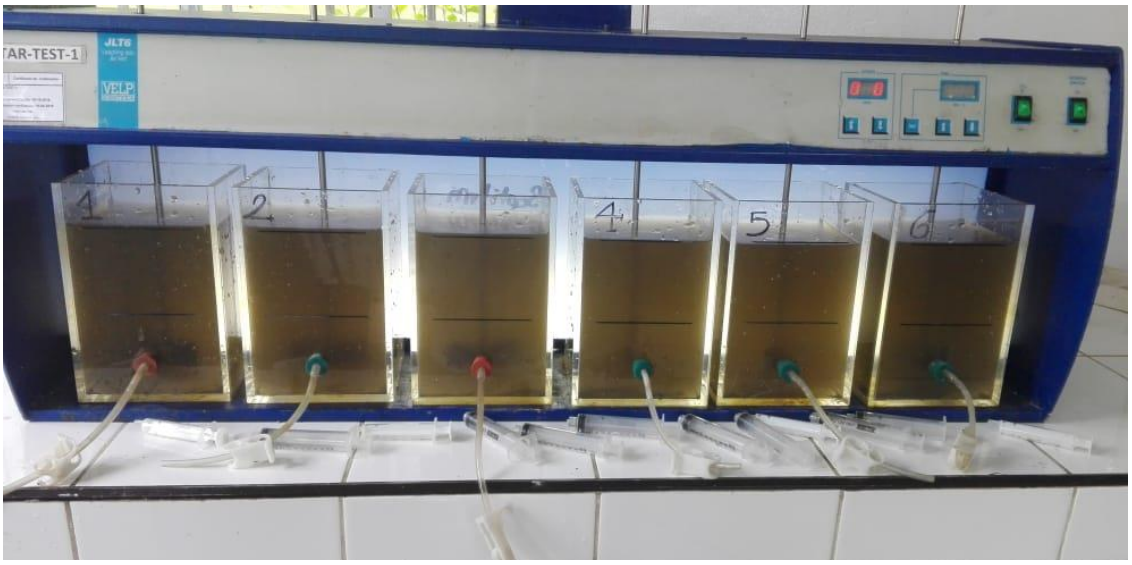


Ilustración 13.prueba de jarras coagulante Natural a base de Bore. Fuente propia.

En la imagen anterior se puede observar el test de jarras con el agua problema, la cual tuvo una turbiedad de 100 NTU antes de empezar con el proceso coagulación-Floculación; cada una de las jarras contiene dos litros de agua problema, necesitando para cada Test 12 litros.

Prueba número uno coagulante natural a base de bore

Turbiedad: 100 NTU

Temperatura: 21,4 ℃

pH: 7,24

Dosificación

Jarra	1	2	3	4	5	6
Volumen Jarra (L)	2	2	2	2	2	2
Dosis (ml)	12	13	15	18	21	25
Dosis (ppm)	60	65	75	90	105	125
Turbiedad final(NTU	24,4	22,23	19,0	18,13	17,43	16,5

Tabla 21.primera prueba de jarras coagulante natural a base de bore

En la primera prueba de jarras con el coagulante natural a base de Bore, el agua cruda dio una turbiedad de 100 NTU; al hacer la dosificación del coagulante puro con volúmenes entre

12 y 25 ml, rango que se obtuvo de las pruebas con el sulfato de aluminio (tipo B líquido), se evidencio una disminución de la turbiedad directamente proporcional a la cantidad de coagulante que se le agrega, es decir a mayor cantidad de coagulante, se produce mayor remoción de turbiedad, lo que nos indica que hay que seguir haciendo pruebas con dosis mayores y así poder encontrar la dosis óptima para este.

Segunda prueba coagulante natural a base de bore

Turbiedad: 100 NTU

Temperatura: 21,4 ℃

pH: 7,2

Dosificación

Jarra	1	2	3	4	5	6
Volumen Jarra (L)	2	2	2	2	2	2
Dosis (ml)	25	28	31	34	37	40
Dosis (ppm)	125	140	155	170	185	200
Turbiedad final (NTU)	15,4	14,9	14,1	13,0	10,2	11,4

Tabla 22.segunda prueba coagulante natural a base de bore

En la segunda prueba de jarras con el coagulante natural a Base de Bore, al hacer la dosificación del coagulante puro con volúmenes entre 25 y 40 ml, se evidencio una disminución de la turbiedad en la dosis de **37 ml o 185** ppm, dándo una turbiedad final de **10,2 NTU**, al mirar la siguiente dosis que fue la de 40 ml, notamos que nos da una turbiedad final de **11,4 NTU**; de acuerdo a esto, la dosis óptima para una turbiedad de 100 NTU es de 18 ml de coagulante natural a base de bore.

10.4. Pruebas de jarras de coagulante policloruro de aluminio.

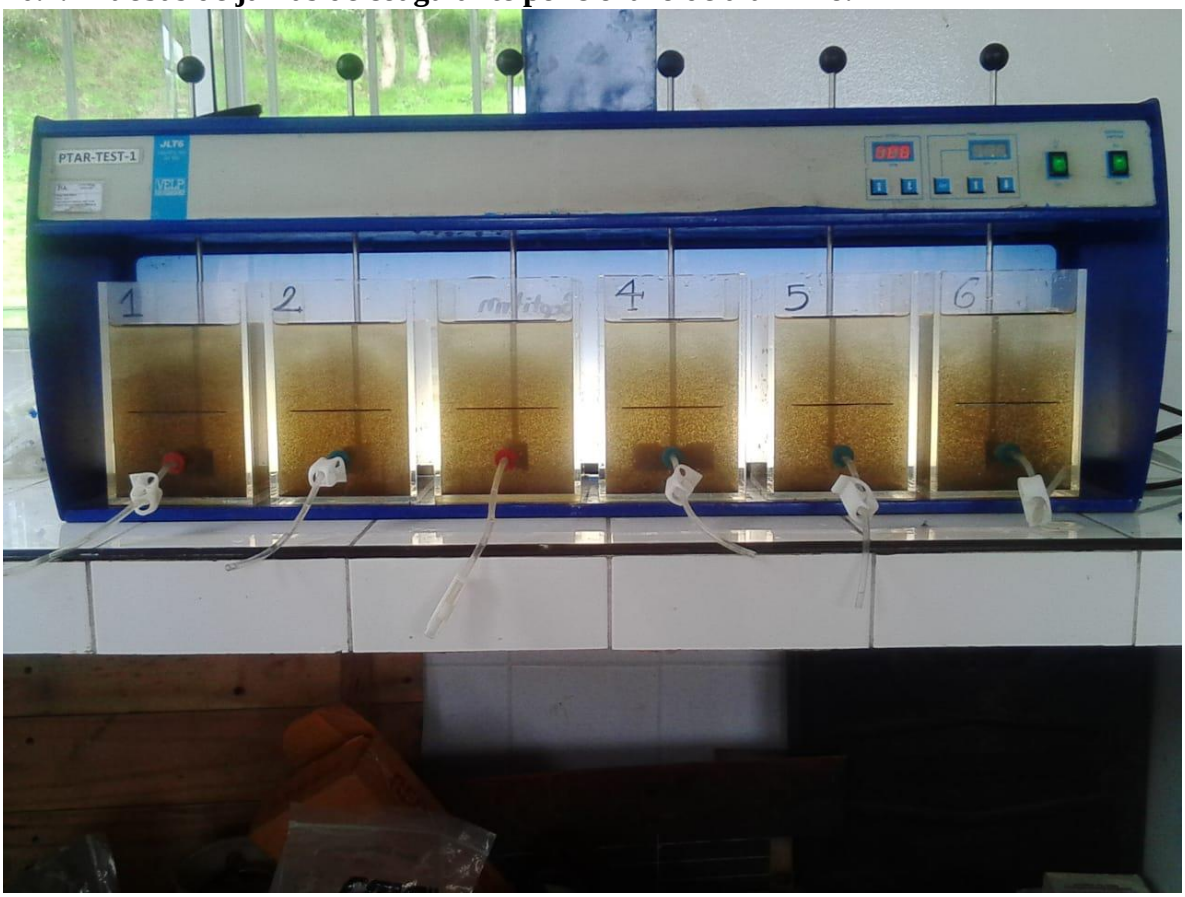


Ilustración 14.prueba de jarras coagulante policloruro de Aluminio. Fuente propia.

En la imagen anterior podemos observar el test de jarras con el agua problema, la cual tuvo una turbiedad de 100 NTU; en la imagen se pueden observar los flocs que se van formando después del proceso coagulación-Floculación, estos flocs, se sedimentan mermando la turbiedad del agua; el policloruro de aluminio fue, al igual que el Sulfato de Aluminio, los coagulantes que generaron mayor cantidad de flocs.

Primera prueba de jarras coagulante policloruro de aluminio

Turbiedad: 100 NTU

Temperatura: 21,0 ℃

pH: 7,2

Dosificación

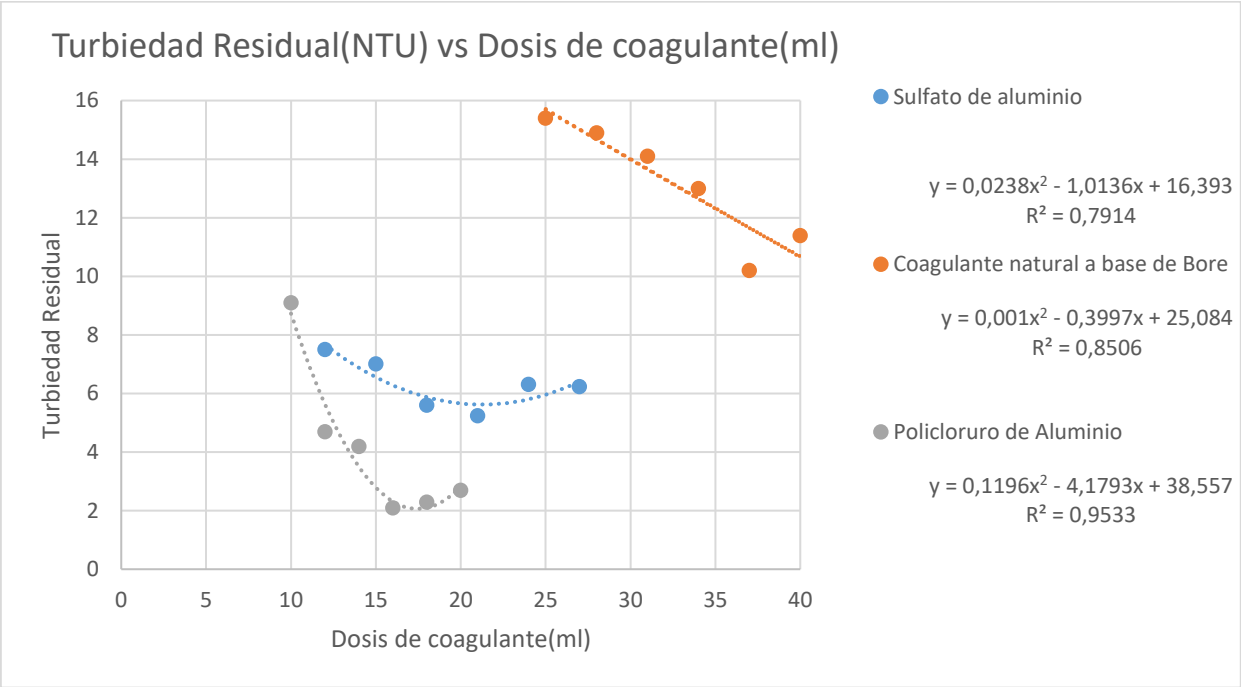
Jarra	1	2	3	4	5	6
Volumen Jarra (L)	2	2	2	2	2	2
Dosis (ml)	10	12	14	16	18	20

Dosis (ppm)	50	60	70	80	90	100
Turbiedad final(NTU)	9,1	4,7	4,2	2,1	2,3	2,7

Tabla 23.Primera prueba de jarras coagulante policloruro de aluminio

En la primera prueba de jarras, con el coagulante policloruro de aluminio, el agua cruda dio una turbiedad de 100 NTU; al hacer la dosificación del coagulante al 1%, con volúmenes entre 10 y 20 ml, rango que se obtuvo de las pruebas con el sulfato de aluminio (tipo B líquido), se evidencio una disminución de la turbiedad en la dosis de 16 ml o 80 ppm, dándo una turbiedad final de **2,1 NTU;** al mirar la siguiente dosis que fue la de 18 ml se noto que da una turbiedad final de **2,3 NTU**; de acuerdo a esto, la dosis óptima para una turbiedad de 100 NTU es de 16 ml de coagulante policloruro de aluminio al 1%.

10.5. Análisis de eficiencia de los tres coagulantes



Grafica 3.Turbiedad residual (NTU) vs Dosis de coagulante (ml)

En la gráfica se puede observar los tres tipos de coagulante con sus respectivas turbiedades residuales y el volumen de coagulante que se le agrego a dicha turbiedad, también se puede observar la línea de tendencia de cada una de las pruebas de jarras donde se puede analizar la desviación estándar de la misma.

El coagulante que más remoción de turbiedad tuvo fue el Policloruro de Aluminio ya que con 16 ml de coagulante logro una remoción de 97.9% es decir se realizó la prueba con una turbiedad inicial de 100 NTU y al finalizar dicha prueba la turbiedad residual fue de 2,1

NTU y se tuvo un R^2 de 0,9533 lo que significa que las diferentes concentraciones de coagulante se ajustan a la línea de tendencia.

El coagulante que menor remoción género fue el coagulante natural a Base de Bore ya que se necesitó 37 ml un gran volumen de coagulante y sin embargo la remoción fue de 89.8 % teniendo una turbiedad Inicial de 100 NTU y una final de 10,2 NTU de igual forma se tiene una desviación estándar de 0,8506 indicando que el comportamiento no se ajusta a la tendencia.

Por último se tiene el análisis para el Sulfato de Aluminio tipo B (Liquido) en donde se logró una máxima remoción de turbiedad con un volumen de 21 ml para una turbiedad inicial de 100 NTU logrando una turbiedad final de 5,25 NTU es decir una remoción de 94,75 % y un$a$ desviación estándar de 0,7914 lo que significa que el comportamiento está más alejado de la línea de tendencia pudiéndose deber a fallas en la operatividad de las pruebas o test de jarras.

10.6. Diseño de un sistema de caudal homogéneo de dosificación de bajo costo por flotación.

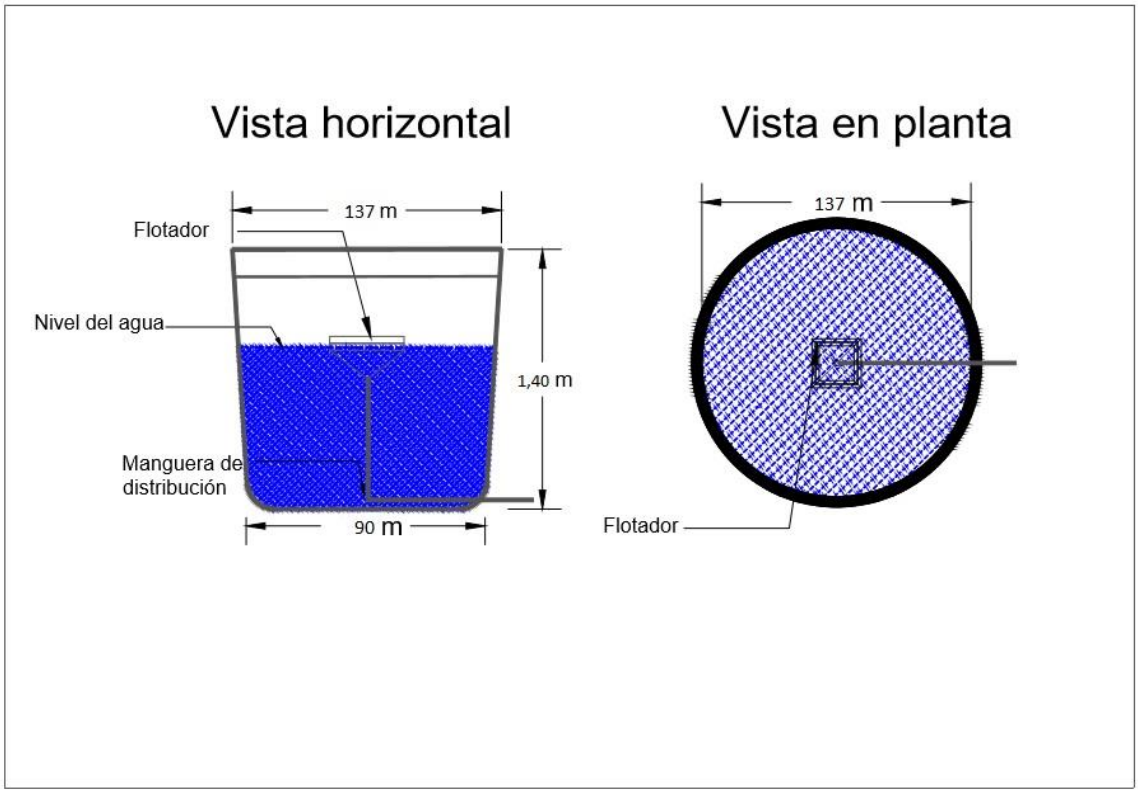


Ilustración 15.diseño del método de flotadores. Fuente propia.

*Dimensiones del tanque

Altura (h)= 1,40 m

Diámetro (d)=1,37 m

Base (b)= 0,90 m

-Para conocer el caudal máximo que el sistema requiere para la dosificación de coagulante se procede a realizar la siguiente ecuación, descrita en la metodología.

$$Qd = \frac{21ml.14l/s.60}{1000} * 1{,}33 = \mathbf{23{,}46}\,\frac{\boldsymbol{ml}}{\boldsymbol{s}} * \frac{60s}{1minuto} = 1{,}407l/minuto$$

Como se puede observar en la ecuación, se tomó como referencia el mayor volumen de dosis óptima encontrado en el laboratorio con las pruebas de jarras que fue 21 ml, de igual forma se tomó el mayor caudal de la planta, en el vertedero, el cual es 14 l/s lo que nos genera el mayor caudal de dosificación de coagulante que requiere la planta, el cual es de 1,407 l/minuto de sulfato de aluminio tipo B líquido, de acuerdo a este valor se debe diseñar un sistema por flotadores que garantice un caudal igual o mayor.

Para Diseñar un sistema por flotadores que garantice un caudal igual o mayor a 1,407 litros por minuto, se siguen los siguientes pasos:

$$Q = V * A$$

Para hallar la velocidad con la que sale el líquido se utiliza el principio de Torricelli, donde se plantea una altura de 30 cm, una altura ideal para las dimensiones del tanque y de los flotadores y se procede a realizar la ecuación.

$$V = \sqrt{2gh}$$

$$V = \sqrt{2(9.8m/s^2)}(0.30m)$$

$$V = 2{,}42\ m/s$$

Para hallar el área del orificio de salida se tiene como base que el diámetro de la manguera es de 1,3 cm o 0,013 m.

$$A = \pi r^2$$

Diámetro es igual a dos veces r, por lo tanto, r es igual a 0,0065 m.

$$A = \pi(0{,}0065)^2$$

$$A = 1{,}327 * 10^{-4} m^2$$

Conociendo el Área y la Velocidad de salida se puede hallar el Caudal.

$$Q = V * A$$

$$Q = 2{,}42 \frac{m}{s} * 1{,}327 * 10^{-4} m^2$$

$$Q = 3{,}21134 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

Se pasa de m3/s a l/m

$$Q = 19{,}26 \frac{l}{m}$$

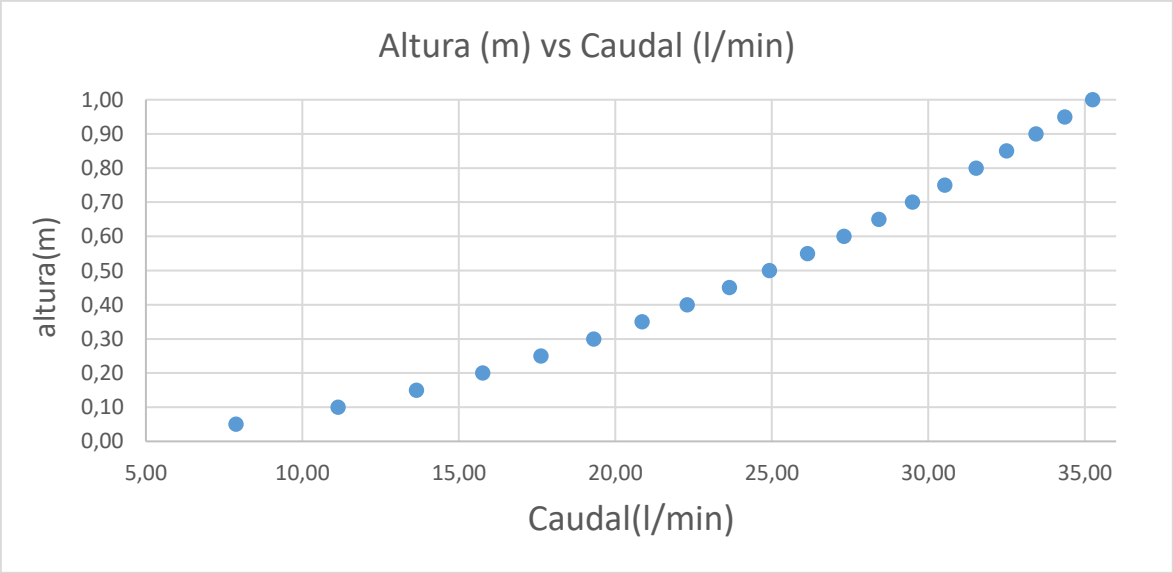
Como se puede apreciar, en la ecuación anterior, el sistema por flotadores con una altura de 30 cm y con un área del orificio de salida de 1.3 cm, genera un caudal de salida de 19,26 litros por minuto, un

caudal que supera los 1,407 litros por minuto del caudal máximo de referencia que se tiene en la planta de tratamiento de agua residual en la empresa PQA.

10.6.1. Curva de calibración del sistema por flotadores

Altura(m)	Caudal (l/min)
0,05	7,88
0,10	11,15
0,15	13,65
0,20	15,76
0,25	17,62
0,30	19,26
0,35	20,85
0,40	22,29
0,45	23,65
0,50	24,93
0,55	26,14
0,60	27,30
0,65	28,42
0,70	29,49
0,75	30,53
0,80	31,53
0,85	32,50
0,90	33,44
0,95	34,36
1,00	35,25

Tabla 24.Curva de calibración



Grafica 4.Curva de Calibración.

El sistema por flotadores, es un sistema básico empleado en tanques de distribución de diferentes líquidos, en los cuales se genera pérdida de presiones por variación de la altura del nivel del agua, el sistema por flotadores genera una altura constante entre el efluente y la altura de la cabeza del agua generando una presión constante y por ende un caudal constante.

El sistema que se empleó para la planta de tratamiento de la empresa PQA está conformado por 4 tubos de PVC de 2" de 50 cm cada uno, unidos por codos formando un cuadrado, de los cuales se despliega, en forma de pirámide invertida, alambre grueso de cada una de las puntas que abarca 30 cm de altura, el cual sostiene una manguera que va conectada al efluente, generando así que la distancia entre la boca de la manguera y la cabeza de agua sean siempre iguales.

Sin duda, una alternativa útil y económica, por ello se planteó este sistema en la planta de tratamiento de aguas grises de PQA el cual dio respuesta a la problemática de que se tenía, la cual era que a medida que pierde altura el nivel del agua se reduce la presión con la que sale el coagulante, lo que genera una inconsistencia en el flujo que, debe ser siempre constante.

10.6.2. Dosificadores de coagulantes como alternativa y complemento al sistema de dosificación.

Tornillo sin fin: Un tornillo sin fin es un dosificador de coagulante para dosificar sulfato de aluminio granulado el cual oscila entre 14 y 15 millones de pesos, es muy utilizado en las plantas de tratamiento de agua potable de las pequeñas poblaciones, el cual puede ser una buena alternativa en la dosificación, en la planta de tratamiento de aguas grises de la empresa PQA (productos químicos andinos)

Bombas dosificadoras: Las bombas dosificadoras son una de las mejores herramientas para dosificar coagulante o cal en solución, en plantas de tratamiento de agua potable; sin embargo, puede ser una de las mejores alternativas en cuanto a la dosificación, en la planta de tratamiento de aguas grises de la empresa PQA (productos químicos andinos)

CONCLUSIONES

- Después de realizar las pruebas de jarras con los tres diferentes coagulante los cuales fueron Sulfato de Aluminio tipo B líquido, Coagulante Natural a Base de Bore y Policloruro de Aluminio, se puede concluir que el coagulante más efectivo es el Policloruro de Aluminio el cual tuvo mayor remoción en la turbiedad del agua problema que entra a la planta de tratamiento de aguas grises de la empresa PQA, tratando el agua de forma que quedara con tan solo **2,1 NTU** después del proceso coagulación - floculación, mientras que el coagulante natural a base de Bore fue el más ineficiente a la hora de tratar el agua de forma que quedara con **10,2 NTU,** después del proceso, a pesar de haberle agregado 37 ml de coagulante.
- Después de encontrar las dosis óptimas de coagulantes, se realizó la gráfica **turbiedad Vs dosis óptima,** en la cual se pueden encontrar fácilmente las dosis que se deben agregar, según la turbiedad que entre a la planta y así poder operarla de una forma óptima.
- Al terminar el trabajo se debe esperar un tiempo prudencial, para evidenciar una mejora en la planta de tratamiento de la empresa PQA, ya que al tener las dosis óptimas para cada turbiedad, se logrará disminuir las turbiedades residuales, y a su vez mejorar el ciclo que cumple el agua tratada para la limpieza y reciclaje de las películas plásticas de invernadero.
- Al terminar el trabajo se evidenció el compromiso ambiental que tiene la empresa PQA, buscando de forma permanente, tener prácticas que ayuden a la contaminación causada por sus procesos; es así como desde su sistema de gestión ambiental se han enfocado en realizar programas como el reciclado de películas plásticas de invernadero y el tratamiento de aguas grises en su PTAR.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda comprar un sistema de bombas dosificadoras, las cuales complementen el sistema de flotadores, implementado en el presente trabajo, ya que este es un sistema que puede ser perfeccionado con sistemas dosificadores de coagulantes presentes en el mercado.
- Se recomienda realizar pruebas de trazadores en las cuales se verifique el tiempo de retención hidráulica de la planta de tratamiento, ya que no se tienen registros recientes de ello.
- Se recomienda verificar paulatinamente el proceso de mejora, realizando una base de datos donde se pueda evidenciar cronológicamente si las turbiedades que salen del proceso, se reducen.
- La planta a pesar de tener problemas como los que se evidencian en el planteamiento del problema puede seguir funcionando debido a su gran capacidad, sin embargo se recomienda que los operarios se instruyan en cuanto a la normativa y al manejo de sustancias de laboratorio como química básica e hidráulica para darle un manejo integral a la planta de tratamiento de agua residual y así poder desempeñarse a plenitud en cada uno de los aspectos que demanda el manejo de una PTAR, desde el laboratorio hasta las operaciones unitarias.

BIBLIOGRAFIA

Arboleda Valencia Jorge. teoría y practica de la purificacion del agua.pag76-77.1996

Quiminet(2009). El proceso de cribado o tamizado: www.quiminet.com.Recuperado de: https://www.quiminet.com/articulos/el-proceso-de-cribado-o-tamizado-34166.htm

Arango, A. M. H. (2018). Estado actual de los sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales de Colombia. *Ucm*, 1–58.

Awad, H., Alalm, M. G., & El-etriby, H. K. (2019). Science of the Total Environment Environmental and cost life cycle assessment of different alternatives for improvement of wastewater treatment plants in developing countries. *Science of the Total Environment*, *660*, 57–68. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.386

Baxter, R., Hastings, N., Law, A., & Glass, E. J. . (2008). Angela Maria Hoyos. *Animal Genetics*, *39*(5), 561–563.

Beltran, J. (2017). EVALUACIÓN DE LA SUSTITUCIÓN DEL AGENTE COAGULANTE - SULFATO DE ALUMINIO- EN EL PROCESO ACTUAL DE COAGULACIÓN- FLOCULACIÓN DE AGUA POTABLE EN LA EMPRESA EAF SAS ESP.

Castro, L. M. A. (2016). Variacion en la reduccion de la turbiedad de lixiviados del relleno sanitario la esmeralda, mediante un proceso de coagulacion/floculacion ayudado por almidon de platano y aguas termales. *UCM*, 1–51.

Garci, G. del R. C., & Torres, E. R. I. (2015). Influencia del pH, concentracion de coagulante y floculante en la remocion de solidos suspendidos ,demanda quimica de oxigeno y Turbidez en el efluente de lavado de pulpa de la planta papelera trupal S.A.

Ks-pool. (n.d.). Retrieved May 22, 2019, from www.ks-pool.com

Langergraber, G., Pressl, A., Kretschmer, F., & Weissenbacher, N. (2018). Small wastewater treatment plants in Austria – Technologies , management and training of operators. *Ecological Engineering*, *120*(March), 164–169. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.05.030

Lizarazo, J. M., & Orjuela, M. I. (2013). Sistemas De Plantas De Tratamiento De Aguas Residuales En Colombia, 7–13. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

Ñacari, A. C. R. (2017). USO DE Moringa oleífera Y CARBÓN ACTIVADO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL DE LAVADO VEHICULAR EN EL DISTRITO DE SAN MARTÍN DE PORRES.

Nadia, C. (2011). Tratamiento de agua para consumo humano, 153–170.

Osorno, H. A. R. (2009). Evaluacion del proceso de coagulacion-floculacion de una planta de tratamiento de agua potable. *Universidad Nacional de Colombia-Medellin*, 1–109. https://doi.org/10.2174/138920312803582960

Piamonte, J. S. F., & Arcila, C. E. C. (2013). Evaluación y Optimización de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Purificación en el departamento de Tolima.

Ramirez, D. O., & Irma, A. (2008). EVALUACIÓN DE DOS CLASES DE CARBÓN ACTIVADO GRANULAR PARA SU APLICACIÓN EFECTIVA EN LA REMOCIÓN DE FENOLES EN LOS VERTIMIENTOS DE UNA EMPRESA DE JABONES.

Reynolds, K. A., & Ph, D. (2002). Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica Identificación del Problema.

Roosevelt, P., & Briceño, E. (2016). *Sistema de monitoreo para una red de distribución de agua*

usando una red de sensores inalámbricas.

Shirley, I. N. G., & Medina, S. (n.d.). UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL ACTA DE APROBACIÓN TEMA : TECNOLOGIA PARA APLICACIÓN DEL POLICLORURO DE ALUMINIO EN PROCESAMIENTO DE AGUAS . DANIEL PILCA BAQUE APROBADO EN SU ESTILO Y CONTENIDO POR : ING . CARLOS DECKER COELLO SUB – DECANO FACULTAD DE ING QUIMICA, 0–118.

Sostenible, M. de M. ambiente y D. (2015). Resolución 631 de 2015, *2015*(49).

Trillas, F., & Ricart, J. E. (2019). PTAR El Salitre ,Bogota(Colombia).

Valero, F. (1998). Policloruro de aluminio en el proceso de pot abi l i zaci ó n de aguas superficiales, *2*(2).