

Estandarización Del proceso de coagulación (coagulante y coadyuvante) dentro de la fase de clarificación del tratamiento de lixiviados en el Parque Tecnológico Ambiental San Silvestre según los lineamientos de la NTC-ISO 9001:2015, y la Resolución 631 del 2015

José Luis Villamizar Contreras, Juan Fernando Mancilla Carrillo

Trabajo para optar el título de Especialista en Dirección y Gestión de Calidad

Director

Carlos Fernando Arenas Jiménez

Magíster en Ingeniería Civil

Codirector

Tatiana Alexandra Castañeda Sánchez

Magíster en Calidad y Gestión Integral

Universidad Santo Tomas, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Especialización en Dirección y Gestión de Calidad

2023

Contenido

Introducción	9
1. Estandarización Del proceso de coagulación (coagulante y coadyuvante) dentro de la fase de clarificación del tratamiento de lixiviados en el Parque Tecnológico Ambiental San Silvestre según los lineamientos de la NTC-ISO 9001:2015, y la Resolución 631 del 2015	11
1.1 Planteamiento del problema	11
1.2. Formulación del problema.....	14
1.3. Sistematización del problema	14
2. Justificación	14
3. Objetivos	17
3.1. Objetivo general	17
3.2. Objetivos específicos	17
4. Marco referencial	18
4.1. Reseña histórica y caracterización de la empresa	18
4.2. Antecedentes	20
4.2.1. Antecedentes en el ámbito internacional	20
4.2.2. Antecedentes en el ámbito nacional.....	21
4.2.3. Antecedentes en el ámbito local	23
5. Marco teórico	25
5.1. Caracterización de lixiviados.....	25
5.2. Parque tecnológico ambiental.....	26
5.3. Tratamiento de lixiviados	27
5.4. Sedimentación	29

5.5. Coagulación-floculación.....	30
5.6. Tipos de coagulantes-floculantes.....	31
5.6.1. Coagulantes-floculantes inorgánicos	31
5.6.2. Coagulantes-floculantes orgánicos (sintéticos y naturales)	32
5.6.3. Coagulantes-floculantes minerales	32
5.7. Estándares de calidad.....	32
6. Otros marcos	34
6.1. Resolución 631 de 2015	34
6.2. Decreto 1784 de 2017.....	35
6.3. Resolución 330 de 2017	36
6.4. Resolución 938 del 2019	36
6.5. NTC- ISO 9001 de 2015.....	36
6.6. NTC 3903 de 2010	37
6.7. Statgraphics Centurión	37
7. Diseño metodológico	38
7.1. Metodología.....	38
7.1.1. Etapa 1.....	40
7.1.2. Etapa 2. Establecer el método adecuado de remoción de turbiedad en la fase de sedimentación de PTASS por medio del ensayo de jarras, para encontrar las dosis óptimas de coagulante y coadyuvante	40
7.1.3. Etapa 3. Establecer las variables más influyentes en la eficiencia del proceso de coagulación y floculación para la clarificación de los lixiviados generados en el PTASS, de acuerdo con los resultados obtenidos en el ensayo de jarras	42

7.1.4. Etapa 4. Realizar un instructivo de operación bajo los estándares de calidad ISO 9001 que permita parametrizar el proceso de coagulación en el Parque Tecnológico Ambiental San Silvestre.....	43
8. Resultados	43
8.1 Determinar los parámetros que influyen en la estandarización de la coagulación floculación por medio de la caracterización fisicoquímica de los lixiviados generados en el PTASS	43
8.1.1 Análisis de resultados de la caracterización del lixiviado generado en el Parque Tecnológico Ambiental San Silvestre.....	44
8.2. Establecer el método adecuado de remoción de turbiedad en la fase de sedimentación de PTASS por medio de un ensayo de jarras, para encontrar las dosis optimas de coagulante y coadyuvante.....	47
8.2.1 Descripción del proceso de laboratorio.....	47
8.3. Establecer las variables más influyentes en la eficiencia del proceso de coagulación y floculación para la clarificación de los lixiviados generados en el PTASS, de acuerdo con los resultados obtenidos en el ensayo de jarras.	60
8.3.1. Análisis de modelo estadístico en Statgraphics	60
8.4. Diseño del instructivo: estandarización del proceso de coagulación en el PTASS.....	65
9. Conclusiones.....	69
Referencias	71

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Variables fisicoquímicas de lixiviados según su maduración</i>	26
Tabla 2. <i>Parámetros fisicoquímicos y valores máximos permisibles en vertimientos a cuerpos de agua</i>	35
Tabla 3. <i>Parámetros fisicoquímicos relacionados en la caracterización de lixiviados en el PTASS</i>	46
Tabla 4. <i>Dosificación empleada en ensayo de jarras en el PTA SS</i>	48
Tabla 5. <i>Registro resultados de práctica de laboratorio #1</i>	50
Tabla 6. <i>Registro resultados de práctica de laboratorio #2</i>	51
Tabla 7. <i>Registro resultados de práctica de laboratorio #3</i>	52
Tabla 8. <i>Registro resultados de práctica de laboratorio #4 - pH regulado a 8,08</i>	53
Tabla 9. <i>Registro resultados de práctica de laboratorio #5 - pH regulado a 10,04</i>	54
Tabla 10. <i>Registro resultados de práctica de laboratorio #6 - pH regulado a 9</i>	55
Tabla 11. <i>Registro resultados de práctica de laboratorio #7 - pH regulado a 8,07</i>	57
Tabla 12. <i>Registro resultados de práctica de laboratorio #8 - pH regulado a 9,01</i>	58
Tabla 13. <i>Registro resultados de práctica de laboratorio #9 - pH regulado a 10</i>	59
Tabla 14. <i>Registro de porcentaje de remoción de turbidez de práctica #7</i>	61
Tabla 15. <i>Registro de porcentaje de remoción de turbidez de práctica #8</i>	61
Tabla 16. <i>Registro de porcentaje de remoción de turbidez de práctica #9</i>	61
Tabla 17. <i>Análisis de varianza para estandarización de remoción de turbidez</i>	62

Lista de figuras

Figura 1. <i>Disposición final PTA San Silvestre</i>	27
Figura 2. <i>Diagrama del sistema de tratamiento de lixiviados en el PTA SS</i>	29
Figura 3. <i>Metodología</i>	39
Figura 4. <i>Proceso de mezcla en agitador múltiple para ensayo de prueba y error</i>	50
Figura 5. <i>Proceso de asentamiento del material floculante en el tiempo de reposo</i>	51
Figura 6. <i>Resultado final remoción de turbidez en práctica de laboratorio #3</i>	52
Figura 7. <i>Resultado final remoción de turbidez en práctica de laboratorio #4 con pH 8,08</i>	54
Figura 8. <i>Resultado final remoción de turbidez en práctica de laboratorio #5 con pH 10,04</i>	55
Figura 9. <i>Resultado final remoción de turbidez en práctica de laboratorio #6 con pH 9</i>	56
Figura 10. <i>Diagrama de Pareto estandarización de remoción de turbidez</i>	62
Figura 11. <i>Gráfica de interacción para remoción de turbidez</i>	63
Figura 12. <i>Superficie de respuesta estimada</i>	64
Figura 13. <i>Encabezado de documentación normalizada del SGI Veolia</i>	65
Figura 14. <i>Bloque de aprobación documentación normalizada del SGI Veolia</i>	66
Figura 15. <i>Tabla de control de cambios de documentación normalizada del SGI Veolia</i>	66
Figura 16. <i>Capítulo 3 – descripción método de ensayo de jarras PTASS</i>	67

Resumen

Este proyecto relacionó múltiples disciplinas con el objetivo de proporcionar tanto a la compañía como a los profesionales una estructura sistemática para gestionar de manera efectiva el macroproceso del tratamiento de lixiviados, promoviendo la implementación de buenas prácticas y la mejora continua en el desempeño. Para ello se planteó el desarrollo del análisis de la más reciente caracterización del lixiviado recolectado en las piscinas de aireación del PTASS, programando también series de prácticas de laboratorio; se realizaron en total nueve prácticas de laboratorio, comenzando por dos pruebas de error, una con la dosis determinada, tres con variación de pH y tres practicas finales donde se repiten cuatro veces las practicas con las mismas variaciones de pH anteriores. Se obtuvo en el resultado más óptimo una remoción de turbidez del 95,25% con una dosis de 2,0 ml de Hidroxicloruro de aluminio y 0,25 ml de poliacrilamida aniónica en un ambiente con un pH de 7,93. Los datos de la etapa practica fueron procesados por el software Statgraphics, demostrando la significancia de los factores variables y proyectando mediante la regresión lineal la ecuación que permita conocer la remoción de turbidez conociendo los factores variables en las unidades específicas. Finalmente, se presentó ante la compañía medioambiental Veolia un instructivo que contenga los parámetros de medición para realizar un desarrollo óptimo del proceso de coagulación-floculación. Este documento se incorporó al registro documental del Sistema de Gestión Integral, estando disponible para su conservación, comunicación y uso.

Palabras clave: lixiviado, calidad, turbiedad, dosificación optima, información documentada

Abstract

This project relates multiple disciplines with the objective of providing both the company and the professionals with a systematic structure to effectively manage the macro-process of leachate treatment, promoting the implementation of good practices and continuous improvement in performance. For this purpose, the development of the analysis of the most recent characterization of the leachate collected in the PTASS aeration pools was proposed, programming also a series of laboratory practices; a total of nine laboratory practices were carried out, starting with two error tests, one with the determined dose, three with pH variation and three final practices where the practices are repeated four times with the same pH variations as before. In the most optimal result, a turbidity removal of 95.25% was obtained with a dose of 2.0 ml of aluminum sulfate and 0.25 ml of anionic polyacrylamide in an environment with a pH of 7.93. The data of the practical stage were processed by Statgraphics software, demonstrating the significance of the variable factors and projecting through linear regression the equation that allows to know the turbidity removal knowing the variable factors in the specific units. Finally, an instruction manual containing the measurement parameters for an optimal development of the coagulation-flocculation process is presented to the environmental company Veolia. This document is incorporated to the documentary record of the Integral Management System, being available for its conservation, communication and use.

Keywords: leachate, quality, turbidity, optimal dosing, documented information.

Introducción

La generación desmesurada de residuos sólidos por parte de la sociedad sigue generando líquidos residuales, mejor conocidos lixiviados. El tratamiento de estos lixiviados ha planteado nuevos desafíos medioambientales para las compañías prestadoras del servicio de aseo y saneamiento público. De acuerdo con [1], Los tratamientos de aguas residuales consisten en la aplicación de tecnologías conocidas para mejorar o incrementar la calidad del agua residual.

La compañía multinacional Veolia le ha apostado a la transformación de los rellenos sanitarios en Parques Tecnológicos Ambientales, lugares “donde los residuos reciben un tratamiento adecuado, en busca de priorizar el aprovechamiento y gestionar la disposición final de manera responsable”[2].

A medida que avanza el desarrollo tecnológico, surgen nuevas alternativas de mitigar los riesgos, según [3] el tratamiento de lixiviados se ha perfeccionado considerablemente y se han vuelto más confiables, el uso del hidroxiclورو de aluminio como agente día por día se convierte en uno de los compuestos más comunes para mejorar la actividad de separación de sólidos suspendidos totales. Varios estudios han desarrollado modelos investigativos midiendo la efectividad de los agentes químicos en el tratamiento primario de los líquidos residuales. [4] planteó el método para la optimización del sistema de tratamiento primario de lixiviados en el relleno sanitario el INGA mediante mezclas de floculantes en Quito, Ecuador; [5] presentó la propuesta metodológica para el tratamiento del relleno sanitario del distrito metropolitano de Quito, mediante la comprobación de la influencia de las variables: dosis de químico, velocidad de agitación y tiempo de contacto en la conductividad del lixiviado.

Los Sistemas de Gestión integral representan para la compañía orden y regulación en los procesos que están activos, dentro de la Implementación de Proyectos de Gestión de Residuos

(IPGR), destaca el tratamiento de lixiviados y consigo los indicadores de gestión de la actividad en las instalaciones del PTASS, uno de los pocos parques en implementar dentro de su tren de tratamiento la planta de Osmosis inversa.

Este proyecto fue desarrollado con lixiviado recolectado en el parque tecnológico de Barrancabermeja en el departamento de Santander, teniendo en cuenta la necesidad de mejorar la calidad del proceso e incentivar el control operacional, siguiendo parámetros de calidad y parámetros ambientales comunicados por las autoridades regionales y la alta gerencia. El producto de este ejercicio es un documento denominado como instructivo, que permita establecer parámetros de operación y control en la actividad de coagulación-floculación en la etapa de clarificación de lixiviados; el objetivo es aportar a la información documental de la unidad de negocio Veolia Aseo Santander y Cesar, buscando que también pueda ser tenida en cuenta en otros PTA que implementen la misma actividad, ejemplo de ellos es el PTA las Bateas en Aguachica, departamento del Cesar.

1. Estandarización Del proceso de coagulación (coagulante y coadyuvante) dentro de la fase de clarificación del tratamiento de lixiviados en el Parque Tecnológico Ambiental San Silvestre según los lineamientos de la NTC-ISO 9001:2015, y la Resolución 631 del 2015

1.1 Planteamiento del problema

El desarrollo sostenible es uno de los aspectos de mayor interés hoy en día por las industrias de forma universal extendido a cada uno de los sectores económicos, uno de los aspectos ambientales más relevantes en la sostenibilidad ambiental se asocia a la gestión integral y la disposición final de los residuos generados por la humanidad, como resultado de este tipo de preocupaciones sociales, el desarrollo de las industrias también ha traído consigo un crecimiento exponencial asociado a las regulaciones y la estandarización de procesos y el desarrollo de requisitos normativos con el objetivo de propender a la prevención de la contaminación y el control de aspectos e impactos asociados a las actividades humanas.

La compañía de servicios medioambientales Veolia cuenta con 11 parques tecnológicos a nivel Colombia – Panamá, dentro del cual se destaca el parque San Silvestre, Ubicado en el casco urbano del municipio de Barrancabermeja – Santander, este parque es el único en Santander que opera bajo esta tecnología para el tratamiento de lixiviados provenientes de los residuos sólidos por medio de una planta de ósmosis inversa, como proceso de purificación de estos líquidos contaminados.

Dentro del ciclo de tratamiento se cuentan con diferentes métodos adicionales, iniciando por 4 lagunas de oxidación con capacidades para contener entre $2570 m^3$ y $3600m^3$; estas lagunas

cumplen con la función de degradar la materia y también la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

El valor DBO indica la cantidad de oxígeno que las bacterias y otros seres vivos minúsculos consumen durante 5 días a una temperatura de 20°C en una muestra de agua para la degradación aeróbica de las sustancias contenidas en el agua. El valor DBO es pues una medida indirecta de la suma de todas las sustancias orgánicas biodegradables del agua [6].

Luego de este tratamiento primario se conduce el lixiviado a la fase de sedimentación, donde se busca una separación de los sólidos disueltos con ayuda de coagulantes y floculantes. Esta fase conduce el líquido pretratado a un sistema de filtros manga con el fin de que su disposición final sean los vasos de Ósmosis inversa, con la menor cantidad de sólidos disueltos, por lo que también se cuenta con un filtro de carbón activado antes de la planta de Ósmosis inversa.

Según [7] “Los habitantes de la capital Petrolera de Colombia generan más de 51.000 toneladas de residuos al año, equivalente a 10 veces el área del parque de la Vida”, lo que, a su vez representa un alto flujo de líquidos contaminantes para ser tratados.

La cantidad de lixiviado contenido en las lagunas también se incrementa muchas veces por la precipitación de la lluvia, elevando la demanda de tratamiento del material residual. Dicho esto, el principal problema recae en la capacidad de procesamiento de líquidos que presenta actualmente la planta de ósmosis inversa del parque tecnológico, ya que se han identificado falencias en la fase de pretratamiento de los lixiviados, más específicamente en la sedimentación de los sólidos presentes; el alto flujo de partículas sólidas de gran tamaño ha generado que se incremente y sature la capacidad de procesamiento en la planta de osmosis inversa, aumentando los tiempos en el ciclo de purificación y muchas veces obligando a emplear métodos improvisados para no causar derrames del líquido contaminado, esto a causa de la alta presencia de sólidos que no se

sedimentan; Actualmente solo se realiza una descarga de lixiviado al silo de sedimentación, el volumen comprendido es de 45 metros cúbicos (m³) en un periodo de 90 minutos.

Frente a esta problemática, se resalta la importancia de realizar los procesos cumpliendo con los esquemas para una gestión de calidad, centrando la atención en estandarizar la actividad de clarificación manteniendo el proceso físico-químico de coagulación, es decir, poder determinar una dosis óptima de coagulante y coadyuvante para una mayor separación de sólidos que permitan mejor rendimiento de la planta de tratamiento; pues, también se piensa a futuro poder adquirir los permisos de vertimiento de esta agua tratada.

Teniendo en cuenta los objetivos de la compañía, se deben adoptar procedimientos que permitan cumplir con los parámetros establecidos en el artículo 14 de la resolución 631 del 2015 “Parámetros Físicoquímicos A Monitorear Y Sus Valores Límites Máximos Permisibles En Los Vertimientos Puntuales De Aguas Residuales No Domésticas (ARND) De Actividades Asociadas Con Servicios Y Otras Actividades”; de igual forma buscar la reducción de costos operacionales, dado que la aplicación de los agentes químicos no cuenta con controles de laboratorio que corroboren el funcionamiento de los mismos, gastando recursos de manera innecesarios, por otro lado, las condiciones con las que el lixiviado ingresa a la planta de osmosis inversa, disminuye significativamente la vida útil de los filtros y membrana de la misma, aumentando los gastos en mantenimiento y reemplazo de accesorios para esta planta.

La compañía Veolia cuenta con un Sistema de Gestión Integral certificado, dentro del cual se destaca su gestión de calidad siguiendo lineamientos de la NTC-ISO 9001:2015, NTC-ISO 14001:2015, NTC-ISO 45001:2018 Y ISO 37001:2016, por tal motivo es de suma importancia contar con que todas las actividades se estén llevando a cabo bajo los mismos estándares de calidad. Frente a este contexto, se ve necesario la elaboración de un instructivo que permita

establecer parámetros que optimicen el proceso de purificación de los lixiviados en el Parque Tecnológico Ambiental (PTA) San Silvestre, especificando dicha optimización en la fase de Coagulación – floculación (sedimentación).

1.2. Formulación del problema

¿Cómo estandarizar la dosis óptima de coagulante y coadyuvante que permita mejorar la sedimentación de sólidos disueltos y por ende el rendimiento de la operación de la planta de ósmosis inversa del PTA San Silvestre?

1.3. Sistematización del problema

- ¿Cómo comprobar la reducción de la turbiedad mediante la sedimentación del lixiviado?
- ¿Qué parámetros se deben tener en cuenta para establecer una dosis óptima según sea la caracterización del lixiviado?
- ¿Qué tipo y que Cantidad de coagulante y coadyuvante se empleará en el proceso de clarificación del lixiviado?
- ¿Qué actividades se deben realizar para cumplir con los estándares de calidad según la ISO 9001?

2. Justificación

Es importante realizar este proyecto de consultoría, Toda vez que la producción de lixiviados, a causa de la acumulación de material residual orgánico e inorgánico, genera un riesgo medioambiental al entorno y al ecosistema en donde se disponen los residuos. regularmente la planta de ósmosis inversa es la protagonista del tratamiento de lixiviado del Parque Tecnológico

San Silvestre; debido a esto se han descuidado las demás fases de pretratamiento de lixiviado, las actividades con agentes químicos no han sido implementadas con parámetros que permitan medir la eficiencia del método. Actualmente el panorama del PTA San Silvestre depende del óptimo funcionamiento de todas las fases del sistema de tratamiento del lixiviado, lo que hace necesario comenzar con la estandarización de este proceso; dado que una de las fases más importantes del proceso recae en la sedimentación, se dará prioridad en la fase de coagulación - floculación.

Por otro lado, la amenaza medioambiental que genera la acumulación de lixiviado proveniente de los residuos domésticos y no domésticos crece a medida que las condiciones del proceso de tratamiento del líquido no mejoren. solo en Barrancabermeja se generan más de 57.000 toneladas de residuos al año, por lo mismo se genera una gran cantidad de lixiviado al día, enfrentando una gran cantidad de riesgos tanto para la compañía de servicios como para la salud pública de no realizarse una adecuada actividad de purificación a este líquido contaminante antes de ser vertido en cuerpos de agua o de ser reutilizado para las actividades internas del PTA. Tan sólo para el año 2022 el PTA San Silvestre trató aproximadamente 29.800 metros cúbicos (m³) de lixiviado

Para cumplir con las fases del tren de tratamiento de lixiviado en el PTA San Silvestre, implementó en la fase de clarificación el silo de sedimentación vertical, Proceso que deriva un alto costo para el mantenimiento de esta actividad, sin embargo se ha podido observar que este alto costo se debe a que la dosis que se aplica para tratar los 45 m³ diarios es alta, generando resultados deficientes a su vez, ya que el aplicar mayor cantidad de agentes químicos no representa una mayor eficiencia en el proceso de coagulación y floculación. la dosis actual consta de 125 kg de Hidroxicloruro de Aluminio (Coagulante) y 0,23 kg de Poliacrilamida Aniónica (Floculante), sus costos en el mercado equivalen a \$2.750 y \$12.500 pesos por kilogramo, respectivamente;

teniendo en cuenta que el volumen clarificado son 35 m³ de los 45 m³ que son tratados diariamente, pues 10 m³ corresponden a lodos; al mes se estarían tratando 700 m³ de lixiviado clarificado, lo que equivale a un costo operacional de \$6.932.100 al mes, solo en la fase de clarificación, esto sin contar el costo que representa el mantenimiento del filtro y membrana de la planta de ósmosis inversa; por tal motivo, se ve la necesidad de optimizar el proceso de clarificación, estableciendo una dosis óptima que reduzca dichos sobrecostos y permita una mejor separación de sólidos presentes en el lixiviado, pues la fase de sedimentación es de suma importancia para un mejor funcionamiento de la fase de purificación por parte de la planta de osmosis inversa, desencadenando a su vez una mayor capacidad instalada en toda la fase de tratamiento de lixiviado, ya que se podría llegar a tratar mucho más que solo 45 m³ diarios, reduciendo costos y aumentando la efectividad del tratamiento.

De igual manera, este estudio servirá como base para la corrección y creación de futuros sistemas de tratamiento de lixiviado en los diferentes Parque Tecnológicos Ambientales.

Actualmente el Parque Tecnológico Ambiental San Silvestre (PTA SS) se enfrenta al reto de purificar el líquido proveniente de las celdas de disposición final de tal forma que se pueda llegar a optar por la opción de solicitar los permisos de vertimiento. Se han hecho grandes avances al pasar de una planta de prueba, a un ciclo bien definido que purifica ya el 97% del líquido tratado, destinándose a actividades de reúso para riego de vegetación y humectación de vías.

La Corporación Autónoma Regional De Santander (CAS) en calidad de ente regulador en el ámbito ambiental, es el encargado de adjudicar las licencias y permisos ambientales una vez se haya cumplido con los requerimientos establecidos y se hayan dictado otras disposiciones, generando monitoreo y seguimiento a las consideraciones e indicaciones pactadas con la entidad.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Estandarizar el proceso de coagulación - floculación dentro de la fase de clarificación del tratamiento de lixiviados en el Parque Tecnológico Ambiental San Silvestre (PTASS) teniendo en cuenta la normatividad pertinente NTC-ISO 9001:2015, y Resolución 631 de 2015

3.2. Objetivos específicos

1. Determinar los parámetros que influyen en la estandarización de la coagulación floculación por medio de la caracterización fisicoquímica de los lixiviados generados en el PTASS
2. Establecer el método adecuado de remoción de turbiedad en la fase de sedimentación de PTASS por medio de un ensayo de jarras, para encontrar las dosis óptimas de coagulante y coadyuvante
3. Establecer las variables más influyentes en la eficiencia del proceso de coagulación y floculación para la clarificación de los lixiviados generados en el PTASS, de acuerdo con los resultados obtenidos en el ensayo de jarras.
4. Realizar un instructivo de operación bajo los estándares de calidad ISO 9001 que permita parametrizar el proceso de coagulación-floculación en el Parque Tecnológico Ambiental San Silvestre.

4. Marco referencial

4.1. Reseña histórica y caracterización de la empresa

La compañía Veolia, es una empresa multinacional nacida en Francia, presente en los cinco continentes abarcando más de 48 países, con actividades en tres áreas principales de servicios como lo son la gestión del agua, la gestión de residuos y servicios energéticos, centrando su interés al desarrollo sostenible y la economía circular.

Veolia divide su estructura en Colombia y Panamá, generado presencia en 18 unidades de negocio distribuidos en los departamentos del territorio colombiano y en la regional Santander y Cesar, presta sus servicios en los municipios de Bucaramanga, Girón, Piedecuesta, Floridablanca, Barrancabermeja, Aguachica, Pelaya y sus dos PTA San Silvestre y Las Bateas.

La compañía medioambiental ha desarrollado internamente su propia reseña histórica en el área que compete este estudio, la regional Santander y Cesar, como se puede ver a continuación:

En agosto 19 de 2010, la Empresa Municipal de Aseo de Bucaramanga, EMAB S.A. E.S.P., publicó la Invitación Pública N° 004, con el fin de seleccionar una persona natural o jurídica que se encargará de operar y explotar, sin área de servicio exclusivo el servicio público de aseo, en una zona definida del municipio de Bucaramanga y la gestión comercial del servicio de aseo de toda la ciudad.

Es así como luego de presentada la propuesta a la Empresa Municipal de Aseo de Bucaramanga, EMAB S.A. E.S.P., y mediante resolución N° 190 del 19 de octubre de 2010, ésta misma adjudica el contrato a la firma consorcio "Aseo Chicamocha S.A. E.S.P".

El 20 de octubre del mismo año se crea en la ciudad de Bogotá, la Empresa Aseo Chicamocha S.A. E.S.P, por medio de escritura pública y se firma el contrato N° 048 con

la empresa Aseo Chicamocha S.A. E.S.P en el que se declara a la empresa Proactiva Chicamocha S.A E.S.P, como su operador especializado en el manejo de residuos sólidos.

El 26 de octubre se inician formalmente operaciones en la ciudad, comenzando con el proceso de barrido y recolección de residuos en las áreas correspondientes a los ciclos 4, 5, 6 y 7. [...] contando a la fecha con una fuerza de trabajo de 48 tripulantes, 13 conductores, 90 operarios de barrido, 5 supervisores, 1 jefe de operaciones, 1 secretaria, 1 persona encargada de recursos humanos, un parque automotor conformado temporalmente por 6 compactadores, para atender un total de 58.200 usuarios.

Se inicia entonces con el proceso de cotización del parque automotor pactado y la contratación del personal administrativo. Posteriormente, el 14 de enero después de negociaciones conjuntas Empresa Municipal de Aseo de Bucaramanga, EMAB - alcaldía, se adjudica la operación de barrido y recolección en la zona céntrica de la ciudad y algunas vías principales [...] mediante otro N°1 del contrato 048 de octubre de 2010.

[...] A partir del 30 de abril de 2018 empieza a operar bajo la razón social de Veolia Aseo Bucaramanga S.A E. S.P, y se proyecta como la empresa líder en el manejo de residuos sólidos en el área metropolitana de Bucaramanga, Barrancabermeja y Aguachica, comprometiéndose, además, con la preservación del medio ambiente, mitigando de manera progresiva el impacto que se genere en él y creando conciencia ambiental en los habitantes de la ciudad.

El propósito principal de Veolia Aseo Bucaramanga S.A E. S.P, es brindarle a la ciudad un concepto de área limpia; ya que el descuido, la falta de conciencia y cultura ciudadana han hecho que se deterioren significativamente lugares importantes que comprende el área de prestación [...] [8].

Por otro lado, es de suma importancia conocer la reseña histórica del PTA San Silvestre:

El Parque Tecnológico Ambiental San Silvestre se encuentra ubicado en el sector de Patio Bonito de la vereda El Zarzal del corregimiento La Fortuna del Distrito Especial Portuario, Biodiverso, Industrial y Turístico de Barrancabermeja, departamento de Santander. Sobre la vía que de Barrancabermeja conduce a Bucaramanga, Ruta Nacional 6601 PR20+700.

El PTA San Silvestre entró en operación en el mes de enero de 2015 operado en ese entonces por la empresa REDIBA S.A. E.S.P. y denominado Relleno Sanitario Patio Bonito, en la actualidad y aproximadamente desde el tercer cuatrimestre de 2019 viene siendo operado por Veolia Aseo Santander Y Cesar S.A. E.S.P.

En el PTA San Silvestre se reciben Residuos Sólidos de origen domiciliario e industrial no peligroso provenientes del Distrito de Barrancabermeja, en un promedio de 165 toneladas diarias [9].

4.2. Antecedentes

4.2.1. Antecedentes en el ámbito internacional

La universidad Nacional de San Martín en Perú en una de sus investigaciones en su Tesis en la “Clarificación fisicoquímica de lixiviados mediante procesos de coagulación, floculación y sedimentación del botadero municipal de la provincia de Moyobamba Perú – 2016” [10].

Establecen que la disposición definitiva de los residuos sólidos es uno de los problemas más impactantes que afectan a las sociedades del mundo en términos ambientales. El crecimiento demográfico ocasiona un incremento en la demanda de servicios de limpieza, y la generación de elevadas cantidades de residuos sólidos, los que posteriormente en contacto con el agua generan

lixiviados, estos últimos se constituyen en fluidos muy contaminados, que deben ser tratados antes de ser vertidos a un sistema de alcantarillado o a un cuerpo receptor de agua [10].

Ante esta problemática el trabajo que realizaron se ha enfocado en la búsqueda de una alternativa de solución a través del tratamiento fisicoquímico del lixiviado generado por el botadero municipal de la provincia de Moyobamba, que consiste en la remoción de partículas suspendidas por acción de dos productos por separado el sulfato de aluminio tipo A y el cloruro férrico, mediante procesos de coagulación, floculación y sedimentación [10].

Los elementos para el éxito de este proceso han sido determinar la dosis óptima del coagulante y el pH óptimo al que ocurre la mayor remoción de turbidez y DBO5, luego de un pretratamiento de sedimentación física y floculación biológica. De esta forma la presente investigación demuestra que la clarificación fisicoquímica es una tecnología apropiada para este tipo de lixiviado [10].

Según los resultados, se obtuvo una considerable disminución de la carga orgánica evaluada, las eficiencias de las pruebas con lixiviado pretratado estiman disminuciones de entre 43.75% a 51.88% para la turbidez y de entre 91.78% a 96.93% para el DBO5, lográndose disminuir significativamente los parámetros fisicoquímicos en los lixiviados, y constituyéndose como alternativa de solución frente a esta problemática y a la carencia de un relleno sanitario en la provincia de Moyobamba [10].

4.2.2. Antecedentes en el ámbito nacional

El tratamiento de lixiviados es un tema que tiene cavidad en cualquier ciudad que genere tanto residuo orgánico e inorgánico, pues su alcance de contaminación puede llegar a ser nocivo para el cuidado del medio ambiente y por ende generar afectaciones en la salud de los seres vivos

aledaños en las zonas donde este líquido tóxico es generado. Por tal motivo, los documentos de anteriores investigaciones relacionadas con el tratamiento de lixiviados a nivel nacional (Colombia) son de suma importancia, pues nos abre paso al contexto del caso de estudio.

En el relleno sanitario El Ojito, ubicado en la ciudad de Popayán, [11] realizaron un proyecto de investigación donde se evalúa el proceso de coagulación, floculación y centrifugado utilizando el sulfato de aluminio como tratamiento del lixiviado generado. La investigación centró su atención en recalcular la dosis óptima de coagulante teniendo en cuenta el tipo de lixiviado que se trata allí; La dosis de coagulante aplicada en la planta es efectiva en lixiviado joven, un lixiviado menos tóxico y con mejores características para el tratamiento de este, y el lixiviado generado está caracterizado como un lixiviado maduro, es decir que llevan en operación más de cinco años, lo que hace también que su tasa de biodegradabilidad sea más baja.

La investigación de [11] tuvo como variables fundamentales el tiempo de mezcla rápida, el tiempo de floculación necesario y el tiempo de sedimentado, además, basan sus resultados según sean las precipitaciones de lluvia al momento de aplicar la dosis de coagulante, pues el objetivo del proyecto fue cumplir con la disminución del 80% de la turbiedad, obteniendo este resultado con tiempos de 3:20 minutos de coagulación, 30 minutos de floculación y 12 horas de sedimentación y con dosis de sulfato de aluminio entre los 200 y 600 mg/l.

Otro antecedente, relacionado con el caso de estudio, tiene que ver con el cumplimiento de los estándares de calidad en cada una de las actividades que la compañía desempeña; el Parque Tecnológico Ambiental San Silvestre cuenta con la Certificación de calidad otorgada por ICONTEC, en la disposición final de los residuos sólidos.

La contraloría de Medellín, en el Informe Auditoría de Cumplimiento, Documenta los estándares para el control y supervisión de la disposición final de residuos sólidos a “Empresas

Varias De Medellín S.A. E.S.P”. Dentro de los procedimientos seleccionados en el alcance de la auditoría se encuentra el tratamiento de lixiviados, especificando que el principal objetivo de la actividad es medir el control del impacto que ha tenido en el ambiente.

La documentación disponible en cuanto a estándares de calidad en el tratamiento de lixiviados específicamente es muy limitada, pues en general se acredita la actividad de disposición final, englobando el procedimiento de tratamiento de lixiviado [12].

La compañía Veolia, regional Santander y Cesar, cuenta con documentación de este ámbito, es decir, de la actividad de disposición final; dando paso a que se implementen estrategias que nos permitan cumplir con el objetivo de este proyecto y poder así Caracterizar el procedimiento por medio del manual de operaciones.

4.2.3. Antecedentes en el ámbito local

Como antecedentes que competen la región Santandereana, se encuentra un Estudio de prefactibilidad para el mejoramiento en la prestación del servicio de aseo y tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Ecoparque-Rediba, donde [13] tiene como objetivo plantear un sistema complementario para el manejo de tratamiento de lixiviados, es decir que centra su atención en proponer alternativas teniendo en cuenta el estado en el que se encontraba el sistema de tratamiento, el cual consistió en la recirculación de lixiviado y planes para la implementación de la planta de ósmosis inversa; por consiguiente, las alternativas de solución complementaria fueron un reactor UASB y un filtro prensa.

Cabe mencionar que este estudio de prefactibilidad fue realizado en el que hoy es conocido como Parque Tecnológico Ambiental San Silvestre, perteneciente a la compañía Veolia.

[13] Concluye su estudio de prefactibilidad, recomendando el reactor anaeróbico de flujo ascendente (UASB), pues este método cumpliría la función de cómo plan de contingencia complementario.

Otro antecedente correspondiente al ámbito local es un artículo realizado por estudiantes de la Universidad De Santander (UDES) titulado “Caracterización e implementación de un método fisicoquímico para el tratamiento del lixiviado proveniente del relleno sanitario el carrasco” [14].

El proyecto se encuentra dividido en tres etapas. En la primera se efectuó el estudio de las propiedades físicas y químicas del lixiviado tales como: sólidos suspendidos totales (SST), demanda química de oxígeno (DQO), pH, color aparente, turbidez y metales. Dentro de esta caracterización fisicoquímica se destaca el análisis realizado para los compuestos orgánicos volátiles, semivolátiles y no volátiles y compuestos inorgánicos, procedentes de las partes sólida (lodo) y líquida del lixiviado. La segunda etapa corresponde a los ensayos preliminares realizados al lixiviado como floculación, neutralización y sedimentación, entre otros, para así llegar al tratamiento fisicoquímico con el mayor porcentaje de remoción de contaminantes. La tercera etapa comprende el desarrollo del tratamiento fisicoquímico para la remoción total o parcial de los altos índices de contaminantes previamente caracterizados; los cuales serán controlados mediante el análisis de turbidez, pH, color y DQO principalmente. Las pruebas experimentales se llevaron a cabo en los laboratorios del Centro de estudios e Investigaciones Ambientales- CEIAM- de la Universidad Industrial de Santander-UIS-, utilizando un volumen de lixiviado correspondiente a 1 litro para las pruebas [14].

5. Marco teórico

5.1. Caracterización de lixiviados

Se le conoce como lixiviado al líquido que resulta de la acumulación de residuos generalmente orgánicos. Este líquido es de color oscuro y denso, arrastra consigo partículas del material sólido presente en las fosas de disposición de residuos. Debido a su composición, el lixiviado es un material insoluble y no es biodegradable, es altamente contaminante y corrosivo.

En el Reglamento Operativo Parque Tecnológico Ambiental San Silvestre, el término lixiviado se define como “el líquido residual generado por la descomposición biológica de la parte orgánica o biodegradable de los residuos sólidos bajo condiciones aeróbicas o anaeróbicas y/o como resultado de la percolación de agua a través de los residuos en proceso de degradación.” [9].

Pueden caracterizarse en tres grupos, Lixiviado Joven, Lixiviado Intermedio y Lixiviado Maduro, dependiendo de la edad que dura el líquido en la piscina o vertedero. De acuerdo con [15] un lixiviado presente en un vertedero que tenga entre 3 y 5 años presenta un alto grado de compuestos orgánicos biodegradables, sin embargo, a medida que se aumenta la edad de estancamiento la composición de componentes fácilmente biodegradables disminuye, dificultando el tratamiento de este líquido contaminante a causa de un alto grado de actividad microbiana.

Tomando lo propuesto por [16] se puede clasificar en lixiviado joven cuando este tiene un tiempo menor a 5 años, lixiviado intermedio cuando su edad está entre 5 y 10 años, y lixiviado maduro cuando este supera los 10 años. para esto también realiza la caracterización fisicoquímica de acuerdo con la edad del agua residual (Ver tabla 1).

Tabla 1. Variables fisicoquímicas de lixiviados según su maduración

parámetros	Unidades	LJ		LI		LM	
		Max	Min	Max	Min	Max	Min
pH	Unidades	8,26	7,77	8,50	7,60	9,58	8,18
CE	mS/cm	36,7	27,1	23,5	16,2	20,6	11,6
AGV	meq/L	295	70	100	50	62,5	45
AT	mg CaCO ₃ /L	36300	12400	10746	7344	8694	1689
DT	mg CaCO ₃ /L	4324	1251	1863	866	2700	400
DBO ₅	mg O ₂ /L	13391	1171	1594	496	165	78
DQO	mg O ₂ /L	25455	9181	6638	3673	2197	1105
COT	mg COT/L	7840	3531	3025	1240	999	415
ST	mg/L	33796	17673	17950	10596	9345	5472
SDT	mg/L	33703	17041	17775	10473	8877	5382
NTK	mg N- NTK/L	2492	2184	2072	1204	1095	9,2
NH ₃ Libre	mg NH ₃	1090	187	787	237	257	4,1
N Amoniacal	mg N- NH ₃ /L	2184	1050	1848	1008	956	9,2
Cr	mg Cl/L	4200	2121	3099	1398	2420	800

Nota: influencia de la edad del lixiviado sobre su composición fisicoquímica y su Potencial de toxicidad. Adaptado de [16].

5.2. Parque tecnológico ambiental

Para [17] un parque tecnológico Ambiental es una alternativa integral para la disposición final de los residuos, contando con tecnologías y procesos como lo son las estaciones de clasificación y aprovechamiento de residuos inorgánicos, plantas de residuos aprovechables de construcción o demolición, plantas de tratamiento de lixiviados, plantas de compostaje y plantas de biogás.

Los llamados PTA por la compañía Veolia buscan llevar a cabo operaciones con altos estándares de calidad que vayan de la mano con el objetivo de garantizar una protección total a los recursos naturales, siendo amigables con el medio ambiente.

Figura 1. Disposición final PTA San Silvestre



Nota: instalaciones de la planta de tratamiento de lixiviado ubicada en el PTA San Silvestre, ubicado en Barrancabermeja. Tomado de [7].

5.3. Tratamiento de lixiviados

El tratamiento de lixiviados es una actividad compleja que comienza desde el manejo de los residuos sólidos, orgánicos e inorgánicos, los cuales generan el líquido contaminante.

El manejo del lixiviado parte desde la etapa de captación del líquido desde el interior de las celdas de disposición de los residuos, empleando filtros y capas de cobertura en cada nivel. Posteriormente, se define el tipo de transporte a emplear, ya sea por gravedad o por bombeo, dependen de las condiciones en que se capte el lixiviado, lo cual está sujeto a un diseño previo. Con base en los diseños previos, se define el tratamiento a dar a estos líquidos insolubles, siguiendo los lineamientos de la licencia ambiental para cada parque tecnológico ambiental en que se realice la actividad presente. Para ello también es importante detallar el tratamiento a emplear y establecer un seguimiento y control, especialmente en la medición de la cantidad de líquido tratado en cada celda y en un periodo determinado

Finalmente se cumple con la fase de entrega del líquido tratado, dándole el uso permitido según la licencia ambiental asignada al PTA, ya sea para aprovechamiento, reutilización o vertimiento.

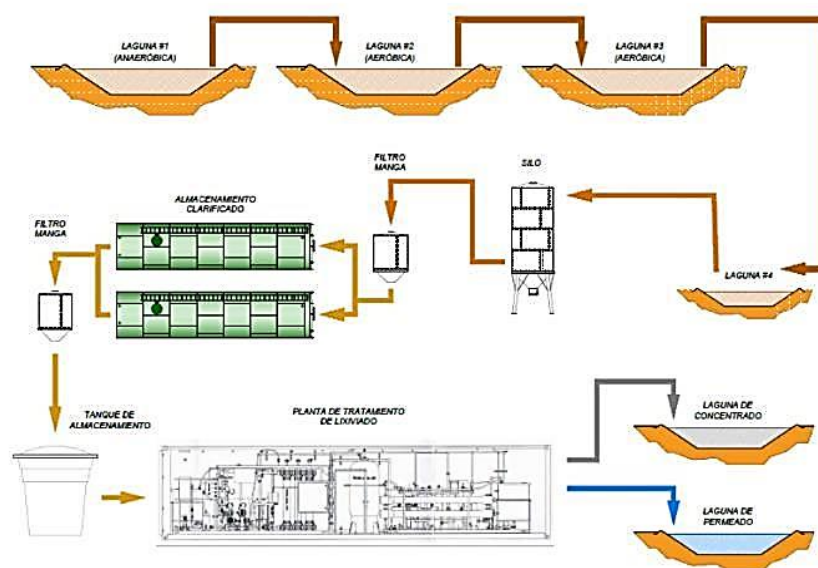
Como alternativas para llevar a cabo el tratamiento de lixiviados se cuenta con diversos modos, entre ellos [18] destaca los métodos convencionales y tecnológicos. Entre los métodos convencionales menciona la transferencia de lixiviados, tratamiento biológico, tratamiento físico químico.

Durante muchos años, los tratamientos biológicos convencionales y los métodos fisicoquímicos clásicos se están considerando como las tecnologías más adecuadas para la manipulación y gestión de efluentes de alta concentración como los lixiviados de vertedero. Cuando, en el tratamiento de lixiviados jóvenes, las técnicas biológicas pueden producir un rendimiento de tratamiento razonable con respecto a DQO, NH₃-N [Nitrógeno amoniacal] y metales pesados. Cuando se tratan lixiviados estabilizados (menos biodegradables), se ha encontrado que los tratamientos fisicoquímicos son adecuados como paso de refinación para lixiviados tratados biológicamente, con el fin de eliminar las sustancias orgánicas refractarias. Los procesos químico-físicos biológicos integrados (cualquiera que sea el orden) mejoran los inconvenientes de los individuos [18].

Por otro lado, entre los nuevos métodos de tratamiento (tecnológicos) se encuentran la microfiltración, la ultrafiltración, la nanofiltración y la ósmosis inversa; estos métodos han sido empleados últimamente como respuesta ante las entidades control ambiental, recalcando que el uso de solo métodos convencionales no cumple con los nuevos los nuevos parámetros normativos para el tratamiento de los líquidos residuales de rellenos sanitarios.

Los métodos físico-químicos, en la actualidad cuentan con una ventaja en comparación con los métodos biológicos aeróbicos, y es que son métodos compactos, que no requieren grandes instalaciones o espacios para realizar el proceso del tratamiento de lixiviados; ejemplo de ellos es el esquema del sistema de purificación del lixiviado con que cuenta el PTA San Silvestre (Ver figura 2), pues el método utilizado, específicamente en el pretratamiento, es la sedimentación en conjunto con la coagulación-floculación, para continuar con la fase de clarificación, y finalmente tratar el líquido en la planta de osmosis inversa.

Figura 2. Diagrama del sistema de tratamiento de lixiviados en el PTA SS



Nota: etapas del tren de tratamiento después de salir el lixiviado de las celdas de disposición hasta ser purificada por la planta de osmosis inversa para el reúso en las instalaciones del PTA integra el mapa en el reglamento operativo del PTA San Silvestre. Tomado de [9]

5.4. Sedimentación

Definimos como "sedimentación" al proceso natural por el cual las partículas más pesadas que el agua, que se encuentran en su seno en suspensión, son removidas por la acción de la gravedad [19].

Las impurezas naturales pueden encontrarse en las aguas según tres estados de suspensión en función del diámetro. Éstos son :

- a) Suspensiones hasta diámetros de 10^{-4} cm.
- b) Coloides entre 10^{-4} y 10^{-6} cm.
- c) Soluciones para diámetros aún menores de 10^{-6} cm.

Estos tres estados de dispersión dan igual lugar a tres procedimientos distintos para eliminar las impurezas. El primero destinado a eliminar las de diámetros mayores de 10^{-4} cm. constituye la "sedimentación simple". El segundo implica la aglutinación de los coloides para su remoción a fin de formar un "floc" que pueda sedimentar. Finalmente, el tercer proceso, que esencialmente consiste en transformar en insolubles los compuestos solubles, aglutinarse para formar el "floc" y permitir así la sedimentación. Es decir que, en muchos casos, las impurezas pueden ser, al menos en teoría, removidas mediante el proceso de sedimentación [19].

5.5. Coagulación-floculación

El proceso de separación por medio de la sedimentación, en el tratamiento de este tipo de líquidos, requiere agentes químicos, que mejoren la eficiencia del método.

“El proceso de coagulación–floculación consiste en añadir al agua o agua residual determinados aditivos químicos con el objetivo de favorecer la sedimentación de materia coloidal no sedimentable o aumentar la rapidez de sedimentación por la formación de flóculos” [20].

En la actualidad existen varios productos en el mercado, los agentes coagulantes más utilizados son el sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) y el cloruro férrico ($FeCl_3$) [20].

Se pueden presentar dos tipos de coagulación (absorción o barrido), donde la diferencia radica en la concentración de partículas en el estado coloidal, pues la absorción presenta mayor

concentración de partículas en el estado coloidal, donde la formación de los flóculos se presenta de manera rápida, por otro lado, el barrido consiste en tratar líquidos con baja turbidez y la formación de los flóculos se realiza por la sobresaturación del agente coagulante-floculante [21].

“El objetivo de la coagulación como proceso previo a la decantación es cambiar las propiedades de los elementos insolubles de modo que sean más fácilmente propiedades de los elementos insolubles, de modo que sean más fácilmente separables” [22].

La floculación es el procedimiento posterior a la coagulación, donde el principal objetivo es agitar la mezcla de tal manera que se formen y crezcan los flóculos recién formados, que al tener mayor tamaño también van a tener mayor peso, fundamental para que se pueda sedimentar con facilidad. Sin embargo, la mezcla lenta es parte fundamental de que el proceso de formación de flóculos sea un éxito, pues de ser una mezcla muy intensa, podría romper las partículas aglomeradas, reduciendo su peso y dificultando la sedimentación de las mismas [21].

5.6. Tipos de coagulantes-floculantes

Teniendo en cuenta que este método de tratamiento de aguas es uno de los más utilizados a nivel mundial, se han podido clasificar los tipos de coagulantes-floculantes, gracias a que actualmente es indispensable seleccionar los componentes que mejor favorezcan el proceso de clarificación; se pueden clasificar en:

5.6.1. Coagulantes-floculantes inorgánicos

Los coagulantes-floculantes inorgánicos son principalmente sales químicas con altas propiedades de coagulación y floculación, entre los más conocidos están el sulfato de aluminio,

sulfato férrico, sulfato ferroso, cloruro férrico y el aluminato de sodio. Este producto químico puede generar en ocasiones afectaciones en la salud y el medio ambiente [23].

5.6.2. Coagulantes-floculantes orgánicos (sintéticos y naturales)

Los coagulantes orgánicos sintéticos son polímeros solubles en agua que están basados en unidades repetidas de varios monómeros tales como acrilamida y ácido acrílico [23]; Por otro lado, los coagulantes orgánicos naturales, son principalmente polímeros extraídos de sustancias animales o vegetales, ejemplo de ello es el extracto de la semilla de Moringa oleifera, utilizada comúnmente en aguas con alta turbidez [21].

Los coagulantes-floculantes orgánicos naturales presentan mejor biodegradabilidad con respecto a los demás tipos, además no representan un peligro para la salud de quienes los manipulan ni para el medio ambiente.

5.6.3. Coagulantes-floculantes minerales

Este tipo de coagulante-floculantes fue de los primeros en ser utilizados, debe prepararse antes de ser aplicado, se hace referencia a la sílice activada, y su proceso de preparación es tan delicado que se puede correr el riesgo de gelatinizar la mezcla. produce la neutralización parcial de la alcalinidad de silicato de sodio en solución [21].

5.7. Estándares de calidad

La ISO 9001 es la norma de referencia internacional para la implementación de un sistema de gestión de calidad. El texto de esta norma contempla los requisitos que han de cumplirse en una empresa para poder garantizar la calidad de sus procesos y productos o servicios. Así, los capítulos

7 y 8 están dedicados a los requisitos de apoyo y operaciones. Dentro de los mismos, se encuentra el procedimiento de creación, actualización y control de documentos, la planificación y control operacional según [24].

La información documentada según [24] es aquella que una organización tiene que controlar y mantener, y el medio que la contiene (físicos, electrónicos, etc.). Así, a la hora de implantar su sistema de gestión de la calidad, la organización debe mantener y conservar la siguiente información:

- La información documentada requerida por ICONTEC.
- La información documentada que la organización determina como necesaria para la eficacia del sistema de gestión de la calidad.

Esto implica mantener actualizados documentos relativos a manuales, procedimientos de trabajo, operaciones, etc. Esta información, además, debe contar con una identificación y descripción. Es decir, ha de tener un nombre, un título, una firma y una fecha de vigencia, entre otros.

Toda la información documentada del SGC debe estar, a su vez, muy bien controlada. Así, el control de la documentación según [24] consiste en asegurar que la información documentada se encuentre:

- Disponible para su uso, dónde y cuándo se necesite.
- Protegida adecuadamente. Es decir, que no haya riesgos de pérdida de confidencialidad.

También hay otras actividades a emplear en el procedimiento de control de documentos [24]. Entre ellos podemos destacar la distribución, acceso y recuperación adecuada de la información, el correcto almacenamiento y preservación de los documentos o el control de cambios (por ejemplo, tener controlados los cambios de una versión a otra).

Como hemos comentado, una medida de control importante es el control de cambios en documentos según [24]. Así, por ejemplo, si una empresa ha documentado sus procedimientos, y necesita actualizarlos para introducir alguna mejora, esos cambios han de quedar reflejados, identificándose con un tipo de letra distinto, o bien realizando un cambio en el número de versión de esos documentos.

El tiempo de conservación de los documentos puede estar marcado por alguna legislación, o bien determinada por la organización en cuestión. En el caso de las historias clínicas de un centro de salud, por ejemplo, el tiempo de conservación está regulado. Si bien, una vez que acabe ese tiempo de conservación, será importante que existan protocolos sobre qué se va a hacer con esos documentos.

6. Otros marcos

La actividad de tratamiento de agua y saneamiento básico se ve regida por los siguientes referentes normativos .

6.1. Resolución 631 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” [25].

Dicha resolución especifica los parámetros fisicoquímicos dependiendo del sector productivo, para el caso de esta consultoría el sector es con relación a “actividades asociadas con servicios y otras actividades”, por lo tanto, el artículo 14 contempla los siguientes parámetros y sus valores límites permisibles.

Tabla 2. *Parámetros fisicoquímicos y valores máximos permisibles en vertimientos a cuerpos de agua*

Parámetro	Unidades	Generación de Energía Eléctrica	Tratamiento y Disposición de Residuos	Reciclaje de Materiales Plásticos y Similares	Reciclaje de Tambores
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	200	2.000,00	500	1.000,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)	mg/L O ₂	150	800	200	600
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	100	400	200	150
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	5	5	1	1
Grasas y Aceites	mg/L	20	50	20	20
Compuestos Semivolátiles Fenólicos	mg/L		Análisis y reporte		
Fenoles	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2
Formaldehído	mg/L			Análisis y Reporte	

Nota: descripción de parámetros establecidos para el tratamiento y disposición de residuos entre otras actividades. Adaptado de [25].

6.2. Decreto 1784 de 2017:

“Por el cual se modifica y adiciona el Decreto 1077 de 2015 en lo relativo con las actividades complementarias de tratamiento, y disposición final de residuos sólidos en el servicio público de aseo” [26].

6.3. Resolución 330 de 2017:

“Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009” [27].

El alcance de la intervención que tiene esta resolución se ve especificado en el artículo 11, estableciendo claramente los problemas y necesidades a los que se pretende responder, entre ellos se encuentran:

- Carencia de los servicios de agua potable, recolección y evacuación de aguas residuales y ausencia de manejo de los residuos sólidos por inexistencia de la infraestructura física necesaria.
- Prestación insuficiente del servicio objeto del sistema, en cuanto a cobertura, continuidad y/o calidad.
- Carencia o necesidades de mejora de infraestructura para el control de drenajes.

6.4. Resolución 938 del 2019

“Por la cual reglamenta el decreto 1784 del 2 de noviembre de 2017 en lo relativo a las actividades complementarias de tratamiento y disposición final de residuos sólidos en el servicio público de aseo” [28].

6.5. NTC- ISO 9001 de 2015

Esta Norma Internacional especifica los requisitos para un sistema de gestión de la calidad cuando una organización: a) necesita demostrar su capacidad para proporcionar regularmente productos y servicios que satisfagan los requisitos del cliente y los legales y reglamentarios

aplicables, y b) aspira a aumentar la satisfacción del cliente a través de la aplicación eficaz del sistema, incluidos los procesos para la mejora del sistema y el aseguramiento de la conformidad con los requisitos del cliente y los legales y reglamentarios aplicables. Todos los requisitos de esta Norma Internacional son genéricos y se pretende que sean aplicables a todas las organizaciones, sin importar su tipo o tamaño, o los productos y servicios suministrados [24].

6.6. NTC 3903 de 2010:

Esta norma establece un procedimiento general para la evaluación de un tratamiento encaminado a reducir el material disuelto, en suspensión, coloidal y no sedimentable del agua mediante coagulación-floculación química, seguida por sedimentación mediante la gravedad. El procedimiento se puede usar para evaluar el color, la turbidez y la reducción de la dureza [29].

6.7. Statgraphics centurión:

Este software brinda herramientas estadísticas de tal manera que facilite la obtención, comprensión y cumplimiento de objetivos, entre los cuales se destacan: el avance del rendimiento de los sistemas de gestión de calidad, aumento de productividad, desarrollo de mejores prácticas y optimización de políticas y procedimientos, impulsando controles y eficiencia de ahorro de costos [30]. Este software permitirá realizar un análisis de varianza con los resultados obtenidos en laboratorio, trabajando como variable la remoción de turbiedad y contando con los factores de pH y la dosis de coagulante (Hidroxiclورو de Aluminio).

Este programa a su vez ofrece una amplia gama de herramientas estadísticas y de visualización, de tal forma que se pueda consignar como una herramienta completa que ayude a

investigadores, científicos de datos, ingenieros y profesionales en diversos campos a tomar decisiones basadas en datos.

Algunas de las funciones que se pueden encontrar en este programa son el análisis exploratorio de datos por medio de gráficos descriptivos, histogramas , diagramas de dispersión, entre otros diagramas que permitan identificar patrones, valores y distribuciones de datos; El control de calidad es otra función que incluye esta herramienta al generar gráficos de control, análisis de control de procesos y diseños de experimentos; otra de las funciones es el modelado predictivo incluyendo técnicas de regresión y gráficos interactivos tanto en 2D y 3D.

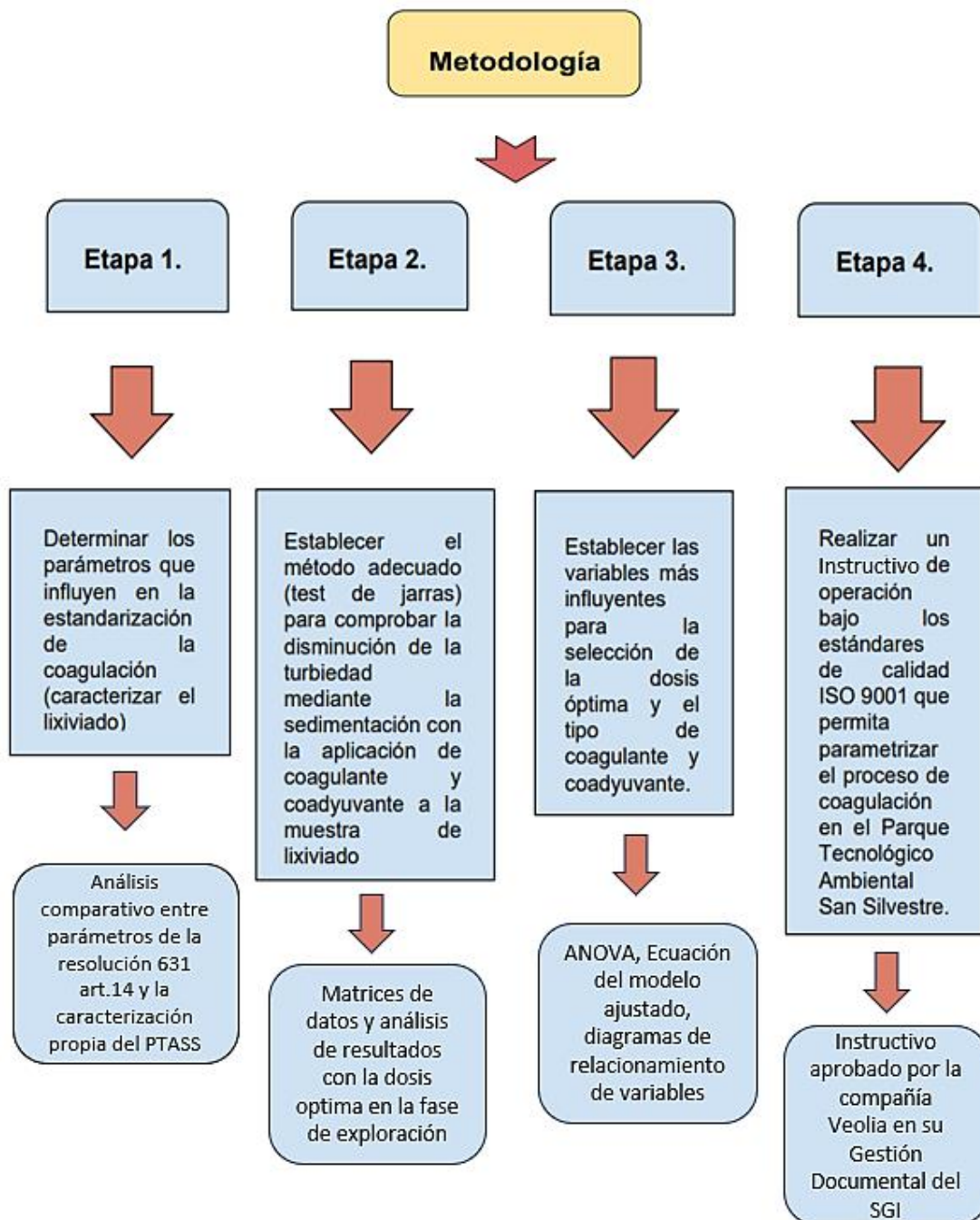
7. Diseño metodológico

7.1. Metodología

Esta consultoría se basó en un diseño experimental y un alcance descriptivo, teniendo en cuenta que el objetivo principal fue crear un instructivo con estándares que han sido probados en un laboratorio y que han sido analizados mediante herramientas de carácter estadístico; este instructivo siguió a su vez los lineamientos de la NTC-ISO 9001 de tal forma que permita parametrizar el proceso de coagulación en el Parque Tecnológico Ambiental San Silvestre.

Esta metodología se dividió en 4 etapas las cuales corresponden a los objetivos específicos planteados y se representan en la figura 3.

Figura 3. Metodología



7.1.1. Etapa 1. Determinar los parámetros que influyen en la estandarización de la coagulación-floculación por medio de la caracterización fisicoquímica de los lixiviados generados en el PTASS

Para lograr el cumplimiento de esta fase, se plantearán dos actividades, la primera consistirá en tomar la reciente caracterización del lixiviado generado en el Parque Tecnológico Ambiental San Silvestre. Esta caracterización es tomada en cuenta debido a que la compañía Veolia realiza constantes mediciones, con un laboratorio proveedor, para la medición de las principales características que clasifican el tipo de lixiviado.

La segunda actividad consistirá en analizar e interpretar el resultado obtenido en la caracterización que proporciona la compañía; a partir de este laboratorio, se revisará también los parámetros correspondientes que tiene en cuenta la resolución 631- Art. 14 con el fin asegurar el cumplimiento de requisitos normativos.

7.1.2. Etapa 2. Establecer el método adecuado de remoción de turbiedad en la fase de sedimentación de PTASS por medio del ensayo de jarras, para encontrar las dosis óptimas de coagulante y coadyuvante

Esta fase se desarrollará por medio de 2 actividades, la primera consistirá en realizar la recolección de la muestra directamente del lixiviado generado por la percolación del líquido generado de la materia orgánica e inorgánica. Recolectar alrededor de 40 litros de lixiviados en garrafas de 5 Gl. Evitar exponer a la radiación solar directa y se mantendrá bajo cuidado de tal forma que en el transporte no se alteren las propiedades de esta. Esta actividad se realizará por el personal técnico del PTA SS, de tal forma que se cumplan los requerimientos de personal, equipos y materiales para el correcto seguimiento del procedimiento.

La segunda actividad consistirá en realizar el ensayo de jarras, de acuerdo con los parámetros establecidos en la Norma Técnica Colombiana NTC 3903 en el capítulo 10, titulado procedimiento. Se tendrá como agente coagulante el hidroxiclорuro de aluminio y como agente floculante la poliacrilamida.

Realizar la prueba de jarras, modificando alternativamente los siguientes parámetros: pH, dosificación de hidroxiclорuro de aluminio y dosificación de poliacrilamida. Inicialmente se procede a tomar una muestra madre de 5 lt a la cual se le median niveles pH y turbidez, posteriormente se dividirá la muestra en 5 vasos precipitados aforados de 1 lt, los cuales se montan en el equipo para la prueba de jarras en dos momentos asociados a dos niveles de agitación (Mezcla rápida y mezcla lenta) y un momento de reposo.

- En la etapa de agitación rápida con velocidad de rotación de 100 rpm por 1 minuto se aplicarán los diferentes volúmenes de agentes coagulante y coadyuvante (hidroxiclорuro de aluminio y poliacrilamida aniónica).
- Seguidamente las mismas 5 muestras se someterán a una mezcla lenta en el equipo a una velocidad de 10 rpm por 20 minutos, tiempo en el cual se genera el ejercicio de observación directa y análisis.
- Finalmente, en la etapa de reposo de reposo de 15 o 20 minutos, se realizaba una medición final de PH y turbidez y volumen de sedimento sobre los 1000 ml iniciales por cada jarra aforada, registrando toda esta información en la bitácora de laboratorio.
- Estas actividades se realizarán cumpliendo con los requisitos de bioseguridad, ya que se estará manipulando un líquido tóxico.

Para la medición de cada uno de estos parámetros se utilizará un turbidímetro y un pH metro digital, además de otros utensilios y sustancias como un agitador múltiple, una balanza

analítica, vasos de precipitado aforados de 1000 ml, espátula y agitadores manuales de vidrio, cal y ácido sulfúrico para regular el pH al nivel necesario para la muestra.

Por último, se tendrá que realizar la limpieza de los materiales y equipos, ubicando nuevamente la muestra en su lugar oscuro y refrigerado y desechando los residuos de la misma en una garrafa diferente, siguiendo las instrucciones del personal del laboratorio.

7.1.3. Etapa 3. Establecer las variables más influyentes en la eficiencia del proceso de coagulación y floculación para la clarificación de los lixiviados generados en el PTASS, de acuerdo con los resultados obtenidos en el ensayo de jarras

Esta fase se desarrolla teniendo en cuenta la fase de exploración en el ensayo de jarras pues el punto de referencia de esta etapa debe ser estandarizar las variables que definan la dosis óptima de coagulante y coadyuvante, es decir que se medirán aquellos factores fisicoquímicos que representan cambios en el comportamiento del lixiviado.

Para establecer las variables que tienen mayor influencia en el proceso de remoción de la turbiedad de los lixiviados se utiliza el software “statgraphics” para realizar un análisis de varianza (ANOVA) y encontrar los parámetros con mayor significancia estadística. Este método se complementa con otras pruebas gráficas del software como el gráfico de interacción, superficie de respuesta estimada, gráfico del modelo ajustado, entre otros.

7.1.4. Etapa 4. Realizar un instructivo de operación bajo los estándares de calidad ISO 9001 que permita parametrizar el proceso de coagulación en el Parque Tecnológico Ambiental San Silvestre

En esta fase se contempla un instructivo para el cumplimiento adecuado del objetivo principal del tratamiento del lixiviado en estudio, pues en primera instancia, permitirá estandarizar y manejar bajo parámetros de calidad el proceso del pretratamiento (sedimentación).

El diseño del instructivo está principalmente orientado dosificar, de manera adecuada, el coagulante y el coadyuvante según sean las características físicas y químicas del lixiviado, de acuerdo con los resultados obtenidos en el ensayo de jarras del presente proyecto y teniendo en cuenta la clasificación de los lixiviados según [16] quien ha definido valores límites que permiten clasificar el lixiviado. Con base en esto, el operador técnico del PTA San Silvestre en Barrancabermeja, tendrá un documento de apoyo que permita, primero mejorar la eficiencia del proceso y segundo, optimizar la aplicación de los agentes coagulantes y coadyuvantes.

De igual forma, complementará la información documentada de la fase operacional de parque tecnológico ambiental, beneficiando así el sistema de gestión interno, ya que se determinan estándares que no se estaban controlando, incurriendo en sobrecostos y reducción de la capacidad operativa que tiene el tren de tratamiento del PTA SS.

8. Resultados

8.1 Determinar los parámetros que influyen en la estandarización de la coagulación floculación por medio de la caracterización fisicoquímica de los lixiviados generados en el PTASS

A continuación, se muestra un análisis de los resultados obtenidos en la más reciente caracterización del PTASS con los parámetros establecidos en el artículo 14 de la resolución 631 del 2015.

8.1.1 Análisis de resultados de la caracterización del lixiviado generado en el Parque Tecnológico Ambiental San Silvestre.

La compañía Veolia Aseo Santander y Cesar E.S.P. realiza periódicos monitoreos de todos los procesos que desarrollan dentro del marco de sus funciones, entre estos procesos se destaca el tratamiento de lixiviados; este control se lleva a cabo por medio del Informe Técnico Caracterización de Aguas Superficiales, Aguas Lluvias, Aguas Subterráneas y Lixiviados. La compañía prestadora del servicio de aseo no cuenta con los equipos de laboratorio que permitan realizar el informe mencionado, por tal motivo se recurre a obtener los resultados por medio de un laboratorio externo.

El más reciente informe fue presentado por la compañía ANASCOL S.A.S, en julio del año 2022.

ANASCOL, cuenta con acreditación para producir información, para los estudios o análisis ambientales requeridos por las autoridades ambientales competentes, otorgada por el IDEAM bajo la Resolución 0887:2021; autorizados por el Ministerio de Salud y Protección Social para la realización de análisis de agua para consumo humano bajo la Resolución 2625:2019; certificación bajo las normas ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, ISO 45001:2018, otorgamientos que certifican la calidad de los procesos [31].

De acuerdo con el informe presentado por ANASCOL los ensayos se llevan a cabo cumpliendo con el procedimiento PT 0216, donde se garantiza la calidad del desarrollo de esta

actividad, además cumplen con el objetivo de la gestión documental según la norma NTC-ISO/IEC -17025.

La metodología consistió en muestreos puntuales, con medición en campo, para la caracterización de los parámetros físicos y químicos de aguas superficiales, aguas subterráneas, aguas lluvia y lixiviados.

Para el desarrollo de esta actividad de muestreo, el laboratorio realizó el alistamiento del material para el trabajo de campo, identificando el punto de toma de muestra, donde se realiza la medición y se cumple con el registro documental en la hoja de campo; luego de obtener la muestra se preservó y refrigeró en nevera, garantizando que desde el momento de extracción y transporte hasta el análisis se mantuviera una temperatura inferior a los 6° C. De acuerdo con lo consignado en el informe, las muestras se entregan correctamente rotuladas y se diligencia el respectivo formato de ingreso.

El ejercicio práctico tuvo lugar propiamente en el PTA San Silvestre en Barrancabermeja, donde la compañía encargada tomó muestras en los puntos de monitoreo identificados como: piscina 3 aireada, piscina principal, Pozo de inspección celda #1, Laguna 4 al silo y taquilla #2 celda. Cada punto de monitoreo y muestra tuvo su identificación, descripción y registro fotográfico, resaltando que durante el muestreo el clima fue cálido y que no se tuvo reporte de lluvias el día anterior en el área de estudio.

Centrando la atención en los parámetros fisicoquímicos que más influyen en el porcentaje de turbidez presente en la muestra, ANASCOL S.A.S. presenta los siguientes resultados:

Tabla 3. *Parámetros fisicoquímicos relacionados en la caracterización de lixiviados en el PTASS*

Parámetros Requeridos Caracterización Lixiviado PTASS							
Variable	Unidades	Lcm5	Resultados				
			Piscina 3 Aireada 49698	Piscina Principal 49699	Pozo Inspección Celda #1 49700	Laguna #4 Entrada Al Silo 49701	Taquilla #2 Celda 49702
pH	Unidades De pH	N.A	8,92	8,51	7,82	8,96	8,17
Solidos Sedimentables	ml/l	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Solidos Suspendidos Totales	mg SST/l	10	65	69	75	81	126
Temperatura	°C	N.A	30,74	30,1	36,8	34,5	30,1

Nota: informe técnico caracterización aguas superficiales, aguas lluvias, aguas subterráneas y lixiviados presentado por Anascol a Veolia S.A.S. La tabla solo presenta los datos de mayor repercusión para la consultoría, teniendo en cuenta que este pertenece a el registro documental de la compañía medioambiental Veolia Aseo Santander y Cesar S.A.S. Adaptado de [32].

De acuerdo con la información contenida, se infiere que la muestra de este líquido de estudio presenta, en su mayoría, características de un lixiviado maduro, principalmente por los resultados de la medición del pH, pues se encuentra en un rango entre 8,18 y 9,58. De igual forma, al realizar el análisis comparativo de los resultados obtenidos en campo, con los parámetros físico químicos establecidos en el artículo 14 de la resolución 631 del 2015 (Ver tabla 2), se presentan las siguiente apreciaciones:

- Los niveles de pH presentado en la caracterización del lixiviado se encuentran dentro de los parámetros establecidos en la resolución 631 del 2015, sin embargo, su medición cercana al límite máximo que es 9,0.

- La medida de los sólidos sedimentables presente en la caracterización se encuentra inferior al límite establecido en la tabla de parámetros fisicoquímicos de la resolución 631 del 2015.
- Por lo tanto, la medida de sólidos suspendidos totales en las muestras del tren de tratamiento de lixiviado del PTA SS, presenta en promedio 83,2 mg /L en la más reciente caracterización, lo que indica que se encuentra dentro del estándar especificado en la resolución 631 del 2015, cuya medida es de 400 mg/L.

8.2. Establecer el método adecuado de remoción de turbiedad en la fase de sedimentación de PTASS por medio de un ensayo de jarras, para encontrar las dosis óptimas de coagulante y coadyuvante

A continuación, se describe el proceso de la etapa práctica de laboratorio, tanto el laboratorio practicado en el PTASS y las demás prácticas desarrolladas en las instalaciones del campus de Floridablanca de la Universidad Santo Tomás.

8.2.1 Descripción del proceso de laboratorio

El desarrollo de esta práctica de laboratorio fue de suma importancia para poder obtener, de manera progresiva, los datos que serían procesados en la herramienta de análisis estadístico Statgraphics. Esta prueba permitió ir comprobando las diferentes etapas del proceso de coagulación y floculación, consintiendo la variación de parámetros dentro del proceso en general, en este caso, se varía sólo la cantidad de agente coagulante.

Una vez se establece que la práctica a desarrollar es por medio de ensayo de jarras, se procedió a solicitar ante la compañía VEOLIA ASEO SANTANDER Y CESAR E.S.P. la autorización para la obtención de la muestra de lixiviado de la laguna N°4, donde el líquido ya ha

tenido un proceso de oxidación aeróbica, además esta laguna comunica directamente el proceso el proceso físico que se maneja en las lagunas con el proceso físico-químico que se maneja en el silo de sedimentación, lo cual permite obtener una muestra con las características requeridas para el desarrollo de los ensayos de laboratorio. Cabe resaltar que la obtención de la muestra se coordinó directamente con el personal técnico del PTASS, donde ellos realizaron la captación del líquido y el embalaje del mismo desde el parque que está ubicado en Barrancabermeja, Hasta la sede de Girón para posteriormente trasladarla hasta las instalaciones de la Universidad Santo Tomás, seccional Floridablanca, donde se encuentran los equipos de laboratorio, además de contar con el espacio de almacenamiento con las condiciones climáticas adecuadas.

Antes de comenzar con las prácticas en el laboratorio de la Universidad Santo Tomás, el personal técnico del PTASS en Barrancabermeja llevó a cabo una práctica donde también pudieron comprobar las etapas de coagulación y floculación de este procedimiento, pues anteriormente el parque no contaba con equipo para desarrollar ensayos de jarras. De este ensayo se pudo conocer las dosis de los agentes químicos con los que la compañía está realizando la fase de clarificado.

Como ya se mencionó anteriormente, el agente coagulante empleado por la compañía es el hidroxiclорuro de aluminio y el agente floculante es la poliacrilamida aniónica con una concentración al 2%, empleando las dosis descritas en la tabla 4.

Tabla 4. *Dosificación empleada en ensayo de jarras en el PTA SS*

Test De Jarras En PTA SS				
Agente Químico	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4
Hidroxiclорuro	2000,0 PPM	2500,0 PPM	2000,0 PPM	1500,0 PPM
Poliacrilamida	6,0 PPM	10,0 PPM	10,0 PPM	6,0 PPM
Hidroxiclорuro	3,5 ml	4,4 ml	3,5 ml	2,5 ml
Poliacrilamida	6,0 ml	10,0 ml	6,0 ml	10,0 ml

Test De Jarras En PTA SS

**Disolución química del
Poliacrilamida**

Se agrego 2 gramos de Poliacrilamida aniónica al 2% a 1 Litro de Agua . La Mezcla se deja en reposo de 30 a 60 minutos

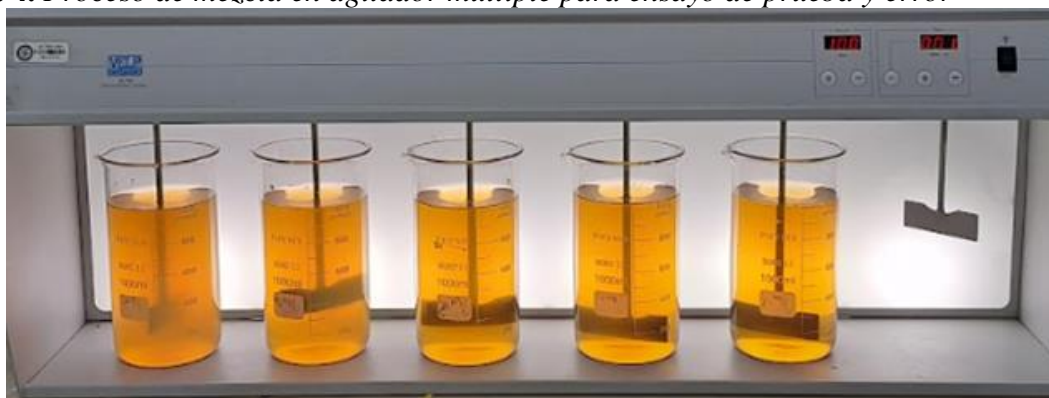
El procedimiento inicial durante todos los ensayos fue el mismo, consistiendo en diluir 0,2 gr de Poliacrilamida aniónica a 100 ml de agua, de tal forma que se facilitara la adición a los vasos de precipitado por medio de un gotero, el Hidroxicloruro de aluminio se encontraba ya en presentación líquida; luego de lograr la solución de la poliacrilamida aniónica, se tomó la muestra del líquido con el fin de medir su pH inicial, para posteriormente ubicar las cinco jarras con 1000 ml de lixiviado en el agitador múltiple, donde se estableció las etapas de la mezcla lenta a 10 Revoluciones Por Minutos (RPM) durante un minuto, y la mezcla rápida a 100 RPM durante diez minutos, y se instauró un tiempo de reposo de 15 a 20 minutos, fuera del agitador. se concluyó con la toma de la turbidez de cada uno de los vasos con diferentes dosis, por medio del turbidímetro. Cabe mencionar que se llevó a cabo la coordinación del desarrollo práctico a la par con el registro de la información.

Con base en la dosificación empleada por el personal de PTASS, se procedió a establecer un nuevo rango en las dosis de los agentes químicos para comenzar las pruebas en el laboratorio del campus universitario. El rango del coagulante para este primer laboratorio se estableció entre 1000 y 3000 Partículas Por Millón (PPM) aumentando progresivamente de a 500 PPM en cada jarra hasta llegar al límite superior, y la dosis de poliacrilamida aniónica se establece en 10 PPM para todas las jarras de este primer ensayo.

De acuerdo con estos datos se obtienen los siguientes resultados (Ver tabla 5), teniendo en cuenta que el pH inicial del lixiviado fue de 7,93 y una turbidez inicial de 6,53.

Tabla 5. Registro resultados de práctica de laboratorio #1

Test # 1 - Practica De Laboratorio USTA					
Agente Químico	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5
Hidroxiclорuro	1000,0 PPM	1500,0 PPM	2000,0 PPM	2500,0 PPM	3000,0 PPM
Poliacrilamida	10,0 PPM	10,0 PPM	10,0 PPM	10,0 PPM	10,0 PPM
Hidroxiclорuro	5,0 ml	7,5 ml	10,0 ml	12,5 ml	15,0 ml
Poliacrilamida	0,5 ml	0,5 ml	0,5 ml	0,5 ml	0,5 ml
Turbidez	5,54	6,15	6,93	7,27	7,70

Figura 4. Proceso de mezcla en agitador múltiple para ensayo de prueba y error

Con base en los resultados del primer laboratorio, se vio necesario determinar un nuevo rango de la dosis de coagulante, de igual forma, reducir proporcionalmente la cantidad de poliacrilamida aniónica, pues se pudo observar que la turbidez es menor en las primeras jarras que contienen la menor dosificación. En conclusión, este primer laboratorio fue una práctica de prueba y error, con el fin de ir identificando la dosis adecuada para lograr un buen resultado.

En la segunda práctica de laboratorio se estableció un rango de dosis de coagulante entre 100 y 2200 PPM, y se redujo la dosis de poliacrilamida a 5 PPM (ver tabla 6).

Tabla 6. Registro resultados de práctica de laboratorio #2

Test # 2 - Practica De Laboratorio USTA					
Agente Químico	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5
Hidroxicloriguro	2200,0 PPM	1500,0 PPM	1000,0 PPM	500,0 PPM	100,0 PPM
Poliacrilamida	5,0 PPM	5,0 PPM	5,0 PPM	5,0 PPM	10,0 PPM
Hidroxicloriguro	11,0 ml	7,5 ml	5,0 ml	2,5 ml	0,5 ml
Poliacrilamida	0,25 ml	0,25 ml	0,25 ml	0,25 ml	0,25 ml
Turbidez	41.3	64.1	11.7	0,72	1.09
pH	4,87	5,13	5,71	6,64	7,35

Figura 5. Proceso de asentamiento del material floculante en el tiempo de reposo

En este ensayo se tomó nuevamente la medida de turbidez y adicionalmente el pH al finalizar el tiempo de reposo en cada jarra, teniendo como parámetros iniciales los mismos de la práctica N°1.

Se observó que la mayor remoción de turbidez está en las menores dosis de coagulante; con base en estas mediciones se pudo fijar la dosis del agente floculante en 5 PPM y establecer el rango final de la dosis del agente coagulante, entre 200 y 600 PPM (ver tabla 7), de tal manera que la variación entre cada jarra sea de 100 PPM.

Tabla 7. Registro resultados de práctica de laboratorio #3

Test # 3 - Practica De Laboratorio USTA					
Agente químico	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5
Hidroxiclорuro	600,0 PPM	500,0 PPM	400,0 PPM	300,0 PPM	200,0 PPM
Poliacrilamida	5,0 PPM	5,0 PPM	5,0 PPM	5,0 PPM	5,0 PPM
Hidroxiclорuro	3,0 ml	2,5 ml	2,0 ml	1,5 ml	1,0 ml
Poliacrilamida	0,25 ml	0,25 ml	0,25 ml	0,25 ml	0,25 ml
Turbidez	0,35	0,43	0,31	0,44	0,52
Cant Sedimentado	550,00 ml	400,00 ml	350,00 ml	310,00 ml	260,00 ml

Figura 6. Resultado final remoción de turbidez en práctica de laboratorio #3

Utilizando la dosificación establecida en la práctica N°3 se pudo comprobar una mayor eficiencia en la acción de los agentes químicos, logrando en todas las jarras una medida menor a 1, y una medida de pH inicial de 7,93. Teniendo en cuenta que el pH también es uno de los factores más influyentes para la remoción de turbidez, se planteó la modificación de este parámetro con el objetivo de demostrar un comportamiento en el lixiviado ya sea que permita mejorar la eficiencia en el proceso de clarificado, o bien que aumente los niveles de turbidez.

Para llevar a cabo estas prácticas, se definen los parámetros de pH para tres repeticiones, siendo 8, 9 y 10 los datos de inicio (ver tablas 8, 9 y 10); el pH se reguló empleando ácido sulfúrico,

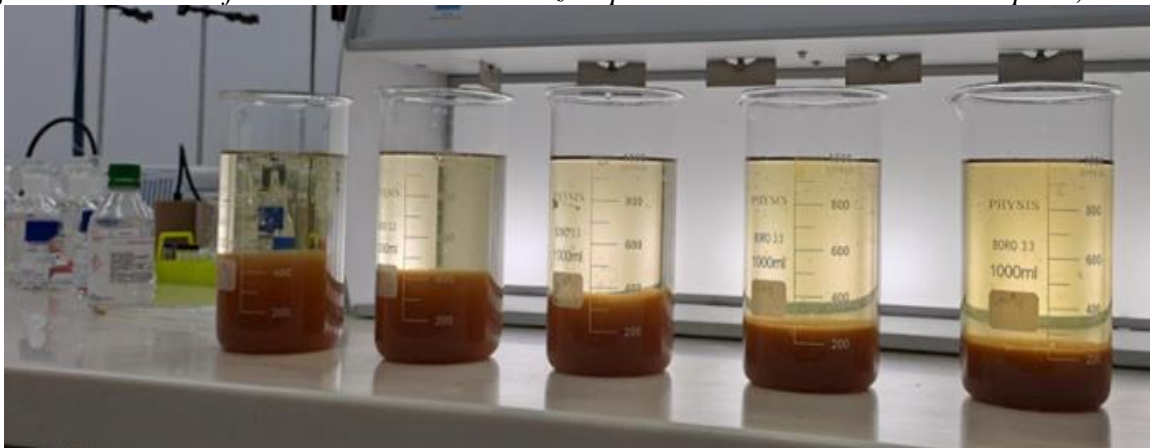
en el caso en que tocara bajar su nivel o con Cal, en el caso en que tocara subirlo, obteniendo los siguientes resultados.

la tabla 8 muestra los resultados de la práctica de laboratorio donde se empleó el uso de ácido sulfúrico reduciendo el pH inicial de 8,87 a 8,08.

Tabla 8. Registro resultados de práctica de laboratorio #4 - pH regulado a 8,08

Test # 4 - Practica De Laboratorio USTA					
Agente Químico	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5
Hidroxiclورو	600,0 PPM	500,0 PPM	400,0 PPM	300,0 PPM	200,0 PPM
Poliacrilamida	5,0 PPM	5,0 PPM	5,0 PPM	5,0 PPM	10,0 PPM
Hidroxiclورو	3,0 ml	2,5 ml	2,0 ml	1,5 ml	1,0 ml
Poliacrilamida	0,25 ml	0,25 ml	0,25 ml	0,25 ml	0,25 ml
Turbidez	1,15	1,29	2,00	2,80	3,20
Cant Sedimentado	550,00 ml	450,00 ml	390,00 ml	290,00 ml	230,00 ml
pH	6,80	7,00	7,10	7,30	7,40

Con base en los resultados obtenidos de esta práctica donde se reguló el nivel de pH se pudo observar que el valor máximo de remoción de turbidez alcanzado fue del 82,39% empleando una dosificación de 3,0 ml de hidroxiclورو de aluminio y 0,25 ml de poliacrilamida aniónica. También se puede observar que a diferencia de la practica 3 donde el pH es cercano a 8, esta pudo presentar mejores resultados al no incorporar otra sustancia a la composición del lixiviado virgen.

Figura 7. Resultado final remoción de turbidez en práctica de laboratorio #4 con pH 8,08

la tabla 9 muestra los resultados de la práctica de laboratorio donde se empleó el uso de cal para aumentar el pH inicial de 8,96 a 10,04.

Tabla 9. Registro resultados de práctica de laboratorio #5 - pH regulado a 10,04

Test # 5 - Practica De Laboratorio USTA					
Agente Químico	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5
Hidroxiclорuro	600,0 PPM	500,0 PPM	400,0 PPM	300,0 PPM	200,0 PPM
Poliacrilamida	5,0 PPM	5,0 PPM	5,0 PPM	5,0 PPM	10,0 PPM
Hidroxiclорuro	3,0 ml	2,5 ml	2,0 ml	1,5 ml	1,0 ml
Poliacrilamida	0,25 ml	0,25 ml	0,25 ml	0,25 ml	0,25 ml
Turbidez	14,50	12,00	11,40	15,10	18,40
Cant Sedimentado	240,00 ml	230,00 ml	210,00 ml	190,00 ml	180,00 ml
pH	12,13	12,59	12,65	12,94	12,69

De acuerdo con estos resultados, se pudo observar que la cal tiene un efecto desfavorable sobre los niveles de turbidez del lixiviado con un nivel de pH 10, ya que esta práctica dio como resultado los valores de remoción de turbidez más deficientes, pues en ninguno de los vasos se logró reducir el valor inicial de turbidez de 6,53, sino que por el contrario esta aumentó.

Figura 8. Resultado final remoción de turbidez en práctica de laboratorio #5 con pH 10,04

la tabla 10 muestra los resultados de la práctica de laboratorio donde se empleó el uso de cal para aumentar el pH inicial de 8,55 a 9.

Tabla 10. Registro resultados de práctica de laboratorio #6 - pH regulado a 9

Test # 6 - Practica De Laboratorio USTA					
Agente Químico	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5
Hidroxiclورو	600,0 PPM	500,0 PPM	400,0 PPM	300,0 PPM	200,0 PPM
Poliacrilamida	5,0 PPM	5,0 PPM	5,0 PPM	5,0 PPM	10,0 PPM
Hidroxiclورو	3,0 ml	2,5 ml	2,0 ml	1,5 ml	1,0 ml
Poliacrilamida	0,25 ml	0,25 ml	0,25 ml	0,25 ml	0,25 ml
Turbidez	0,81	1,15	1,57	2,49	3,31
Cant Sedimentado	500,00 ml	410,00 ml	395,00 ml	350,00 ml	290,00 ml
pH	7,29	7,44	7,61	7,90	8,31

En este caso la regulación con cal tuvo mejores resultados, pues la reacción de los agentes químicos en el lixiviado regulado a un pH 9 permitió lograr un porcentaje de remoción de turbidez del 86,98%. Por lo tanto, se puede observar que los resultados con mayor eficiencia se pueden obtener tratando el líquido residual en un rango de pH superior a 7,9 y menor a 9

Figura 9. Resultado final remoción de turbidez en práctica de laboratorio #6 con pH9

Finalizados los ensayos de jarras con la variación del pH, se pudo deducir que la mayor remoción de turbidez se presenta cuando los agentes químicos reaccionan en un ambiente con un pH aproximado de 9; sin embargo los valores arrojados en la práctica N° 3 reflejaron un mejor resultado, por lo que se pudo determinar que el pH óptimo del lixiviado para poder realizar el proceso físico-químico de coagulación y floculación en el PTASS se encuentra dentro del rango de 8 a 9, buscando así la mayor remoción de sólidos totales teniendo en cuenta que esta fase de clarificado no es la última del tren de tratamiento, pero que sí es la encargada de que la fase de filtración y purificación, por medio de la planta de osmosis inversa, operen de manera más eficiente, regulando la carga operacional que actualmente estas dos últimas fases tienen en el Parque Tecnológico Ambiental de Barrancabermeja.

Luego de terminar la práctica experimental con la variación en el pH inicial de la muestra, se realizaron cuatro repeticiones de cada una de las últimas tres prácticas, regulando nuevamente los pH iniciales a 8, 9 y 10 (ver tabla 11, 12 y 13), esto con el fin de conseguir las matrices de datos necesarios para ejecutar el análisis estadístico de la variante más influyente al momento tratar el lixiviado.

La tabla 11 muestra los resultados de la práctica de laboratorio #7 donde se realizan cuatro repeticiones de ensayo de jarras con un pH regulado con ácido sulfúrico de 8,14 a 8,07

Tabla 11. Registro resultados de práctica de laboratorio #7 - pH regulado a 8,07

Test # 7 - Practica De Laboratorio USTA					
Agente químico	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5
Hidroxiclорuro	600,0 PPM	500,0 PPM	400,0 PPM	300,0 PPM	200,0 PPM
Poliacrilamida	5,0 PPM	5,0 PPM	5,0 PPM	5,0 PPM	10,0 PPM
Hidroxiclорuro	3,0 ml	2,5 ml	2,0 ml	1,5 ml	1,0 ml
Poliacrilamida	0,25 ml	0,25 ml	0,25 ml	0,25 ml	0,25 ml
Ensayos	pH				
# 1	6,80	6,90	7,12	7,24	7,41
# 2	6,70	6,80	7,11	7,10	7,30
# 3	6,80	7,00	7,13	7,20	7,40
# 4	6,80	6,90	7,10	7,20	7,40
Ensayos	Volumen Sedimentado Sobre 1000 ml Iniciales				
# 1	400 ml	390 ml	325ml	280ml	240ml
# 2	450 ml	400 ml	350 ml	285 ml	245 ml
# 3	425 ml	380 ml	330 ml	282 ml	250 ml
# 4	460 ml	405 ml	340 ml	300 ml	260 ml
Ensayos	Turbidez				
# 1	0,53	0,62	1,34	1,23	3,81
# 2	0,58	0,75	1,40	1,25	3,90
# 3	0,55	0,91	1,38	1,20	3,85
# 4	0,63	1,16	1,00	1,26	3,80

Al final esta práctica se pudo apreciar que el patrón de la practica # 4 se repite, se logra obtener valores de remoción de turbidez del 91,88% con la dosis de coagulante de 3,0 ml.

la tabla 12 muestra los resultados de la práctica de laboratorio #8 donde se realizan cuatro repeticiones de ensayo de jarras con un pH regulado con cal de 8,94 a 9,01.

Tabla 12. Registro resultados de práctica de laboratorio #8 - pH regulado a 9,01

Test # 8 - Practica De Laboratorio USTA					
Agente químico	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5
Hidroxiclорuro	600,0 PPM	500,0 PPM	400,0 PPM	300,0 PPM	200,0 PPM
Poliacrilamida	5,0 PPM	5,0 PPM	5,0 PPM	5,0 PPM	10,0 PPM
Hidroxiclорuro	3,0 ml	2,5 ml	2,0 ml	1,5 ml	1,0 ml
Poliacrilamida	0,25 ml	0,25 ml	0,25 ml	0,25 ml	0,25 ml
Ensayos	pH				
# 1	7,26	7,37	7,53	7,63	7,9
# 2	7,28	7,4	7,55	7,72	8
# 3	7,29	7,45	7,6	7,89	8,2
# 4	7,22	7,35	7,48	7,66	7,89
Ensayos	Volumen Sedimentado Sobre 1000 ml Iniciales				
# 1	400 ml	390 ml	350 ml	300 ml	225 ml
# 2	450 ml	400 ml	360 ml	320 ml	250 ml
# 3	500 ml	410 ml	390 ml	340 ml	280 ml
# 4	420 ml	395 ml	360 ml	310 ml	250 ml
Ensayos	Turbidez				
# 1	1,14	1,97	2,05	3,51	4,29
# 2	1	2	1,7	3,1	3,9
# 3	0,9	1,2	1,55	2,5	3,4
# 4	1,08	1,15	1,88	2,81	4,48

Al igual que en la práctica #6 donde se hizo el ensayo con el pH regulado a 9, aun se logra remover la turbidez en cada una de las repeticiones realizadas, en este caso la remoción máxima de turbidez alcanzada fue de 86,22%.

la tabla 13 muestra los resultados de la práctica de laboratorio #9 donde se realizan cuatro repeticiones de ensayo de jarras con un pH regulado con cal de 8,37 a 10.

Tabla 13. Registro resultados de práctica de laboratorio #9 - pH regulado a 10

Test # 9 - Practica De Laboratorio USTA					
Agente químico	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5
Hidroxiclورو	600,0 PPM	500,0 PPM	400,0 PPM	300,0 PPM	200,0 PPM
Poliacrilamida	5,0 PPM	5,0 PPM	5,0 PPM	5,0 PPM	10,0 PPM
Hidroxiclورو	3,0 ml	2,5 ml	2,0 ml	1,5 ml	1,0 ml
Poliacrilamida	0,25 ml	0,25 ml	0,25 ml	0,25 ml	0,25 ml
Ensayos	pH				
# 1	300 ml	190 ml	150 ml	100 ml	80 ml
# 2	250 ml	200 ml	180 ml	120 ml	90 ml
# 3	230 ml	210 ml	200 ml	180 ml	100 ml
# 4	250 ml	200 ml	180 ml	120 ml	100ml
Ensayos	Volumen Sedimentado Sobre 1000 ml Iniciales				
# 1	300 ml	190 ml	150 ml	100 ml	80 ml
# 2	250 ml	200 ml	180 ml	120 ml	90 ml
# 3	230 ml	210 ml	200 ml	180 ml	100 ml
# 4	250 ml	200 ml	180 ml	120 ml	100ml
Ensayos	Turbidez				
# 1	4,67	10,4	22,04	80,4	130
# 2	13,4	15,13	20,03	70,2	100
# 3	5,7	11,56	25,7	85,3	120
# 4	4,41	3,56	5,29	6,44	10,3

Al observar los resultados de esta última practica de laboratorio, se pudo observar que la tendencia para una eficaz remoción de turbidez es llevar el pH a un medio poco básico, pues los mejores resultados están siendo percibidos en los pH más cercanos a 8, por lo que se puede descartar aumentar los niveles de pH de estos líquidos residuales para tratar la separación de solitos suspendidos. Por otro lado, estos resultaos también pueden estar sujetos a la sustancia empleada para regular el pH.

8.3 Establecer las variables más influyentes en la eficiencia del proceso de coagulación y floculación para la clarificación de los lixiviados generados en el PTASS, de acuerdo con los resultados obtenidos en el ensayo de jarras

8.3.1. Análisis de modelo estadístico en Statgraphics

El modelo estadístico ejecutado mediante la herramienta statgraphics permitió la obtención de respuestas que con la simple observación de la tabulación de los resultados de las prácticas no se pueden apreciar, teniendo en cuenta factores, variables y respuestas esperadas.

El diseño del experimento en el software partió de la definición de la respuesta que se espera, es decir el porcentaje de remoción de turbidez y la unidad de medida de la misma (%), luego se definieron los valores experimentales que van a variar, en este caso las variables son el pH entre 8 y 10, y la dosis de coagulante entre 0,5 y 3 ml; posteriormente se estableció el diseño experimental, para este experimento se seleccionó la opción “generado por la computadora” especificando la cantidad de bloques y corridas correspondientes a los datos recolectados en las últimas tres prácticas de laboratorio.

El libro de datos de Statgraphics es un campo editable donde se entablaron los datos por cada repetición; en este experimento se registraron cuatro bloques, cada uno con cinco corridas correspondiente a la variación en la dosis de coagulante, lo que generó en total veinte corridas. Dado que se tienen resultados de tres réplicas con diferente pH (ver tablas 14, 15 y 16), en total se registran sesenta corridas.

El valor del porcentaje de remoción de turbidez de la tabla 14 se obtuvo teniendo como valor inicial de turbidez 6,53 y valor final de turbidez los datos registrados en la tabla N°11.

Tabla 14. Registro de porcentaje de remoción de turbidez de práctica #7

		% Remoción De Turbidez			
pH	Coagulante	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4
8,07	3	91,88%	91,12%	91,58%	90,35%
	2,5	90,51%	88,51%	86,06%	82,24%
	2	79,48%	78,56%	78,87%	84,69%
	1,5	81,16%	80,86%	81,62%	80,70%
	1	41,65%	40,28%	41,04%	41,81%

El valor del porcentaje de remoción de turbidez de la tabla 15 se obtuvo teniendo como valor inicial de turbidez 6,53 y valor final de turbidez los datos registrados en la tabla N°12

Tabla 15. Registro de porcentaje de remoción de turbidez de práctica #8

		% Remoción de Turbidez			
pH	Coagulante	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4
9,01	3	82,54%	84,69%	86,22%	83,46%
	2,5	69,83%	69,37%	81,62%	82,39%
	2	68,61%	73,97%	76,26%	71,21%
	1,5	46,25%	52,53%	61,72%	56,97%
	1	34,30%	40,28%	47,93%	31,39%

El valor del porcentaje de remoción de turbidez se obtuvo teniendo como valor inicial de turbidez 6,53 y valor final de turbidez los datos registrados en la tabla N°13

Tabla 16. Registro de porcentaje de remoción de turbidez de práctica #9

		% Remoción De Turbidez			
pH	Coagulante	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4
10	3	28,48%	0,00%	12,71%	32,47%
	2,5	0,00%	0,00%	0,00%	45,48%
	2	0,00%	0,00%	0,00%	18,99%
	1,5	0,00%	0,00%	0,00%	1,38%
	1	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Luego de haber ingresado todos los datos de las variables y las respuestas del porcentaje de remoción de turbidez obtenido, se especificó en el programa que el diseño sería con un factor de relación cuadrático, para finalizar con el análisis de los datos del experimento creado.

8.3.2. Resultados y análisis de resultados del experimento estadístico

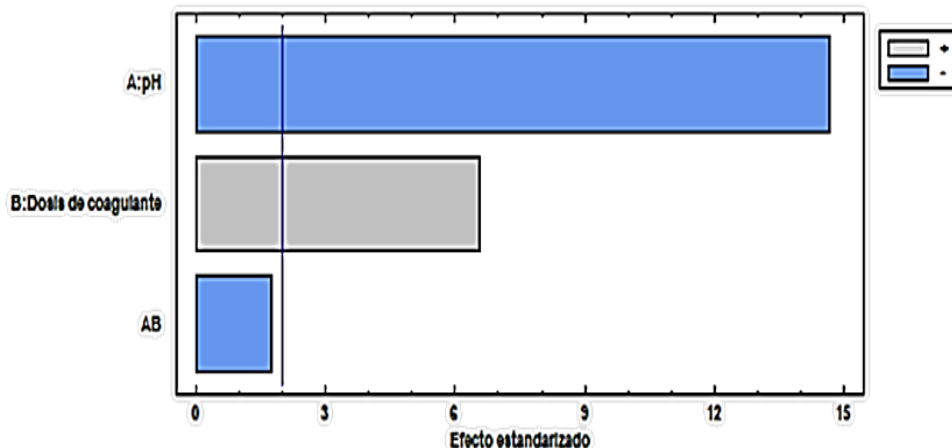
Con los resultados del análisis de varianza, se puede determinar el nivel de significancia que tiene cada uno de los factores variables registrados en el modelado del experimento.

Tabla 17. Análisis de varianza para estandarización de remoción de turbidez

Análisis de varianza para remoción de turbidez					
Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón - F	Valor - P
A: pH	4,25806	1	4,25806	446,19	0,0000
B: Dosis de coagulante	0,964018	1	0,964018	101,02	0,0000
AA	0,682005	1	0,682005	71,47	0,0000
AB	0,068637	1	0,068637	7,19	0,0097
BB	0,0579874	1	0,0579874	6,08	0,0169
Error Total	0,515331	54	0,00954317		
Total (Corr.)	7,11191	59			

Nota: representación de los valores de significancia de los factores variables en modelo estadístico en statgraphics centurión

Figura 10. Diagrama de Pareto estandarización de remoción de turbidez

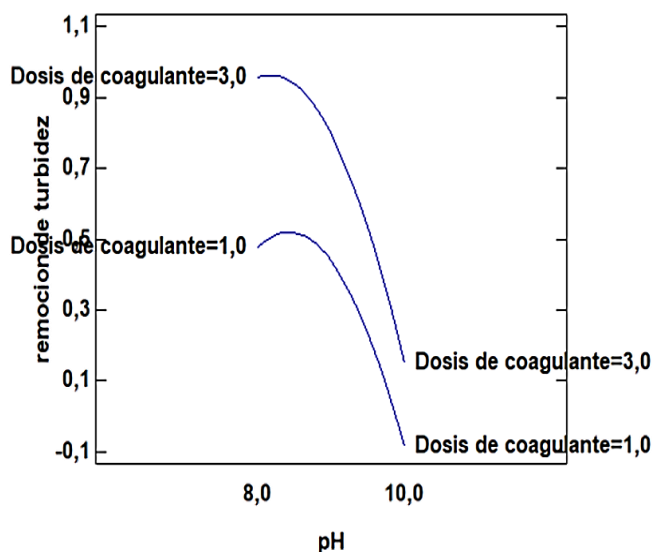


Nota: representación gráfica de la significancia de los factores variables en modelo estadístico en statgraphics centurión

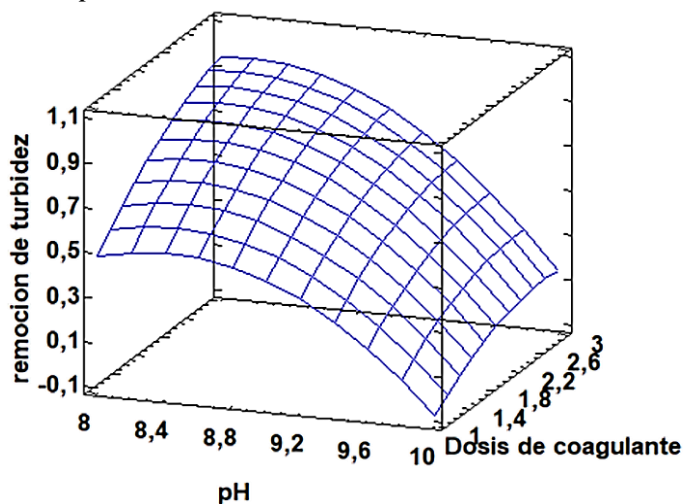
El resultado ANOVA de este diseño experimental junto con el diagrama de Pareto de la figura 10 muestran que el factor de mayor significancia es el pH inicial antes de cualquier actividad de coagulación y floculación, sin embargo, la dosificación de coagulante también representa un factor sumamente influyente.

De acuerdo con la gráfica de interacción para remoción de turbidez y el gráfico de superficie de respuesta estimada, se establece una relación inversamente proporcional del pH con la remoción de turbidez, ya que con niveles de pH menores el porcentaje de remoción de turbidez aumenta, teniendo en cuenta también que se obtiene una mayor eficiencia de remoción con la dosis de coagulante de 3 ml (ver figura 11 y 12)

Figura 11. Gráfica de interacción para remoción de turbidez



Nota: representación de interacción entre variables definidas en el modelo estadístico en statgraphics centurión

Figura 12. Superficie de respuesta estimada

Nota: representación gráfica 3D de la interacción entre variables definidas en modelo estadístico en statgraphics centurión

Además de estos gráficos para el análisis de varianza, el software de análisis estadístico generó la ecuación de regresión que se ajustó a los datos registrados en el libro de datos durante el modelado del experimento.

$$\begin{aligned} \text{Remoción de turbidez} = & -17,6724 + 4,15505 * \text{pH} + 1,2292 * \text{Dosis de coagulante} - \\ & 0,243058 * \text{pH}^2 - 0,0606999 * \text{Dosis de coagulante} - 0,0743143 * \\ & \text{Dosis de coagulante}^2 \end{aligned} \quad (1)$$

Los factores de la ecuación 1 se desarrollaron en las unidades en que se realizaron las prácticas de laboratorio, es decir, el pH en unidades de pH y la dosis de coagulante en ml. Con esta ecuación se pretende conocer el valor de los factores que nos permitan llegar al 100% de remoción de turbidez, dado que el porcentaje más alto durante la etapa práctica ha sido de 91,88% con un pH inicial de 8,07, que ha sido regulado con ácido sulfúrico; y que sin ser regulado el pH antes de la etapa de coagulación, el porcentaje de remoción de turbidez pudo ser de hasta un 95,25% con un pH inicial no regulado con agentes externos de 7,93 en la práctica #3. La ecuación

de regresión ajustada tuvo en cuenta la predicción tal como un camino máximo de ascenso, relacionando los factores variables para una óptima respuesta esperada.

8.4. Diseño del instructivo: estandarización del proceso de coagulación en el PTASS


El diseño del instructivo se ajustó al formato suministrado por la compañía VEOLIA (ver Anexo 1), de igual forma se verificó que dicho formato esté ajustado con los requerimientos especificados en el numeral 7.5.2 de la NTC-ISO 9001 del 2015.

El anexo 1, está estructurado bajo un formato digital de la siguiente manera:

El encabezado de la información documentada de la compañía este compuesto por:

- Logo de VEOLIA para documentos a nivel nacional y excepciones como comunicaciones externas
- Título del documento
- El código del documento, compuesto inicialmente por la unidad de negocio a donde corresponda, este instructivo corresponde a la unidad de negocio Veolia Aseo Santander y Cesar (VSC); seguido del código del macroproceso, en este caso fue de Implementación de Proyectos de Gestión de Residuos (IPR); finalmente se adiciona el código del tipo de documento, en este caso es un instructivo (I) y el número del consecutivo

Figura 13. Encabezado de documentación normalizada del SGI Veolia

	Estandarización Del proceso de coagulación (coagulante y coadyuvante) dentro de la fase de clarificación del tratamiento de lixiviados	INSTRUCTIVO
		VSC-IPR-I-01
		Versión : 01
		Página 1 de 14

Nota: esta imagen pertenece a el contenido del anexo 1

Además del encabezado, el bloque de aprobación (Figura 14) permitió registrar los nombres y cargos del personal responsable de la elaboración del documento, los nombres y cargos del personal que revisa y se asegura que lo escrito en el documento sea consecuente con lo que se debe ejecutar en la organización, y el nombre y cargo de la persona responsable de aprobar la vinculación de este documento a la información documentada del Sistema de Gestión Integral.

Figura 14. *Bloque de aprobación documentación normalizada del SGI Veolia*

ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ
Jose Luis Villamizar Contreras Jefe PPS – Esp. SGC Estudiante Universidad Santo Tomas	Héctor Tafur Jefe Disposición Final	Elkin Fernando Roa Toscano Coordinador SGI y SUI
Juan Fernando Mancilla Carrillo Ing. Civil - Esp. SGC - Estudiante Universidad Santo Tomas	Edinson Machuca Coordinador Disposición Final	

Nota: esta imagen pertenece a el contenido del anexo 1

Debajo del bloque de aprobación de la documentación se encuentra la tabla de control de cambios, la cual contiene la versión, fecha de aprobación del cambio, descripción general del cambio y cargo que solicita el cambio.

Figura 15. *Tabla de control de cambios de documentación normalizada del SGI Veolia*

TABLA DE CONTROL DE CAMBIOS			
Versión	Fecha de aprobación	Descripción	Cargo que solicitó el cambio
01	2023-06-16	Creación del documento	Equipo Disposición Final




Nota: esta imagen pertenece a el contenido del anexo 1



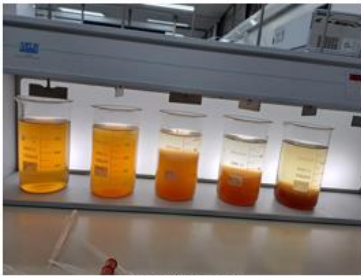
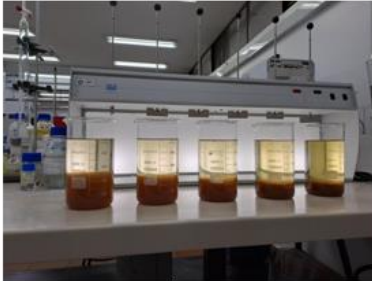
La continuación del documento desarrolló el contenido registrado en la tabla de contenido del instructivo, lo cual incluye el Objetivo y alcance del instructivo, los responsables del

cumplimiento de este documento, definiciones y terminología, Consideraciones Generales, Descripción de la Información, Recomendaciones, referencias de documentos relacionados y registros de formatos a utilizar para el desarrollo de este proceso.

Dentro de la descripción de la información se dividieron los capítulos que enmarcan los parámetros establecidos a criterio de la exploración realizada a lo largo de este proyecto; uno de los subcapítulos que componen el contenido descriptivo de este instructivo es el “paso a paso método elaboración de jarras PTASS” pues este reúne el procedimiento realizado en la etapa practica logrando los resultados consignados en este documento (Figura 16).

Figura 16. *Capítulo 3 – descripción método de ensayo de jarras PTASS*

<p>1. En la toma de muestra de lixiviado inicial se debe garantizar la medición de los siguientes parámetros con un medidor multiparámetro como:</p> <ul style="list-style-type: none"> • pH • Turbidez • Temperatura <p>Se registran los parámetros iniciales de la muestra al comienzo del ensayo.</p>	 <p>GRÁFICO 04</p>
<p>2. Se miden volúmenes iguales (1000 ml) de muestra en cada una de las jarras. Se pueden usar tantas porciones de muestra como posiciones haya en el agitador múltiple. Los vasos de precipitado se ubican de tal modo que las paletas queden centradas y separadas de la pared del vaso de precipitado en aproximadamente 6,4 mm (1/4 de pulgada).</p>	 <p>GRÁFICO 05</p>
<p>3. Se prepara la poliacrilamida aniónica agregando 0,2 gramos a 100 mililitros de Agua en su Disolución Química. Cuando se agreguen mezclas líquidas, puede ser necesario agitar el soporte para producir un movimiento en torbellino inmediatamente antes de transferir. Se agrega a cada jarra en movimiento a 100 rpm, el hidroxloruro con la dosis de la fórmula y luego la poliacrilamida aniónica.</p>	 <p>GRÁFICO 06</p>

<p>4. Se comienza con el agitador múltiple operando a la velocidad de "mezcla instantánea rápida" de aproximadamente 100 rpm. Se mezcla instantáneamente durante aproximadamente 1 min después de las adiciones de productos químicos. Se registra el tiempo de mezcla instantánea y la velocidad (rpm).</p>	 <p>GRÁFICO 07</p>
<p>5. Se reduce la velocidad según sea necesario hasta el mínimo requerido para mantener en suspensión uniforme las partículas de flóculos a lo largo del período de mezcla instantánea. Se mezcla en forma lenta durante 10 min a 10 rpm. Se registra el tiempo transcurrido para la primera formación visible de flóculos. Cada 5 min (durante el período de mezcla lenta), se registra el tamaño relativo de los flóculos y la velocidad del mezclador (rpm).</p>	 <p>GRÁFICO 08</p>
<p>6. Después del período de mezcla lenta, se retiran las paletas y se observa la sedimentación de las partículas de flóculos. Se registra el tiempo requerido para que el volumen de las partículas se sedimente. En la mayoría de los casos este tiempo será el requerido para que las partículas se sedimenten en el fondo del vaso de precipitación; sin embargo, en algunos casos puede haber interferencia de corrientes de convección. Si es así, el tiempo de sedimentación registrado debe ser aquel al cual las partículas no sedimentadas o residuales parezcan estar moviéndose en forma igual hacia arriba y hacia abajo.</p>	 <p>GRÁFICO 09</p>
<p>7. Después de 15 min de sedimentación, se registra la aparición de flóculos en el fondo del vaso de precipitación. Se registra la temperatura de la muestra. Mediante una pipeta o un sifón, se saca de la jarra un volumen adecuado de muestra del caldo que sobrenada, en un punto situado a la mitad de la profundidad de la muestra, para efectuar los análisis requeridos de color, turbidez, pH y otros. Registrar en el formato VSC-IPR-F-28 (Ver gráfico 11)</p>	 <p>GRÁFICO 10</p>

Nota: Descripción del instructivo VSC-IPR-I-01 de la gestión documental del proceso de implementación de Proyectos de Gestión de Residuos.

De igual forma el instructivo relaciona los documentos guías para desarrollar la actividad de descrita en el capítulo respectivo del mismo documento, en este caso se mencionan la Norma Técnica Colombiana NTC 3903 del 2010 [13] y este documento titulado “Estandarización Del proceso de coagulación (coagulante y coadyuvante) dentro de la fase de clarificación del

tratamiento de lixiviados en el Parque Tecnológico Ambiental San Silvestre según los lineamientos de la NTC-ISO 9001:2015, y la Resolución 631 del 2015”.

9. Conclusiones

De acuerdo con la más reciente caracterización del lixiviado en el PTASS, este se clasifica dentro de los parámetros de un lixiviado Maduro, con un pH de 8,92 en la entrada al silo de sedimentación; de igual forma esta clasificación podrá variar por los componentes de los residuos dispuestos en las celdas, conociendo el estado de este líquido semestralmente. Si bien el porcentaje de remoción de turbidez es alto, el lixiviado pasado por este proceso fisicoquímico de coagulación-floculación aun no representa una muestra apta, para ser vertidos en cuerpos de agua natural; Control ejercido por la CAS.

El proceso de coagulación y floculación no interviene en la fase de purificación o desinfección del lixiviado, siendo indispensable el uso completo del tren de tratamiento. Si bien se logró en la etapa practica remover el 95,25% de turbidez, con una cantidad de hidroxiclورو de aluminio de 400 PPM o 2,0 ml y una cantidad de poliacrilamida aniónica de 5 PPM o 0,25 ml a un pH de 7,93; esto comparado con las dosificaciones empleadas en el PTASS representa una optimización de los recursos económicos, al no gastar más coagulante del necesario observando que la reducción del coadyuvante fue mínima.

La significancia del pH sobre dosificación del coagulante ha sido mayor de acuerdo con los datos recolectados en laboratorio y el análisis de varianza por statgraphics. Se establece una relación en la que el mayor porcentaje de remoción esta con un pH menor a 9 y mayor a 8, con un rango entre 100 y 600 PPM de agente coagulante, teniendo en cuenta que con los resultados del camino de máximo ascenso se proyecta una remoción nula con un pH de 10 o superior y que por

la regresión lineal se puede conocer el resultado esperado de remoción de turbidez con la ecuación 1.

Tanto la etapa práctica como analítica permitió establecer parámetros de medición de tal forma que se establezca un control y se regule la actividad de coagulación-floculación en el PTASS. El instructivo “VSC-IPR-I-01 Estandarización Del proceso de coagulación (coagulante y coadyuvante) dentro de la fase de clarificación del tratamiento de lixiviados . El instructivo fue creado bajo los estándares de calidad según los requerimientos de la NTC-ISO 9001:2015, presentado a la compañía Veolia Aseo Santander y Cesar y aprobado dentro del SIG, de tal forma que se conserve, distribuya y use por el personal responsable en la fase de clarificado del tren de tratamiento de lixiviados en el PTASS en Barrancabermeja.

Este ejercicio de consultoría permitió integrar la fase exploratoria de un proyecto de investigación multidisciplinario con la creación de un documento interno capaz de mitigar riesgos organizacionales e implementar nuevos controles para la medición de nuevos indicadores de gestión.

Con el objetivo de asegurar un mejor resultado, se recomienda realizar un nuevo ensayo de jarras empleando las dosis establecidas en la etapa exploratoria, de tal forma que se pueda comprobar la eficiencia de estos resultados.

Referencias

- [1] N. Gómez, “Remoción de materia orgánica por coagulación-floculación”, Trabajo de grado monográfico, Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional De Colombia, Manizales, Colombia, 2005
- [2] ANDESCO, “Parques Tecnológicos Ambientales. Así se recuperan más de 1,4 millones de toneladas de residuos al año”, 2022. ANDESCO. Accedido: (7 de junio 2023) [En línea]. Disponible: <https://andesco.org.co/parques-tecnologicos-ambientales-asi-se-recuperan-mas-de-14-millones-de-toneladas-de-residuos-al-ano/>
- [3] I. Hernández, R.O. Gonzales, F. Sandoval, J.L. Galván, R.E. Contreras, “Evaluación De Cal, Sulfato E Hidroxicloruro De Aluminio En La Coagulación-Floculación Del Lixiviado Del Relleno Sanitario De Poza Rica, Veracruz”, Avances en Ciencias e Ingeniería, vol. 4, no. 3, pp. 2, septiembre 2013
- [4] A.C. Vargas, “Optimización del sistema de tratamiento primario de lixiviados producidos en el relleno sanitario El Inga mediante mezclas de floculantes”, Tesis, UCE, Quito, Ecuador, 2016
- [5] N. Rivera, “Propuesta Metodológica Para El Tratamiento De Lixiviados Del Relleno Sanitario Del Distrito Metropolitano De Quito”, Tesis, UCE, Quito, Ecuador, 2017
- [6] GRAF, “Como recuperar agua de lluvia – Léxico”, 2023, GRAF.com, Accedido: (28 de octubre 2022) [En línea], Disponible: <https://www.graf.info/es-es/>
- [7] Veolia, “Parque Tecnológico Ambiental San Silvestre”, 2023, Veolia.com, Accedido: (28 de octubre 2022) [En línea], Disponible: <https://www.veolia.com.co/santander/soluciones/disposicion-final/parque-san-silvestre>

- [8] Veolia, “Quienes Somos”, 2023, Veolia.com, Accedido: (28 de octubre 2022) [En línea], Disponible: <https://www.veolia.com.co/oriente/nosotros/quienes-somos#:~:text=Somos%20una%20empresa%20de%20servicios,de%20delegaciones%20y%20empresas%20locales.>
- [9] H. Suarez, M. Moreno, L. Orozco, “Reglamento operativo Parque Tecnológico Ambiental San Silvestre”, Veolia Aseo Santander y Cesar, VHC-IPR-M-01, 2020
- [10] S. Irigoín, J.E. Zaldivar, “Clarificación fisicoquímica de lixiviados mediante procesos de coagulación, floculación y sedimentación del botadero municipal de la provincia de Moyobamba”, Tesis, Universidad Nacional De San Martín – Tarapoto, Mombaya, Perú, 2018
- [11] N.O. Daza, J.C. Martínez, “Evaluación del proceso de coagulación, floculación y centrifugado mediante sulfato de aluminio como tratamiento de lixiviado maduro generado en relleno sanitario El Ojito de Popayán”, Tesis, Universidad Autónoma Del Cauca, Popayán, Colombia, 2021
- [12] Contraloría General de Medellín, “Auditoria de Cumplimiento”, 2021, cgm.gov.co, Accedido: (05 de noviembre 2022) [En línea], Disponible: <https://www.cgm.gov.co/cgm/Paginaweb/IP/Informes%20de%20Auditora%20PGA%20021/Informe%20Definitivo%20Auditor%C3%ADa%20de%20Cumplimiento.pdf>
- [13] J.M. Buitrago, “Estudio De Prefactibilidad Para El Mejoramiento En La Prestación del Servicio De Aseo Y Tratamiento De Lixiviados En El Relleno Sanitario Ecoparque Rediba Del Municipio De Barrancabermeja – Colombia”, Tesis, Universidad Distrital FJDC, Bogotá, Colombia, 2018

- [14] O. Guarín, S. Gómez, “Caracterización e implementación de un método fisicoquímico para el tratamiento del lixiviado proveniente del relleno sanitario el carrasco”, *Innovaciencia*, vol. 1, no. 1, pp. 23-29 , agosto 2013
- [15] M. Sancha, “Caracterización Fisicoquímica y microbiológica de un proceso de tratamiento de lixiviados de vertedero”, Tesis, Universidad de Oviedo, Oviedo, España, 2013
- [16] P. Torres, L.E. Barba, C. Ojeda, J. Martínez, Y. Castaño, “Influencia de la edad del lixiviado sobre su composición fisicoquímica y su potencial de toxicidad, U.D.C.A Act. & Div. Cient, vol. 17, no. 1, pp. 245-255, junio 2014
- [17] Veolia, “Disposición Final”, 2023, Veolia.com, Accedido: (28 de octubre 2022) [En línea], Disponible: <https://www.veolia.com.co/santander/soluciones/disposicion-final>
- [18] S. Renou, J.G. Givudan, S. Poulain, F. Dirassouyan, P. Moulin, “Landfill leachate treatment: Review and opportunity”, *Journal of Hazardous Material*, vol.150, no. 3, pp. 468-493, Julio 2017
- [19] L.E. Pérez, “Teoría de la sedimentación”, Catedra de hidráulica aplicada a la ingeniería sanitaria, Santander, Colombia, 2005
- [20] X. Cabrera, M. Fleites, A.M. Contreras, “Estudio del proceso de coagulación-floculación de aguas residuales de la empresa textil <<desembarco del Granma>> a escala de laboratorio”, *Tecnología Química*, vol. 29, no.3, pp. 64-73, diciembre 2009
- [21] J.N. Díaz, “Coagulantes-floculantes orgánicos e inorgánicos elaborados de plantas y del reciclaje de la chatarra para el tratamiento de aguas contaminadas”, Tesis, Universidad Pedagógica Nacional Francisco Morazán, Tegucigalpa, Honduras, 2014
- [22] F.J. Pérez, M.A. Urrea, “Abastecimiento de agua”, Tema 6 Coagulación y Floculación, Cartagena, España, S.f

- [23] M.A. Bravo, “Coagulantes Y Floculantes Naturales Usados En La Reducción De Turbidez, sólidos Suspendidos, Colorantes Y Metales Pesados En Aguas Residuales”, Trabajo de grado monográfico, Universidad Distrital FJDC, Bogotá, Colombia, 2017
- [24] ICONTEC, “Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos, Norma Técnica Colombiana ISO 9001, 2015”, 2015, studocu.com, Accedido: (02 de noviembre 2022) [En línea], Disponible: <https://www.studocu.com/co/document/fundacion-universitaria-cafam/finanzas/ntc-iso-9001-2015-icontec-gestion-de-la-calidad/18947236>
- [25] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, “Resolución 631 de 2015”, 2015, minambiente.gov.co, Accedido: (10 de noviembre 2022) [En línea], Disponible: <https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/resolucion-631-de-2015/>
- [26] Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, “Decreto 1784 de 2021”, 2015, minvivienda.gov.co, Accedido: (10 de noviembre 2022) [En línea], Disponible: <https://minvivienda.gov.co/normativa/decreto-1784-de-2021#:~:text=%22Por%20el%20cual%20se%20modifica,Macroproyectos%20de%20Inter%20Social%20Nacional%22.>
- [27] Ministerio de Vivienda, Ciudad y territorio, “Resolución 0650 de 2017”, 2017, minvivenda.gov.co, Accedido: (10 de noviembre 2022) [En línea], Disponible: <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/0650-2017.pdf>
- [28] Ministerio de Vivienda, Ciudad y territorio, “Resolución 0938 de 2019”, 2019, minvivienda.gov.co, Accedido: (10 de noviembre 2022) [En línea], Disponible: <https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-0938-2019#:~:text=Por%20la%20cual%20se%20reglamenta,el%20servicio%20p%20Ablico%20de%20aseo.>

- [29] ICONTEC, “Procedimiento para el ensayo de coagulación-floculación en un recipiente con agua o Método de Jarras, Norma Técnica Colombiana 3903 del 2010”, 2010, Scrib.com, Accedido: (10 de noviembre 2022) [En línea], Disponible: <https://es.scribd.com/document/591976394/NTC-3903-TEST-DE-JARRAS-docx>
- [30] Statgraphics, (2022), “Statgraphics Centurion 19”, statgraphics.com, Accedido: (03 de mayo 2023) [En línea], Disponible: <https://www.statgraphics.com/>
- [31] ANASCOL, “Acreditaciones”, 2021, ANASCOL, Accedido: (04 de mayo 2023) [En línea], Disponible: <https://anascol.com/>
- [32] E. Suarez, “Informe técnico de caracterización aguas superficiales, aguas lluvias, aguas subterráneas y lixiviados”, Veolia Aseo Santander y Cesar E.S.P – ANASCOL, Informe técnico, IT-903-22 (2), 2022