



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS
GENERADOS EN EL RELLENO SANITARIO PICHACAY
MEDIANTE APLICACIÓN DE PRECIPITANTES
QUÍMICOS Y POLÍMEROS**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

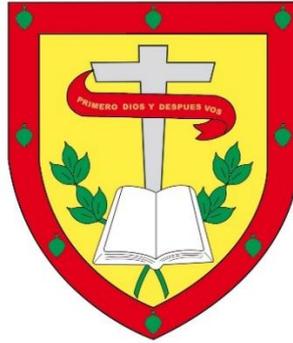
AUTOR: ANDRÉS FELIPE ORELLANA VÁSQUEZ

DIRECTOR: ING. CARLOS MARCELO MATOVELLE BUSTOS

CUENCA - ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS
GENERADOS EN EL RELLENO SANITARIO PICHACAY
MEDIANTE APLICACIÓN DE PRECIPITANTES
QUÍMICOS Y POLÍMEROS**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

AUTOR: ANDRÉS FELIPE ORELLANA VÁSQUEZ

DIRECTOR: ING. CARLOS MARCELO MATOVELLE BUSTOS

CUENCA - ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

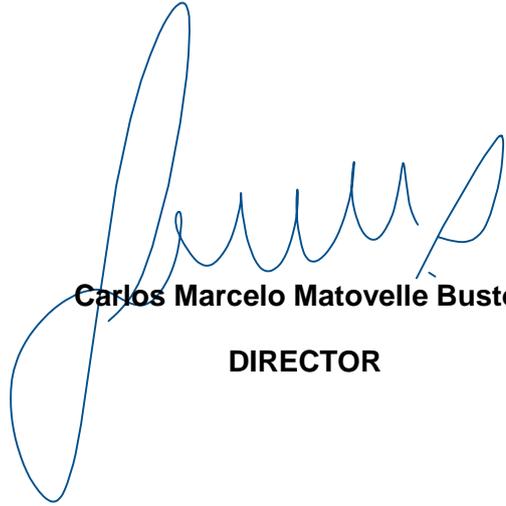
Yo, Andrés Felipe Orellana Vásquez, portador(a) de la cédula de ciudadanía N.º 0106368137 Declaro ser el autor de la obra: "Evaluación del tratamiento de lixiviados generados en el relleno sanitario Pichacay mediante aplicación de precipitantes químicos y polímeros", sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

F: 
Andrés Felipe Orellana Vásquez

C.I. 0106368137

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Andrés Felipe Orellana Vásquez, bajo mi supervisión.



Carlos Marcelo Matovelle Bustos
DIRECTOR

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitirme llegar hasta aquí pues bajo su misericordia y plan perfecto se cumple este sueño.

Agradezco a mis padres que de distintas maneras me han apoyado y han contribuido para que trabajara por mis sueños enseñándome el valor de la responsabilidad y perseverancia.

Agradezco a mi abuela que ha estado ahí con sus consejos y paciencia en todo momento para seguir adelante y crecer día a día.

Agradezco a mis seres queridos que me han apoyado a lo largo de este camino acompañándome y fortaleciéndome incluso en los momentos duros.

Agradezco a todos los docentes de la carrera de Ingeniería Ambiental que me han asistido durante toda esta etapa académica, en especial a mi tutor, Ingeniero Carlos Matovelle Bustos, a el Ing. Diego Heras, por, el apoyo, paciencia y confianza que me han brindado durante todo este periodo universitario.

Agradezco a la Universidad Católica de Cuenca por abrirme las puertas y poder desarrollarme profesionalmente.

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a Dios.

A mis padres quienes siempre han confiado en mí y me han apoyado para crecer profesional y personalmente.

A mi abuela Gloria Vázquez quien siempre ha estado apoyándome tras múltiples tropiezos aconsejándome e inculcándome el buen camino.

A mi enamorada Génesis Saavedra quien siempre creyó en mí y me motiva para esforzarme y ser cada vez mejor.

A toda mi familia que ha estado pendiente de mi desarrollo profesional.

A mis hermanos menores pues todo es posible al trabajar de la mano de Dios con disciplina, amor y pasión.

RESUMEN

Esta investigación busca solucionar la problemática de la alta concentración de los parámetros físico químicos del lixiviado que es un reflejo de la contaminación de este en el Complejo de Desarrollo Ambiental y Social Pichacay quien presenta un elevado nivel de contaminación del lixiviado, que debe ser tratado para evitar contaminación de cuerpos de agua. Por lo cual, se ejecutó un estudio experimental probando el tratamiento de coagulación, floculación en el test de jarras. Esto se realizó mediante precipitantes químicos como: sulfato de aluminio, cloruro férrico y también polímeros: aniónicos y catiónicos. En general los mejores resultados se obtuvieron con 80ml y 70ml de sulfato de aluminio y polímero aniónico con 0,3 gr y 0,4 gr, excepto para pH que logro mayor remoción de concentración con 55 ml de cloruro férrico, con 0,3 gr de polímero aniónico. Se eligió de entre todos los parámetros para determinar la contaminación: la demanda química de oxígeno (DQO) ya que es la más usada en varias investigaciones con este tratamiento físico químico. El resultado óptimo se obtuvo con sulfato de aluminio a volumen de 70 ml y 0,4 gr de polímero aniónico habiendo elegido los parámetros DQO, conductividad y sólidos disueltos quienes son los más importantes lo que se redujeron un 43%, 38% y 38% respectivamente del lixiviado, lo que muestra un resultado favorable en la disminución de concentración de los parámetros físico químicos en general.

Palabras clave: lixiviado, contaminación, sulfato de aluminio, polímero aniónico.

ABSTRACT

This research seeks to solve the problem of the high concentration of the physical and chemical parameters of the leachate, which is a reflection of the contamination of the leachate at the Pichacay Environmental and Social Development Complex, which has a high level of leachate contamination that must be treated to avoid contamination of water bodies. Therefore, an experimental study was conducted by testing the coagulation and flocculation treatment in the jar test. This was done using chemical precipitants such as aluminum sulfate, ferric chloride, and anionic, cationic polymers. The best results were obtained with 80 ml and 70 ml of aluminum sulfate and anionic polymer with 0.3 g and 0.4 g, except for pH, which achieved higher concentration removal with 55 ml of ferric chloride, with 0.3 g of anionic polymer. The chemical oxygen demand (COD) was chosen among all the parameters to determine the contamination since it is the most used in several investigations with this physical-chemical treatment. The optimum result was obtained with aluminum sulfate at a volume of 70 ml and 0.4 g of anionic polymer, having chosen the parameters COD, conductivity, and dissolved solids, which are the most important, which were reduced by 43%, 38%, and 38% respectively of the leachate, which shows a favorable result in the reduction of the concentration of the physical-chemical parameters in general.

Keywords: leachate, contamination, aluminum sulfate, anionic polymer.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD.....	I
CERTIFICACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
DEDICATORIA.....	IV
CAPÍTULO I	- 13 -
1. INTRODUCCIÓN.....	- 13 -
1.1 OBJETIVOS	- 13 -
1.1.1 <i>Objetivo General</i>	- 13 -
1.1.2 <i>Objetivos Específicos</i>	- 13 -
CAPÍTULO II	- 15 -
2. REVISIÓN DE LITERATURA	- 15 -
2.1. RELLENOS SANITARIOS	- 15 -
2.1.1 <i>Relleno Sanitario Pichacay</i>	- 15 -
2.2 LIXIVIADOS	- 15 -
2.2.1 <i>Sistema de drenaje de lixiviados</i>	- 16 -
2.2.2 <i>Consecuencias generadas por la contaminación con lixiviado</i>	- 16 -
2.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICOS DEL LIXIVIADO	- 16 -
2.3.1 <i>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</i>	- 16 -
2.3.2 <i>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)</i>	- 16 -
2.3.3 <i>Turbidez</i>	- 16 -
2.3.4 <i>Color</i>	- 17 -
2.3.5 <i>pH</i>	- 17 -
2.3.6 <i>Sólidos Suspendidos (SS)</i>	- 17 -
2.3.7 <i>Sólidos Totales (ST)</i>	- 17 -
2.4 MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADO:	- 17 -
2.4.1 <i>Oxidación química:</i>	- 18 -
2.4.2 <i>Degradación biológica aeróbica:</i>	- 18 -
2.4.3 <i>Degradación biológica anaeróbica:</i>	- 18 -
2.4.4 <i>Evaporación:</i>	- 18 -
2.4.5 <i>Adsorción de carbono:</i>	- 18 -
2.4.6 <i>Coagulación floculación</i>	- 18 -
2.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO:	- 19 -
2.5.1 <i>ANOVA de tres factores</i>	- 19 -
2.6 MARCO LEGAL.....	- 20 -
2.6.1 <i>Constitución de la República del Ecuador 2008</i>	- 20 -
2.6.2 <i>Reglamento al Código Orgánico Ambiental</i>	- 20 -
2.6.3 <i>Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización.</i> <i>(COOTAD)</i>	- 21 -
CAPÍTULO III	- 21 -
3. MATERIALES Y MÉTODOS	- 21 -
3.1 FASE 1: TOMA DE MUESTRAS DEL LIXIVIADO DEL COMPLEJO DE DESARROLLO HUMANO Y AMBIENTAL PICHACAY	- 22 -
3.1.2 <i>Zona de estudio:</i>	- 22 -
3.2 FASE 2: CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DEL LIXIVIADO SIN TRATAMIENTO.....	- 23 -

3.3 FASE 3: TRATAMIENTO DEL LIXIVIADO MEDIANTE POLÍMEROS Y PRECIPITANTES QUÍMICOS.....	- 24 -
3.3.1 Prueba de jarras.....	- 24 -
3.4 FASE 4 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS CON LA PRESENCIA DE PRECIPITANTES QUÍMICOS Y POLÍMEROS	- 25 -
3.5 FASE 5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS CON EL SOFTWARE EL MINITAB.	- 25 -
3.6 FASE 6 DETERMINACIÓN DE LA MEZCLA ÓPTIMA PARA ESTE TRATAMIENTO DE LIXIVIADO.	- 26 -
CAPÍTULO IV.....	- 27 -
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	- 27 -
4.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DE LA MUESTRA DE LIXIVIADO	- 27 -
4.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DE LIXIVIADO CON PRECIPITANTES QUÍMICOS.....	- 28 -
4.2.1 Cloruro férrico al 4% $FeCl_3$	- 28 -
4.2.2 Sulfato de aluminio al 4%.....	- 29 -
4.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DE LIXIVIADO CON LA PRESENCIA DE PRECIPITANTES QUÍMICOS Y POLÍMEROS ANIÓNICOS Y CATIONICOS EN DIFERENTES VALORES.	- 29 -
4.3.2 Caracterización de lixiviado con $FeCl_3$ y polímero aniónico.....	- 31 -
4.3.3 Caracterización del lixiviado con la presencia de $ClFe_3$ y polímero catiónico	- 33 -
4.3.4 Caracterización del lixiviado con $Al_2(SO_4)_3$	- 35 -
4.3.5 Caracterización del lixiviado con $Al_2(SO_4)_3$ y polímero aniónico.....	- 37 -
4.3.6 Caracterización del lixiviado con $Al_2(SO_4)_3$ y polímero catiónico	- 39 -
4.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS	- 41 -
4.4.1 DQO	- 41 -
4.4.2 PH.....	- 43 -
4.4.3 Conductividad.....	- 44 -
4.4.4 Sólidos disueltos	- 45 -
4.4.5 Turbidez.....	- 47 -
4.4.6 Color	- 49 -
4.4.7 Nitratos	- 50 -
CAPÍTULO V.....	- 52 -
5. CONCLUSIONES.....	- 52 -
CAPÍTULO VI.....	- 54 -
6. RECOMENDACIONES	- 54 -
CAPÍTULO VII.....	- 55 -
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	- 55 -
7. ANEXOS	- 58 -

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Metodología estándar para caracterización Físico Química CITT.....	- 23 -
Tabla 2 Caracterización físico química del lixiviado, Fracción solvente	- 27 -
Tabla 3 Caracterización físico química del lixiviado.....	- 28 -
Tabla 4 Cloruro Férrico al 4% FeCl ₃	- 28 -
Tabla 5 Sulfato de Aluminio al 4% Al ₂ (SO ₄) ₃	- 29 -
Tabla 6 Caracterización de lixiviado con cloruro férrico	- 29 - ¡Error! Marcador no definido.
Tabla 7 Caracterización de lixiviado con FeCl ₃ y polímero aniónico	- 31 -
Tabla 8 Caracterización del lixiviado con la presencia de cloruro férrico y polímero catiónico ...	- 33 -
Tabla 9 Caracterización del lixiviado con Al ₂ (SO ₄) ₃	- 35 -
Tabla 10 Caracterización del lixiviado con Al ₂ (SO ₄) ₃ polímero aniónico	- 37 -
Tabla 11 Caracterización del lixiviado con Al ₂ (SO ₄) ₃ polímero catiónico.....	- 39 -
Tabla 12 Valores más óptimos referente DQO	- 42 -
Tabla 13 Dosis más óptimas para pH	- 43 -
Tabla 14 Dosis más óptimas para concentración de conductividad	- 45 -
Tabla 15 Mejor dosificación para solidos disueltos.....	- 46 -
Tabla 16 Dosis más óptimas para turbidez	- 48 -
Tabla 17 Dosis más óptimas para concentración de color	- 49 -

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Medición de características con el multiparamétrico en la muestra	- 58 -
Anexo 2 Muestras de Cloruro Férrico en probetas	- 59 -
Anexo 3 Muestras con adición de Cloruro Férrico en lixiviado	- 59 -
Anexo 4 Muestras de lixiviado con adición de Sulfato de Aluminio	- 60 -
Anexo 5 Muestras de lixiviado 5;6;7;8 con la adición de Cloruro Férrico	- 61 -
Anexo 6 Muestras de lixiviado con sus cantidades de sulfato de Aluminio respectivas.....	- 61 -
Anexo 7 Muestras con sedimentación después de la prueba del Jar test.....	- 62 -
Anexo 8 Presencia de espuma en la adición de Sulfato de Aluminio en la muestra 5.....	- 63 -
Anexo 9 Sedimentación de las pruebas 5;6;7;8 con la presencia de Sulfato de Aluminio	- 64 -
Anexo 10 Muestras de lixiviado diluido con agua destilada para realizar la caracterización del lixiviado.....	- 65 -

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Metodología para el análisis del tratamiento del lixiviado	- 22 -
Figura 2 Complejo de desarrollo humano y ambiental Pichacay	- 22 -
Figura 3 Mapa de ubicación del complejo de desarrollo humano y ambiental Pichacay	- 23 -
Figura 4 Test de jarras con Sulfato de Aluminio en los vasos de precipitación laboratorio CITT -	24 -
Figura 5 Medias marginales estimadas de DQO con cloruro férrico más polímeros aniónico y catiónico	- 41 -
Figura 6 Medias marginales estimadas de DQO con sulfato de aluminio más polímeros aniónico y catiónico	- 42 -
Figura 7 Medias marginales estimadas de pH con cloruro férrico más polímeros aniónico y catiónico	- 43 -
Figura 8 Medias marginales estimadas de pH con sulfato de aluminio más polímeros aniónico y catiónico	- 43 -
Figura 9 Medias marginales estimadas de conductividad con cloruro férrico más polímeros aniónico y catiónico	- 44 -
Figura 10 Medias marginales estimadas de conductividad con sulfato de aluminio más polímeros aniónico y catiónico	- 45 -
Figura 11 Medias marginales estimadas de solidos disueltos con cloruro férrico más polímeros aniónico y catiónico	- 46 -
Figura 12 Medias marginales estimadas de solidos disueltos con sulfato de aluminio más polímeros aniónico y catiónico.	- 46 -
Figura 13 Medias marginales estimadas de turbidez con cloruro férrico más polímeros aniónico y catiónico	- 47 -
Figura 14 Medias marginales estimadas de turbidez con sulfato de aluminio más polímeros aniónico y catiónico.	- 48 -
Figura 15 Medias marginales estimadas de color con cloruro férrico más polímeros aniónico y catiónico	- 49 -
Figura 16 Medias marginales estimadas de color con sulfato de aluminio más polímeros aniónico y catiónico.	- 49 -
Figura 17 Medias marginales estimadas de nitratos con cloruro férrico más polímeros aniónico y catiónico.	- 50 -
Figura 18 Medias marginales estimadas de nitratos con sulfato de aluminio más polímeros aniónico y catiónico.	- 51 -

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Solidos suspendidos.....	- 44 -
Ecuación 2 Solidos totales	- 45 -

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

Según el informe del año 2022 del Banco Mundial, los desechos sólidos mundialmente aumentarán en producción un 70% para el año 2050 (Martel et al., 2022), cada año la producción de toneladas de residuos en todo el mundo está entre 7.000 y 10.000 millones (NATGEO, 2022). La generación de residuos sólidos orgánicos está en un 44% y de residuos sólidos inorgánicos de 56% a nivel global, para América Latina y el Caribe se genera 1,04 kg per cápita hab/día (PNUMA, 2022)

En Ecuador para el año 2020, se recolectaron una media de 12.613 toneladas de residuos sólidos al día, solo la generación per cápita en zonas urbanas fue de 0,83 kg de residuos al día. (Cando et al., 2021). En Azuay se generan exactamente un promedio de 0.51kg/hab/día por habitante de residuos sólidos urbanos en el 2020, en la ciudad de Cuenca diariamente se recolecto un promedio de 400000 kg al día de residuos sólidos, los cuales generaron un volumen alrededor de 119 m³/día de lixiviado, los que se acumulan en el complejo de desarrollo humano y ambiental Pichacay, ubicado en la comunidad de Pichacay, parroquia Santa Ana (Patiño, 2021)

Es importante recalcar que el manejo de residuos sólidos debe ser integral incluyendo a el manejo de lixiviados, que es causada cuando se degrada la fracción orgánica, humedad y agua lluvia que genera como resultado aguas altamente contaminadas (Sang et al., 2008). Se conoce que el uso de los tratamientos coagulación-floculación en lixiviados dieron resultados satisfactorios en un relleno sanitario de Malasia disminuyendo a la DQO hasta un 50% mediante precipitantes químicos (Hurairah et al., 2021). De la misma forma el método de coagulación floculación se usó en relleno sanitario de Pulau Burung ubicado en Penang, con un alcance de remoción de DQO fue de un 52 % usando como coagulantes polímero cloruro de polialuminio (PAC) y polímero catiónico (Thaldiri et al., 2013).

La presente investigación, busca solucionar el problema de concentración de contaminantes en lixiviados que se producen, en el complejo de desarrollo humano y ambiental Pichacay mediante el tratamiento de coagulación-floculación, empleando el método pruebas de jarras en el laboratorio Hydrolab de la UCACUE en el CITT, mediante la aplicación de precipitantes químicos y polímeros, para determinar las dosis óptimas de los reactivos en eliminación de: materia orgánica, color, DQO, DBO, etc. De esta manera, conseguir la disminución del nivel de concentración de contaminantes en lixiviados.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

- Evaluar la eficiencia del uso de precipitantes químicos y polímeros aniónicos y catiónicos para el tratamiento de lixiviados del Complejo de Desarrollo Ambiental y Social Pichacay.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar las propiedades físico químicas del lixiviado del complejo de desarrollo ambiental y social Pichacay mediante ensayos de laboratorio

- Realizar ensayos de tratamientos para conocer la eficiencia de la aplicación de precipitantes químicos y polímeros
- Identificar las condiciones experimentales de dosificación óptimas en la aplicación de polímeros y coagulantes.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Rellenos sanitarios

Los rellenos sanitarios son una forma de disposición de desechos sólidos en la tierra (Giraldo, 2022). Es necesario conocer lo que es un relleno sanitario y a su vez como este puede generar lixiviado el cual puede llegar a ser severamente contaminante si no es tratada adecuadamente (Giraldo, 2022).

El relleno sanitario minimiza los peligros ambientales esparciendo los desechos sólidos al volumen más práctico y aplicando y compactando material de cobertura al final de cada día de uso (Laines, 2008).

Según (Tasi et al., 2003), a medida que un relleno sanitario se deteriora, pasa por dos etapas: la primera aeróbica que es de un periodo corto, conocida por la presencia de oxígeno disponible debido al aire atrapado en el relleno sanitario. Los microorganismos presentes tienen el rol de descomposición de la materia. La segunda etapa se basa en descomposición anaeróbica que es de un periodo largo, la cual presenta dos subfases diferentes: La fase ácida que es la transición a los procesos anaeróbicos los cuales generan la fermentación de los lixiviados con un alto contenido de ácidos orgánicos, la segunda subfase es la metanogénica la que produce biogás por ausencia de oxígeno (Kiss et al. 2006).

2.1.1 Relleno Sanitario Pichacay

Para la disposición final de los residuos sólidos de la ciudad de Cuenca y sus alrededores existe el Complejo de Pichacay, este lugar ocupa un espacio de 123 ha, está proyectado para un uso de 30 años. El proyecto dio inicio en septiembre del año 2001 con la primera, fase norte I, del complejo y se clausuró el 11 de mayo del 2009 cuando a su vez inició con la fase norte II, que se encuentra activa. Al cabo de esta fase se iniciará con una nueva al Sur del complejo proyectada hasta el año 2031 (Conto et al. 2018).

2.2 Lixiviados

El lixiviado es el resultado de la putrefacción de los desechos sólidos del relleno sanitario el cual es maloliente y de color negro su concentración depende de la tecnología del relleno sanitario, el tipo de desechos, el clima y las condiciones hidrogeológicas la cual a su vez varía significativamente entre los rellenos sanitarios (Rivas et al., 2004). Una característica importante de los lixiviados es la alta concentración de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO) (Lee et al., 2012). Los lixiviados pueden ser un contaminante ambiental muy importante si el relleno sanitario no cuenta con el método de tratamiento de lixiviados correspondiente y este llega a el agua subterránea, donde podrían producir gran cantidad de

contaminación (Andrade, 2014).

2.2.1 Sistema de drenaje de lixiviados

Es necesario para tratar adecuadamente los lixiviados, recolectarlos a través de un sistema de drenaje fuera del relleno sanitario, para su posterior tratamiento y disminución de concentración de contaminantes para prevenir impactos en el medio ambiente. Actualmente existen varios tipos de sistemas de drenaje, como por ejemplo en el interior de las celdas del relleno sanitario, está el drenaje de grava y drenaje de tubería de PVC, además existe el sistema externo de captación y conducción de lixiviados y los sistemas de tratamiento de lixiviados para rellenos manuales y mecanizados (Corena, 2008).

2.2.2 Consecuencias generadas por la contaminación con lixiviado.

Una de las consecuencias causadas por lixiviados es la infiltración de este hasta aguas del subsuelo que provocara alta contaminación que dañan a el agua y su uso común en si, por ende estas aguas vienen a ser inservibles(Gómez, 2018).

2.3 Caracterización físico químicos del lixiviado

Para probar un tratamiento de lixiviado es necesario conocer las variables físico, químicas del mismo, por métodos normalizados con el objetivo de advertir la concentración del lixiviado, comúnmente entre las variables físicas se pueden resaltar: el color, turbidez, los sólidos disueltos, entre otros. Para las variables químicas están la DQO, la DBO₅, como las principales. (Hanani et al., 2013).

2.3.1 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Es la medida aproximada del contenido total de materia orgánica presente en una muestra de agua. La DQO se determina normalmente por el mecanismo de espectrofotometría el cual mide las longitudes de onda que una molécula puede absorber, su efectividad depende de las condiciones del medio (Sancha, 2013).

2.3.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Es la medida de oxígeno que es consumido en un litro de agua o lixiviado, mientras se degradan compuestos orgánicos, esto puede33 determinar compuestos orgánicos degradables(Sancha, 2013).

2.3.3 Turbidez

Es la cantidad de partículas en suspensión en el líquido. Se mide mediante el turbidímetro, el que determina la intensidad de la luz dispersada a 90 grados cuando pasa un rayo de luz en una muestra de agua (Hach, 2004).

2.3.4 Color

Es la variación de color presente en la muestra en comparación con una muestra en blanco (Hach, 2004).

2.3.5 pH

EL pH es la cantidad de alcalinidad o acidez en él lixiviado. Se mide mediante el electrodo de vidrio es el que responde a la acción de iones hidrógeno (Sancha, 2013).

2.3.6 Sólidos Suspendidos (SS)

Es la diferencia entre los sólidos totales ante los disueltos

Se mide mediante esta fórmula (Sancha, 2013).

$$SS(mgL) = P_{caps} + P_{filt} + SS - P_{caps} - P_{filt}.V \quad (1)$$

Ecuación 1: Sólidos suspendidos

Donde:

P. caps: Peso de la cápsula.

P. filt: Peso del filtro.

P. filt+SS: Peso del filtro y sólidos suspendidos.

V: Volumen

2.3.7 Sólidos Totales (ST)

Según (Sancha, 2013). Los sólidos totales son el resultado de la suma de dos tipos de sólido los disueltos y los que se encuentran en suspensión.

Se mide mediante esta fórmula

$$ST = P_{caps} + ST - SS - P_{cap}V \quad (2)$$

Ecuación 2: Sólidos totales

Donde:

P cap: Peso de la cápsula.

ST: Sólidos Totales.

V: Volumen

2.4 Métodos de tratamiento de lixiviado:

Los procesos de tratamiento utilizados para los lixiviados de vertederos a menudo involucran los procesos como oxidación química, coagulación-precipitación, la degradación biológica anaeróbica y/o aeróbica, adsorción de carbono, fotooxidación y membrana entre otros (Wang et al., 2002). Es claro que la adición de floculantes permite la sedimentación de flóculos que genera más eficiencia (Tatsi et al., 2003).

2.4.1 Oxidación química:

Logra que los complejos orgánicos peligrosos puedan descomponerse y se aplica el oxígeno al lixiviado que provoca radicales hidroxilos gracias al peróxido de hidrogeno más un catalizador como por ejemplo Al, estos reaccionan con el material orgánico disminuyéndolo (Chávez, 2016)

2.4.2 Degradación biológica aeróbica:

Permite la nitrificación del nitrógeno amoniacal y la eliminación de una cantidad baja de contaminantes orgánicos (SIGMA, 2021).

El tipo de tratamiento aerobio más extendido son los lodos activados o lagunas aireadas, también el sistema aerobio más usado es el reactor de biodiscos o RBC (Contactor Biológico Rotante).

2.4.3 Degradación biológica anaeróbica:

El tratamiento anaerobio es decir sin la presencia de oxígeno que provoca la transformación de la materia orgánica en combinaciones volátiles (Márquez et al., 2011), el tratamiento más utilizado es el reactor anaerobio de flujo ascendente, el cual está formado por un único tanque con una serie de deflectores que fuerzan el paso del lixiviado entre ellos para sr tratados reporta buenos resultados(Álvarez et al., 2016).

2.4.4 Evaporación:

A medida que se da el calentamiento de los lixiviados estos se evaporan normalmente, el biogás producido se usa como energía (Martínez, 2018).

2.4.5 Adsorción de carbono:

Se realiza en una columna rellena de este material, que en el caso de los lixiviados de vertedero se ha comprobado que elimina porcentajes de DQO de hasta el 80% debido a su capacidad de adsorción debido a que el carbón absorbe componentes del líquido con el que tiene contacto lo que permite la purificación del lixiviado(Saah, 2015).

2.4.6 Coagulación floculación

La coagulación-floculación usa el mecanismo de la neutralización de la carga de los coloides cargados negativamente, a esto le sigue la incorporación de impurezas en un precipitado de hidróxido amorfo a través de la floculación, mediante la adición de un coagulante se desestabilizan las partículas coloidales. A la coagulación generalmente les sigue la floculación a las partículas inestables en flóculos voluminosos lo que promueve la sedimentación(Lee et al., 2012). La coagulación y la floculación son útiles porque las partículas floculadas pueden reducir la suciedad al producir depósitos más permeables (Alasino, 2009). Esta técnica puede ser importante para la biodegradabilidad de los lixiviados (Tatsi et al., 2003).

2.4.6.1 Beneficios de uso de ayudantes floculación

Sirven para la unión entre flóculos, y para el aumento del aguante del flóculo, disminución del

tiempo de floculación, y reducción de la dosis requerida de coagulante (Borja et al., 2015)

2.4.6.2 Coagulantes metálicos

Normalmente son de hierro, aluminio o mezclas con otros metales aptos para crear un flóculo y que hacen coagulación cuando se colocan en él líquido. Entre los coagulantes metálicos que más se usan están el cloruro férrico y el sulfato de aluminio (Rodríguez, 2008).

2.4.6.3 Sulfato de aluminio

Es una sal de fórmula $Al_2(SO_4)_3$, el sulfato de aluminio es comúnmente usado para que el agua se vuelva transparente con un pH en condiciones neutras debido a la precipitación del aluminio.(Fúquene et al., 2018).Esto se usa en piscinas cuando se busca evitar la formación de algún germen o alga.(Rodríguez, 2008).

2.4.6.4 Cloruro férrico

El cloruro férrico es fácil de conseguir se presenta de manera líquida o cristalina. Es altamente agresivo y corrosivo es común usarlo para tratar aguas residuales (Rodríguez, 2008).

2.4.6.5 Polímeros

Los polímeros se refieren a una gran variedad de compuestos macromoleculares solubles en agua, naturales o sintéticos, que poseen la capacidad de desestabilizar o mejorar la floculación de los constituyentes de una masa de agua. Aunque los productos de polímeros naturales tienen la ventaja de estar virtualmente libres de tóxicos, el uso de polímeros sintéticos está más extendido (Borja et al., 2015)

2.4.6.6 Polímeros aniónicos catiónicos

Los polímeros son tanto aniónicos como catiónicos, estos a su vez pueden ser de origen sintético, orgánico o mineral. También se pueden dividir por su carga eléctrica con carga negativa como aniónico, en su carga positiva como catiónico (Borja et al., 2015).

2.5 Análisis estadístico:

Mediante la estadística se organizan los resultados o valores en conjunto de una manera comprensible, para conocer sus fundamentales cualidades y sus conexiones presentes, la estadística se definiría como el procedimiento enfocado a compilar, preparar, exponer y entender valores numéricos (UAL, 2010). Lo que permite a los usuarios comprender las relaciones estadísticas entre un grupo de datos (Minitab, 2021).

2.5.1 ANOVA de tres factores

Este ANOVA o ("análisis de varianza") tiene tres factores (variables independientes) y una variable dependiente y prueba cuál de las tres variables separadas logra un efecto mayor en un resultado y prueba la relación entre las tres variables. Así un investigador puede determinar si la variabilidad de los resultados se debe al azar o a los factores del análisis (Parthiban et al., 2016).

En la prueba ANOVA existen dos hipótesis como posibles resultados, la hipótesis nula, que indica que las medias de población son todas iguales y la hipótesis alternativa, indica que las medias difieren al menos en un resultados (Flores et al., 2017) . Para determinar las diferencias entre las medias se compara el valor “p” obtenido, con el nivel de significancia (denotado como α o alfa), para evaluar la hipótesis nula. Normalmente un nivel de significancia de 0,05 funciona correctamente. (Sawyer, 2009).

2.6 Marco Legal

El marco legal es el grado en el que se permite a la participación política ejercer sobre las instituciones y determinar el alcance y naturaleza acción conforme a la ley. Su fundamento más importante es la Constitución de la República del Ecuador (Martínez et al., 2019).

2.6.1 Constitución de la República del Ecuador 2008

Uno de los varios artículos relacionados con el tema de residuos sólidos es el art 14 el que dice “La población tiene el derecho fundamental a vivir en un entorno saludable y ecológicamente sustentable y sostenible, garantizando a los ecuatorianos un desarrollo sostenible y un Buen Vivir, conocido como Sumak Kawsay o Madre Tierra, donde se da a conocer el interés nacional en la preservación, conservación, prevención y recuperación del entorno natural en el que habitamos” (Constitución,2008).

Art.15. “El estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto”.

Por otro lado, el artículo 71 guarda amparo sobre los derechos de “la naturaleza o la Pacha Mama para su respeto, garantizando sus ciclos normales, estructuras, funciones y procesos evolutivos”, ya que es donde se sustenta la vida (Constitución, 2008).

Desde lo operativo es fundamental mencionar que en el Artículo 264 permite a los (GADs) “Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley” (Constitución, 2008)

Referente al tema de suelos el artículo 409 menciona la importancia de la normativa ambiental, nacional y de interés público para el amparo del suelo que evite la erosión (Constitución, 2008).

Así también, el Artículo 415 señala que los gobiernos autónomos descentralizados establecerán proyectos sobre el uso del agua de forma racional, impulsando el manejo adecuado de residuos sólidos y líquidos (Constitución, 2008)

2.6.2 Reglamento al Código Orgánico Ambiental

De acuerdo al Reglamento al Código Orgánico Ambiental establece en el libro primero, título II, capítulo II, sección 3ª en el Art. 19 señala que “serán atribuciones del Comité Nacional de Calidad Ambiental: a) Coordinar la aplicación intersectorial de la política ambiental nacional referente a la prevención y control de la contaminación ambiental, y la reparación integral de los daños y pasivos ambientales”; sobre la prevención de contaminación ambiental acoge a la regularización de

construcción de obras, con opciones a rediseños de proyectos para conseguir una vialidad ambiental como destaca el Art. 461 correspondiente a las normas de calidad ambiental que define los lineamientos para garantizar la calidad ambiental de los seres bióticos, abióticos y límites permisibles y en el título VII, que hace referencia a Gestión integral de residuos sólidos en los Artículos 560, 561, 562, 565, 566, sostiene el debido manejo de residuos no peligrosos y las competencias para los (GADs) en la gestión y modificación de los planes de gestión integral de residuos sólidos lo cual debe ser informado a la autoridad competente y los artículos 574 al 611, que dispone de la responsabilidad del manejo integral de los desechos sólidos no peligroso, y seleccionar alternativas óptimas que consideren diseños y técnicas ambientales, económicas y sociales para un correcto cierre técnico del relleno sanitario y así garantizar un correcto manejo de sus lixiviados (Reglamento al Código Orgánico del Ambiente, 2019).

2.6.3 Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización. (COOTAD).

El COOTAD para su Artículo 55 indica las responsabilidades propias de los (GADs) que lo especifica en los incisos:

a) "Planificar, junto con otras instituciones del sector público y actores de la sociedad, el desarrollo cantonal y formular los correspondientes planes de ordenamiento territorial, de manera articulada con la planificación nacional, regional, provincial y parroquial, con el fin de regular el uso y la ocupación del suelo urbano y rural, en el marco de la interculturalidad y plurinacionalidad y el respeto a la diversidad". d) "Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley" (COOTAD, 2018).

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación, se muestra la metodología para el análisis del tratamiento del lixiviado.

Fase 1. Toma de muestras del lixiviado del relleno sanitario Pichacay

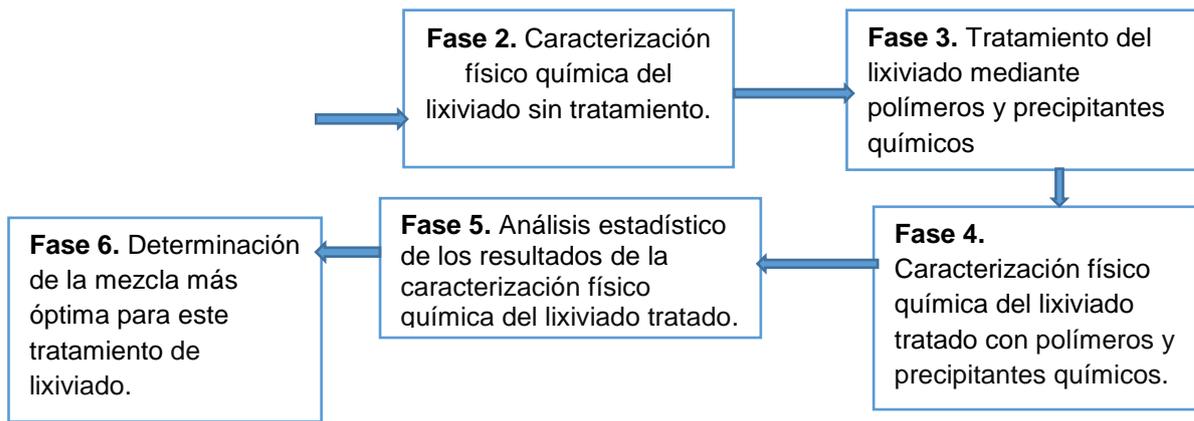


Figura 1 Metodología para el análisis del tratamiento del lixiviado

Fuente: Autoría propia

3.1 Fase 1: Toma de muestras del lixiviado del Complejo de Desarrollo Humano y Ambiental Pichacay

Las muestras para este estudio fueron tomadas con el equipo y protección necesaria ya que el lixiviado puede llegar a ser tóxico para las personas lo necesario para tomar las muestras fue: ocho canecas para llenarlas de lixiviado, guantes, mascarilla protectora (malos olores), botas de caucho y traje protector

3.1.2 Zona de estudio:

El Complejo de Desarrollo Humano y Ambiental Pichacay que ha estado en funcionamiento desde 1982; el que está ubicado a 21 Km de la ciudad de Cuenca en la parroquia Santa Ana cubre aproximadamente 130 ha. (Tatsi et al., 2003).



Figura 2 Complejo de desarrollo humano y ambiental Pichacay

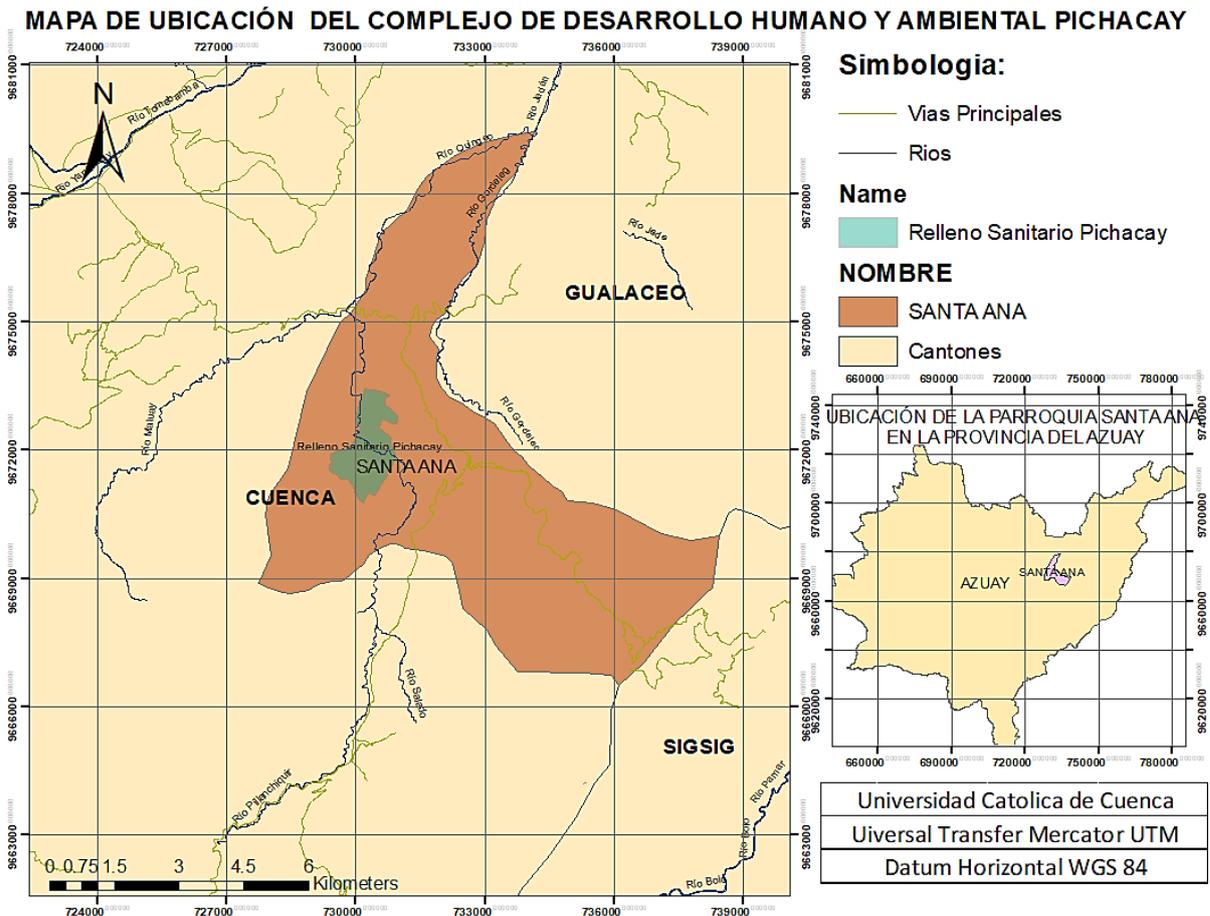


Figura 3 Mapa de ubicación del complejo de desarrollo humano y ambiental Pichacay

3.2 Fase 2: Caracterización físico química del lixiviado sin tratamiento

Esta metodología usada fue la de Estándar Methods para determinar los parámetros físico químicos del lixiviado.

La Tabla 1 indica la técnica usada y la metodología para la caracterización físico química del lixiviado en cada uno de sus variables

Tabla 1 Metodología estándar para caracterización Físico Química CITT

Metodología estándar para caracterización Físico Química CITT		
Parámetro	Técnica	Metodología
DQO	Espectrofotometría	Standard Methods, 5220 D

Solidos disueltos	Electrodo	Standard Methods,
Turbidez	Multiparamétrico	Standard Methods
PH	Multiparamétrico	Standard Methods
Conductividad	Multiparamétrico	Standard Methods
Color	Espectrofotometría	Standard Methods 4500
Nitratos	Espectrofotometría	Standard Methods 4500

La investigación se realizó en el Hydrolab del CITT de la UCACUE con él equipo conveniente.

3.3 Fase 3: Tratamiento del lixiviado mediante polímeros y precipitantes químicos

3.3.1 Prueba de jarras

Se realizó el tratamiento de coagulación, floculación y precipitación con los diferentes precipitantes químicos y polímeros, El equipo para prueba de jarras tendrá que constar de 4 vasos de 1L de volumen.



Figura 4 Test de jarras con Sulfato de Aluminio en los vasos de precipitación laboratorio CITT

Es necesario comprender que la prueba de jarras consta de una etapa de mezclado y sedimentación, la etapa de mezclado consta de dos etapas la mezcla rápida y la mezcla

lenta(Tripathy et al., 2019)

La mezcla rápida en la prueba de jarras tomará un tiempo de 1 min a una velocidad de 120 revoluciones, la etapa de mezcla lenta durará 30 min a una velocidad de 30 revoluciones. Luego de la etapa de mesclado viene la etapa de sedimentación que durara 30 min.

Procedimiento:

1. Se colocó en cuatro vasos de precipitación 1000 ml de lixiviado, a esto se le añadió 30 ml de cloruro férrico en cada vaso.
2. Luego de realizar una etapa de mezcla rápida y lenta en el test de jarras se sedimentó.
3. Se repitió el mismo proceso esta vez en nuevos vasos de precipitación añadiendo 1000 ml de lixiviado y 35 ml de cloruro férrico en cada vaso de precipitación para después pasar a la etapa de mezcla rápida, lenta y sedimentación.
4. Así sucesivamente se aumentó el cloruro férrico de 5 ml en 5 ml hasta llegar a 65 ml de cloruro férrico en cada uno de los vasos de precipitación.
5. El proceso experimental para sulfato de aluminio se realizó de la misma manera que con el cloruro férrico solo que esta vez en lugar de añadir el precipitante en volúmenes de 5 ml se realizó con volúmenes de 10 ml en 10 ml desde 30 ml hasta llegar a 100 ml en el mismo orden que se realizó para el cloruro férrico.
6. En cuanto a la adición de polímeros esto se realizó en los vasos tanto con cloruro férrico como con sulfato de aluminio tras pasar por los procesos de mescla y sedimentación para volver a realizar el método de test de jarras y analizar las diferencias con la aplicación de polímeros en las mismas dosis de precipitante.
7. Los polímeros se añadieron en este orden (0,1 gr en el vaso 1; 0,2 gr en el vaso 2; 0,3 gr en el vaso 3; 0,4 gr en el vaso 4) así en todos los volúmenes de precipitante químico.
8. El polímero aniónico fue el primer polímero en ser probado en todos los volúmenes de precipitantes ya mencionados para pasar por las fases de mezclas y sedimentación del test de jarras.
9. Luego se probó el polímero catiónico en nuevos vasos con precipitantes químicos en las mismas dosis que con el polímero catiónico sin que los dos tipos de polímeros coincidan en un mismo vaso con precipitante.

3.4 Fase 4 Determinación de parámetros físico químicos con la presencia de precipitantes químicos y polímeros

Se realizó una caracterización físico químicas esta vez con la prescencia de precipitantes y polímeros lo cual es necesario para verificar la factibilidad de los mismos.

3.5 Fase 5 Análisis estadístico de los resultados con el software el minitab.

Los parámetros físico químicos del lixiviado fueron representados con las medias estadísticas. Para el análisis de los resultados de los parámetros (DQO, pH Turbidez, Conductividad, SS, DBO₅,) se realizó un ANOVA de tres factores para poder identificar los cambios obtenidos con los diferentes valores de precipitante químicos y polímeros, los datos fueron analizados con el software

minitab.

Se analizó los resultados de las características del agua mediante un análisis estadístico de varianza con la prueba ANOVA de tres factores. Con el análisis de la varianza se pudo constatar a la hipótesis nula que dice que las medias de diferentes poblaciones k son iguales, en contra de la hipótesis alternativa que explica que no todas las medias en las diferentes poblaciones son las iguales (Rea et al., 2019)

3.6 Fase 6 Determinación de la mezcla óptima para este tratamiento de lixiviado.

Se determinó la mezcla óptima después del análisis estadístico mediante la comparación bibliográfica en la discusión en este trabajo.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización físico química de la muestra de lixiviado

Los valores de concentración iniciales que se obtuvieron del lixiviado referente a parámetros físico químicos son elevados debido a la gran contaminación en la fracción solvente.

Tabla 2 Caracterización físico química del lixiviado, Fracción solvente

Caracterización físico química del lixiviado		
Parámetros	Fracción solvente	Unidad de medida
DQO	8870	mg/l O ₂ .
DBO	8170	mgO ₂ /l
Nitratos	0	ppm
Amonio	1274	mg/l
Color	2030	UC
Sólidos Suspendidos	360	mg/l
Fosfatos	4.8	mg/l
P. Total	5,35	mg/l

En este estudio el valor de DQO fue de 8870 mg/l O₂ que según (Martínez, 2018) el valor de DQO de un lixiviado nuevo esta entre el rango de 2000 y 30000 mg/l O₂. EL valor de DBO que se obtuvo es de 8170 mg/l O₂ y el rango que establece (Martínez, 2018) es de 3000 y 60000 mg/l O₂. Para sólidos suspendidos valores de 360 mg/l lo que se parece a lo encontrado con (Hanani, 2013) que consiguió un valor entre 164 y 181 mg/l de sólidos suspendidos. Esto confirma (Laines, 2008) en su tratamiento de coagulación floculación, sus lixiviados le sale un color de 1043 UC y en esta investigación se obtuvo un valor de 2030 UC también en comparación en nuestra investigación se obtuvo un valor de fósforo total de 5,35 mg/l y al lixiviado de (Laines, 2008) da un valor de 0,82 mg/l.

En la tabla 3 el resultado que se muestra esta medido, con nuestras máquinas de laboratorio multiplicado por 10 debido a su dilución al 10 %, esto se realizó pues no era posible la medición sin antes realizar una dilución del lixiviado.

Tabla 3 Caracterización físico química del lixiviado

Caracterización físico química del lixiviado con el método de disolución		
Parámetros	Fracción soluble	Unidad de medida
DQO	8530	mg/l O ₂ .
DBO	8070	mgO ₂ /l
Nitratos	55	ppm
Sólidos Totales	10,42	μS/cm
PH	7,81	pH
Conductividad	18140	μS/cm
Sol. Disueltos	9080	mg/l
Turbidez	345	NTU
P. Total	180	mg/l

En este estudio al lixiviado se le disolvió debido a que los instrumentos que se usaron impedían medir: el pH, turbidez y conductividad. La DQO consiguió un valor de 8530 mg/l O₂ en fracción soluble para DBO salió el valor de 8070 también en fracción soluble. El pH para Hanani (2013) en sus lixiviados mostró un valor entre 8,32 y 8,60, en este trabajo se obtuvo el valor de pH de 7,81 entonces son valores que están entre el rango normal.

4.2 Caracterización físico química de lixiviado con precipitantes químicos

Se realizó la caracterización físico química con precipitantes comenzando con el FeCl₃ al 4%

4.2.1 Cloruro férrico al 4% FeCl₃

Tabla 4 Cloruro férrico al 4% FeCl₃

FeCl₃ al 4%								
Vaso	1	2	3	4	5	6	7	8
Volumen de precipitante	30ml	35ml	40ml	45ml	50ml	55ml	60ml	65ml
PH	7,18	7,04	7,16	7,08	6,99	6,97	6,78	6,86
Cond	19290	18800	18930	18520	19290	18360	18600	18520
Sol. Disueltos	9660	9440	9390	9350	9640	9320	9320	9150
Turbidez	239	244	236	281	181	245	224	240
Color	3910	3650	1570	1640	1580	3360	3070	3550
Nitratos	35	70	90	30	16	21	0	19
DQO	8330	7880	7560	8630	7900	7360	7610	7370

Se observa claramente que la tabla 4 presenta que en la mayoría de los parámetros disminuye la

concentración mientras que sube el volumen de cloruro férrico a excepción de turbidez que se mantiene en un rango estable.

4.2.2 Sulfato de aluminio al 4%

Tabla 5 Sulfato de aluminio al 4%

Al₂(SO₄)₃ al 4%								
Vaso	1	2	3	4	5	6	7	8
Volumen de precipitante	30ml	35ml	40ml	45ml	50ml	55ml	60ml	65ml
PH	7,2	7,3	7,42	7,2	6,73	6,52	6,63	6,58
Cond	17440	17770	18020	17920	17230	17860	17410	17720
Sol. Disueltos	9100	9050	9150	9090	9120	9020	8830	9000
Turbidez	500	194	524	357	463	129	187	588
Color	4900	2760	5830	3870	4090	2090	2160	910
Nitratos	0	31	0	0	0	53	13	37
DQO	10250	21500	19790	9070	8830	8520	8530	8530

Fuente: Laboratorio Hydrolab, UCACUE

El parámetro color fue el que más disminuyó más del 50%, aplicando sulfato de aluminio en cuanto a turbidez y conductividad estos parámetros aumentaron su concentración, también se observa una menor disminución de concentración general de los parámetros físico químicos en comparación con el precipitante químico cloruro férrico a medida que aumenta el volumen del precipitante.

4.3 Caracterización físico química de lixiviado con la presencia de precipitantes químicos y polímeros aniónicos y catiónicos en diferentes valores.

A continuación, se observa la caracterización físico química de lixiviados con cloruro férrico con distintos volúmenes, la disminución de la concentración de los parámetros varía según el tipo de parámetro físico químico.

Tabla 6 Caracterización de lixiviado con cloruro férrico

30ml cloruro férrico							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos
1	19720	7,13	28270	14320	627	5460	22
2	19620	7,13	28400	14180	487	12000	0
3	19810	7,13	28350	14230	481	12000	0
4	19590	7,11	28600	14300	437	13900	0
35ml cloruro férrico							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos
1	21500	7,31	28140	14090	675	12250	0
2	21190	7,23	27630	13870	573	11840	0

3	20710	7,25	27550	13830	710	11290	0
4	20840	7,24	27230	13560	589	12040	0
40ml cloruro férrico							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos
1	19790	7,26	27850	14000	792	9720	0
2	20440	7,14	28410	13990	757	9460	35
3	20470	7,12	28300	14170	753	9130	55
4	19560	7,14	28040	14070	733	8990	0
45ml cloruro férrico							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos
1	20740	7,19	28000	14020	979	9720	16
2	18580	7,18	27860	13910	1040	9460	0
3	20210	7,51	27380	13730	848	9130	0
4	19860	7,58	27700	13870	875	8990	0
50ml cloruro férrico							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos
1	19550	6,94	28420	14330	1030	8320	0
2	19300	6,91	28210	14170	1150	8040	0
3	18750	7,43	27730	13970	1160	8777	0
4	19180	6,98	28780	14430	910	9450	57
55ml cloruro férrico							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos
1	18580	6,75	28250	14140	1189	9367	17
2	19860	6,62	28350	14250	1040	9490	14
3	18588	6,58	27800	14140	848	9050	61
4	18777	6,68	28550	14250	975	9840	29
60ml cloruro férrico							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos
1	20210	7,4	34780	17420	561	7170	46
2	20740	6,97	32590	16250	585	7040	39
3	20010	7	32940	16500	579	6810	16
4	20520	7,07	34890	17410	617	7600	0
65ml cloruro férrico							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos
1	21880	7,31	37640	18560	697	9310	9
2	22240	7,13	52680	20960	710	8810	91
3	28400	7,25	51280	25320	755	7760	66
4	27040	7,12	43840	22400	681	8440	84

En la tabla 6 se observa variaciones en todos los volúmenes para DQO el volumen que presentó mejor resultado es el de 55 ml de ClFe₃ su resultado óptimo es de 18 588 mg /lt y referente a los

nitratos nos dieron el mejor resultado con los 35 ml de ClFe3

4.3.2 Caracterización de lixiviado con FeCl3 y polímero aniónico

Tabla 7 Caracterización de lixiviado con FeCl3 y polímero aniónico

30ml Aniónico cloruro férrico							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos
0,1	20480	7,48	28110	14080	792	9720	0
0,2	20560	7,43	27841	13930	757	9460	35
0,3	20440	7,31	27690	14170	753	9130	55
0,4	20470	7,37	27710	14070	733	8990	0
35ml Aniónico cloruro férrico							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos
0,1	19620	7,48	28110	14080	792	9720	0
0,2	19810	7,43	27840	13930	757	9460	35
0,3	19590	7,31	27690	14170	753	9130	55
0,4	20710	7,37	27410	14070	733	8990	0
40ml Aniónico cloruro férrico							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos
0,1	20480	7,48	28110	14080	792	6350	0
0,2	20560	7,43	27840	13930	757	5670	35
0,3	19650	7,31	27690	14170	753	6690	55
0,4	20520	7,37	27810	14070	733	6290	0
45ml Aniónico cloruro férrico							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos
0,1	19820	7,58	27490	13800	949	9850	0
0,2	19770	7,03	28520	14240	944	8600	0

0,3	19420	7,39	27840	13950	714	1200	0.4
0,4	20960	7,41	27840	13970	952	13210	0.8
50ml Aniónico cloruro férrico							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos
0,1	19280	6,94	28420	14330	894	7770	0
0,2	18950	6,91	28210	14170	1050	9910	0
0,3	19560	7,43	27730	13970	1160	9850	17
0,4	20010	6,98	28780	14430	1110	2380	50
55ml Aniónico cloruro férrico							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos
0,1	17110	6,43	18070	12600	249	3480	126
0,2	16310	6,45	28260	14140	519	4480	69
0,3	15340	6,37	28360	14180	336	4340	89
0,4	15910	6,47	27250	13780	761	5540	123
60ml Aniónico cloruro férrico							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos
0,1	17120	6,96	34110	17110	634	5160	0
0,2	17770	6,85	34020	17020	507	5630	0
0,3	15320	6,93	36910	18830	414	5400	36
0,4	15910	6,92	34780	17390	389	3040	21
65ml Aniónico cloruro férrico							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos
0,1	15460	7,44	26060	13080	226	3320	82
0,2	16980	7,45	27430	13800	372	3030	24

0,3	17830	7,48	26630	13270	237	3060	78
0,4	18530	7,31	30680	15490	351	6220	18

La tabla 7 muestra la caracterización de lixiviado con cloruro férrico y polímero aniónico, los valores varían dependiendo del parámetro, pero referente a DQO el mejor resultado fue 15320 mg/lit con 60 ml de precipitante y 0,3 gr de polímero y para turbidez los 65ml con 0,1 gr de polímero aniónico.

4.3.3 Caracterización del lixiviado con la presencia de ClFe3 y polímero catiónico

Tabla 8 Caracterización del lixiviado con la presencia de cloruro férrico y polímero catiónico

30ml catiónico cloruro férrico							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos
0.1	18580	7,39	29440	14760	792	7200	0
0.2	19860	7,28	31570	15960	757	8360	0.8
0.3	18588	7,3	29550	14790	753	7370	0
0.4	18777	7,33	21300	12300	733	10880	3.8
35ml catiónico cloruro férrico							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos
0.1	15460	7,58	33390	16710	591	8940	0
0.2	16980	7,54	32610	16420	696	11700	0
0.3	17830	7,58	33120	16540	493	8480	0
0.4	18530	7,73	33570	16396	487	8180	0
40ml catiónico cloruro férrico							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos
0.1	17110	7,25	27180	13610	473	6350	0
0.2	16310	7,17	26960	13570	377	5670	35
0.3	15340	7,24	26750	13110	539	6690	0
0.4	14910	7,31	26120	13460	449	6290	0

45ml catiónico cloruro férrico							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos
0.1	17110	7,54	26460	13480	476	5750	0
0.2	16310	7,36	27500	13750	702	8610	0
0.3	15340	7,42	26550	13500	421	6100	0
0.4	14910	7,5	27530	13750	465	6830	0
50ml catiónico cloruro férrico							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos
0.1	15350	6,99	27210	13480	448	6430	4
0.2	15220	6,98	27720	13750	413	6350	37
0.3	15600	6,96	27270	13500	483	7060	9
0.4	15490	7,05	26990	13750	404	6030	64
55ml catiónico cloruro férrico							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos
0.1	13360	7,81	27070	13460	363	5630	109
0.2	13140	8,2	26350	13190	223	6310	0
0.3	12610	7,99	24240	12170	307	5350	0
0.4	13420	8,02	27280	13710	361	6230	0
60ml catiónico cloruro férrico							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos
0.1	12420	7,31	26060	13040	445	7190	0
0.2	12090	7,25	25450	12710	409	6370	0
0.3	13210	7,28	27470	13710	433	6380	0
0.4	12420	7,41	26410	13210	467	5770	0

65ml catiónico cloruro férrico							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos
0.1	12400	7,41	25260	12580	484	6420	14
0.2	12320	7,46	25530	12740	475	6330	0
0.3	11990	7,41	25970	12970	526	6040	0
0.4	11780	7,45	25650	12760	326	6520	0

Se observa en la tabla 8 que para DQO la dosis óptima fue cloruro férrico a 65ml y con 0.4 gr de polímero catiónico resultando 1780 mg/lt.

4.3.4 Caracterización del lixiviado con $Al_2(SO_4)_3$

Tabla 9 Caracterización del lixiviado con $Al_2(SO_4)_3$

30ml sulfato de aluminio							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos
1	10250	7,8	22250	12620	319	4980	94
2	9840	7,6	26150	13060	289	4890	21
3	10040	7,8	27270	13610	324	4940	32
4	10090	7,8	27630	13520	314	5140	31
40ml sulfato de aluminio							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos
1	21500	7,7	26140	13100	292	4530	0
2	21190	7,8	26630	13310	300	4750	0
3	20710	7,7	25840	12850	290	4460	0
4	20840	7,7	25660	12840	281	4300	0
50ml sulfato de aluminio							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos

1	19790	7,7	29310	12140	245	2830	29
2	20440	7,8	25980	12970	267	2960	19
3	20470	7,7	25450	12730	258	3550	35
4	19560	7,7	25080	12560	251	3220	57
60ml sulfato de aluminio							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbiedad	Color	Nitratos
1	9070	7,8	26100	13040	239	3690	0
2	8530	7,7	25400	12620	200	3590	0
3	8730	7,6	24960	12480	191	3310	15
4	8580	7,7	25500	12750	170	3210	0
70ml sulfato de aluminio							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos
1	8830	7,6	25440	12730	207	3360	0
2	8780	7,7	25550	12780	203	3680	0
3	8810	7,7	25540	12790	193	3630	12
4	8450	7,6	25040	12530	165	3330	0
80ml sulfato de aluminio							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbiedad	Color	Nitratos
1	8520	8,9	22780	11410	200	3367	17
2	10820	8,1	23890	11920	188	2646	14
3	8940	8,1	23400	11700	115	2805	66
4	8900	8	24180	12090	146	3184	20
90ml sulfato de aluminio							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos

1	8530	7,4	24600	12300	261	3700	49
2	8521	7,4	25570	12790	242	5010	27
3	8310	7,2	25200	12600	253	5020	5
4	8200	7,1	29800	12440	251	5190	1
100ml sulfato de aluminio							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos
1	8530	6,7	24730	13370	697	5110	45
2	8100	6,9	26230	13120	710	6910	0
3	8010	6,9	24850	12430	755	3910	2
4	8100	6,9	25400	12620	681	3230	0

En la tabla 11 a pesar de la variación de los resultados en los distintos parámetros si se da una disminución notoria de DQO con 70 ml de sulfato de aluminio en el vaso 4.

4.3.5 Caracterización del lixiviado con $Al_2(SO_4)_3$ y polímero aniónico

Tabla 10 Caracterización del lixiviado con $Al_2(SO_4)_3$ polímero aniónico

30ml aniónico sulfato de aluminio							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos
0.1	10050	8,08	24310	12120	359	4530	0
0.2	9910	8,11	24500	12230	238	4320	54
0.3	24000	8,8	23470	11820	484	5670	88
0.4	11100	8,14	24550	14530	277	5090	6
40ml aniónico sulfato de aluminio							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos
0.1	9920	7,86	26490	13200	246	4690	54
0.2	8220	7,8	25590	12940	190	4280	59

0.3	11950	8	21340	10588	251	4750	120
0.4	6450	7,71	22010	11110	124	1142	747
50ml aniónico sulfato de aluminio							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos
0.1	9510	7,6	25570	14080	183	3740	0
0.2	9270	7,64	24440	13930	179	3940	0
0.3	10640	7,56	23280	14170	381	3570	0
0.4	9980	7,62	24140	14070	250	3760	0
60ml aniónico sulfato de aluminio							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos
0.1	8460	7,63	23910	11930	106	2180	35
0.2	9270	7,84	26280	13120	107	3120	22
0.3	9780	7,83	25050	12530	123	2670	11
0.4	9520	7,84	26360	13180	787	2550	0
70ml Aniónico Sulfato de Aluminio							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos
0.1	4960	7,43	12070	6030	471	1140	0
0.2	4240	7,38	11470	5740	492	1140	14
0.3	4150	7,34	11390	5700	441	1050	0
0.4	3860	7,41	11260	5620	327	1160	18
80ml aniónico sulfato de aluminio							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos
0.1	8900	7,53	25520	12760	114	2940	0
0.2	9340	7,31	26750	13380	140	3510	31

0.3	8460	7,42	28380	14290	93	3270	0
0.4	8430	7,42	24310	12120	113	3070	12
90ml aniónico sulfato de aluminio							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos
0.1	8270	7,6	24460	12300	179	4030	0
0.2	14510	7,52	25760	12790	162	4730	82
0.3	7660	6,85	27260	12600	363	5410	0
0.4	6160	7,38	25590	12440	578	8580	0
100ml aniónico sulfato de aluminio							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos
0.1	8300	7,41	25260	12580	544	6420	14
0.2	9440	7,46	25530	12740	304	6330	0
0.3	8360	7,41	25970	12970	192	6040	0
0.4	8430	7,45	25650	12760	134	6520	0

En la tabla 12 se muestra que referente al parámetro físico químico DQO la mejor dosis se da en 70 ml específicamente con 0,4 gr de polímero que llega a obtener las menores cantidades de concentración referente a este parámetro. La DQO se toma como el parámetro crítico ya que ayuda a tener una estimación del grado de contaminación del lixiviado (Vilar et al., 2015).

4.3.6 Caracterización del lixiviado con $Al_2(SO_4)_3$ y polímero catiónico

Tabla 11 Caracterización del lixiviado con $Al_2(SO_4)_3$ polímero catiónico

30 ml catiónico sulfato de aluminio							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos
0.1	10920	7,7	26340	13180	271	4370	5
0.2	8420	7,7	25800	12880	264	4670	0
0.3	11950	7,6	26420	13210	398	6140	0

0.4	9450	7,7	26390	13180	355	6120	0
40ml catiónico sulfato de aluminio							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos
0.1	10590	7,5	27130	13500	299	509	0
0.2	10330	7,5	26570	13300	289	408	0
0.3	10400	7,5	25900	12960	426	5720	0
0.4	10190	7,6	26550	13280	317	4560	0
50ml catiónico sulfato de aluminio							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos
0.1	17110	7,5	25670	11840	244	4000	0
0.2	16310	7,6	26260	13140	283	4630	0
0.3	15340	7,5	26230	13100	351	5090	0
0.4	14910	7,6	23980	12000	333	4540	0
60ml catiónico sulfato de aluminio							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos
0.1	16680	7,5	26460	13480	476	5750	0
0.2	16120	7,4	27500	13750	702	8610	0
0.3	15260	7,4	26550	13500	421	6100	0
0.4	15840	7,5	27530	13750	465	6830	0
70ml catiónico sulfato de aluminio							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos
0.1	15350	7	27210	13480	448	6430	4
0.2	15220	7	27720	13750	413	6350	37
0.3	15600	7	27270	13500	483	7060	9
0.4	15490	7,1	26990	13750	404	6030	64

80ml catiónico sulfato de aluminio							
	DQO	pH	Conductividad	Sólidos Disueltos	Turbidez	Color	Nitratos
0.1	14510	7,8	27070	13460	363	5630	109
0.2	14270	8,2	26350	13190	223	6310	0
0.3	10640	8	24240	12170	307	5350	0
0.4	14980	8	27280	13710	361	6230	0

En la tabla 13 en general todos los parámetros varían con los distintos valores probados, pero al fijarse en el DQO los 30 ml de sulfato de aluminio con 0,2 gr de polímero catiónico da los mejores resultados.

4.4 Análisis estadístico de los resultados

Con el análisis de varianza, se conoce si las medias son diferentes entre sí, alfa es la parte del porcentaje que está fuera de la zona fiable para una prueba estadística (Sawyer, 2009).

4.4.1 DQO

La distribución no es normal porque el valor de "p" es de 0,001 menor a alfa parámetro DQO tanto para el volumen como para los precipitantes y polímeros, el valor para volumen el factor (F) es 24 y para precipitantes y polímeros el factor (F) es 275,4

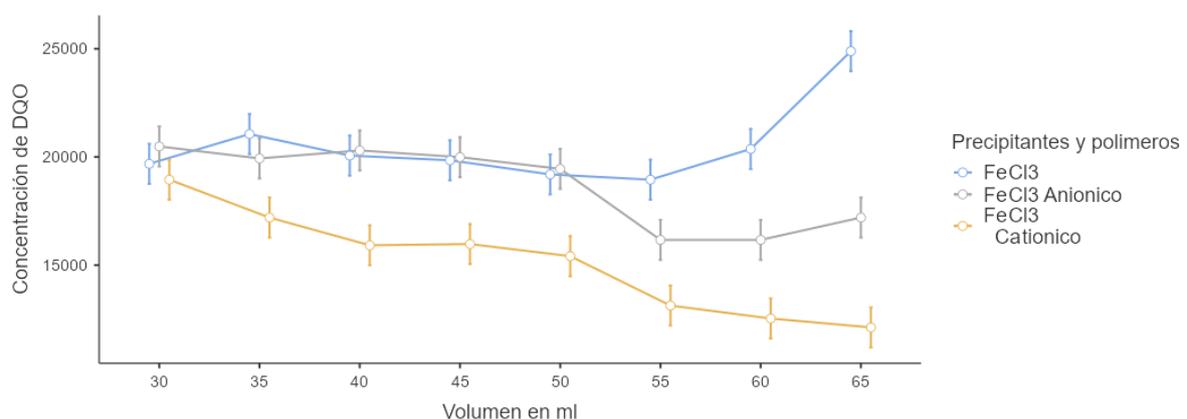


Figura 5 Medias marginales estimadas de DQO con cloruro férrico más polímeros aniónico y catiónico

Se observa claramente en la figura 5 un cambio en la concentración de los precipitantes con sus polímeros en distintos volúmenes, se pudo observar que el precipitante con el polímero óptimo, para

DQO, referente a sus medias fue el cloruro férrico con polímero catiónico, específicamente con el volumen de 65 ml.

En la figura 6 tenemos una distribución normal ya que el valor de p en la variable volumen y precipitantes y polímeros es menor el alfa de 0,05.

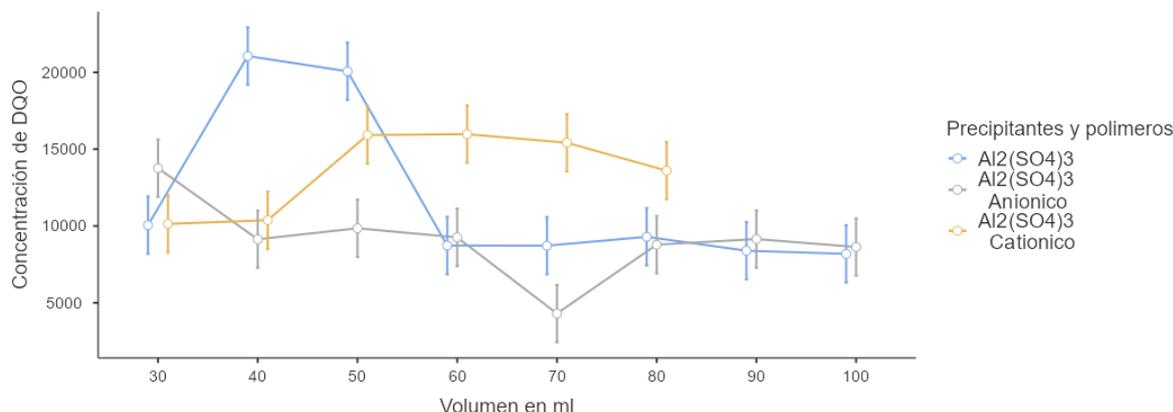


Figura 6 Medias marginales estimadas de DQO con sulfato de aluminio más polímeros aniónico y catiónico.

En la figura 6 se puede observar cómo se da un cambio notorio dependiendo del precipitante con polímero usado, la mejor remoción de DQO se da con la aplicación de sulfato de aluminio con polímero aniónico en 70 ml.

Tabla 12 Valores óptimos referente DQO

Precipitante y polímero	Volumen ml	Peso de polímero (gr)	Concentración de DQO mg/l
FeCl ₃ Catiónico	65	0,1	12400
FeCl ₃ Catiónico	65	0,2	12320
FeCl ₃ Catiónico	65	0,3	11990
FeCl ₃ Catiónico	65	0,4	11780
Al ₂ (SO ₄) ₃ Aniónico	70	0,1	4960
Al ₂ (SO ₄) ₃ Aniónico	70	0,2	4240
Al ₂ (SO ₄) ₃ Aniónico	70	0,3	4150
Al ₂ (SO ₄) ₃ Aniónico	70	0,4	3860

La tabla 12, fue elaborada con los mejores resultados de las figuras 5 y 6, se puede observar el peso utilizado de polímero para las pruebas de jarras, se puede verificar que el resultado óptimo se dio con 70 ml de sulfato de aluminio y 0,4 gr de polímero aniónico con un valor de DQO de 3860 mg/l esto significa la disminución del 43% en la concentración así mismo según (Méndez et al., 2004) tras varios ensayos de pruebas de jarras para los coagulantes metálicos sulfato de aluminio y cloruro férrico usados al 1 %, con dosis; desde 50 a 300 mg/l de 50 en 50 y de 2 a 12 mg/l de 2 en 2 con polielectrolitos, consiguió una eficiencia de disminución de DQO máxima de un 46.9% lo que genera unos rangos de dosis óptimas equivalentes a los conseguidos en esta investigación.

4.4.2 PH

A continuación, se realiza dos figuras de las medias marginales del parámetro físico químico pH, referente a los resultados de las pruebas de jarras, primero la figura 7 para cloruro férrico y sus polímeros y segundo la figura 8 para el sulfato de aluminio y sus polímeros ya que el valor de “p” es de 0.001 menor a alfa en las dos figuras para el factor volumen y el factor precipitantes y polímeros.

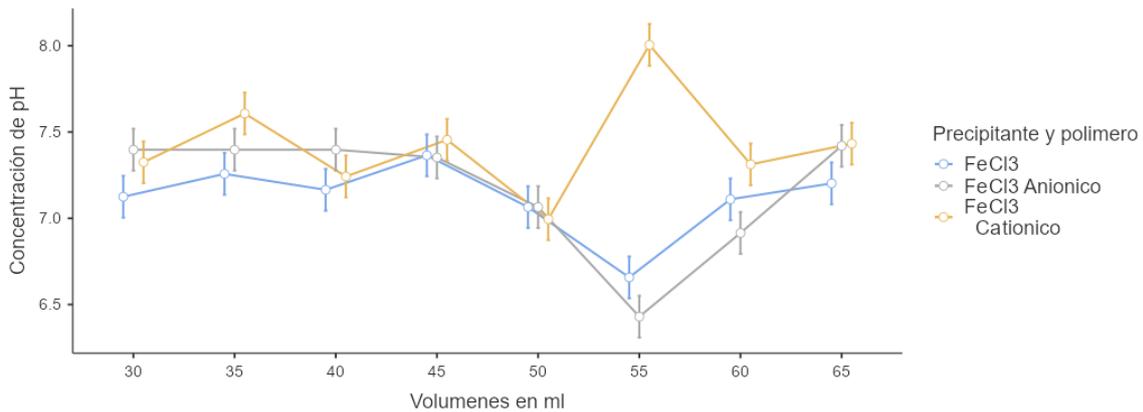


Figura 7 Medias marginales estimadas de pH con cloruro férrico más polímeros aniónico y catiónico

En la figura 7 se observa el comportamiento de los precipitantes y los polímeros en donde el mejor resultado da con cloruro férrico aniónico específicamente con 55 ml de volumen.

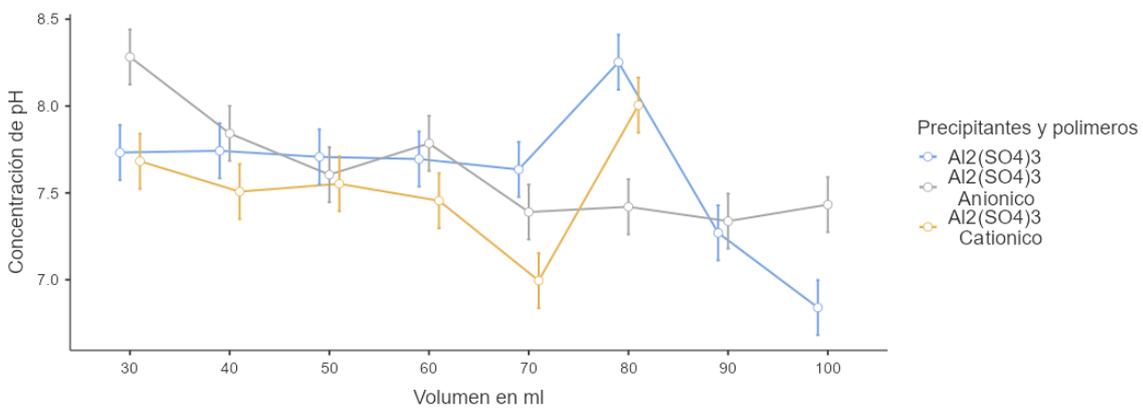


Figura 8 Medias marginales estimadas de pH con sulfato de aluminio más polímeros aniónico y catiónico

Como se observa en la figura 8 la dosis que generó mayor disminución de pH, fue el sulfato de aluminio con 100 ml de volumen con una concentración de pH menor a 7.

Tabla 13 Dosis óptimas para pH

Precipitante y polímero	Volumen ml	Peso de polímero (gr)	Concentración de pH
FeCl ₃ Aniónico	55	0,1	6,43

FeCl ₃ Aniónico	55	0,2	6,45
FeCl ₃ Aniónico	55	0,3	6,37
FeCl ₃ Aniónico	55	0,4	6,47
Al ₂ (SO ₄) ₃	100	1	6,72
Al ₂ (SO ₄) ₃	100	2	6,86
Al ₂ (SO ₄) ₃	100	3	6,88
Al ₂ (SO ₄) ₃	100	4	6,9

El valor óptimo de la tabla 13 de pH registrados se dan con cloruro férrico con un volumen de 55 ml con un peso de 0,3 gr de polímero aniónico y una concentración de pH de 6,73, es importante reconocer el efecto del pH sobre el tratamiento de coagulación, en cuanto a la disminución de concentración de parámetros físicos químicos, como se muestra en el estudio realizado por (Hamidi et al., 2007) quienes prepararon el cloruro férrico con 50 gr de coagulante en 1 litro de agua desionizada, eliminando el 95 % de los sólidos suspendidos a pH 4 en comparación con menos del 38 % a pH 6, referente al color eliminó el 93% de concentración a pH 4, mientras que las remociones fueron de 68 y 25% a pH 12 y 6, respectivamente. Además, el cloruro férrico eliminó el 48, 25 y 17 % de DQO a pH 4, 12 y 6, respectivamente, cabe recalcar que en estos casos el pH sumamente bajo, afectó seriamente en la disminución de la concentración de los parámetros físico químicos reduciéndolo en mayor medida.

4.4.3 Conductividad

La distribución las pruebas para conductividad con cloruro de férrico da como resultado para volumen el factor (F) es 14,3 y para precipitantes y polímeros el factor (F) es 24,2 en el caso de estas dos variables tomadas el valor p es menor a alfa por lo que la distribución no es normal.

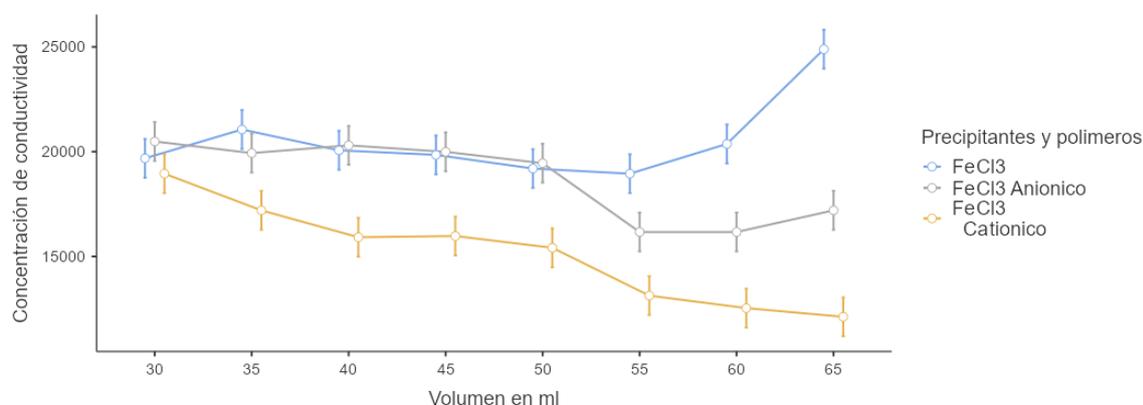


Figura 9 Medias marginales estimadas de conductividad con cloruro férrico más polímeros aniónico y catiónico

En la figura 9 se muestra el comportamiento de las distintas dosis de precipitante químico con

sus polímeros. Específicamente con cloruro férrico catiónico podemos ver que mientras sube esta dosis, disminuye la concentración de la conductividad resultando la mejor dosis con un volumen de 65 ml.

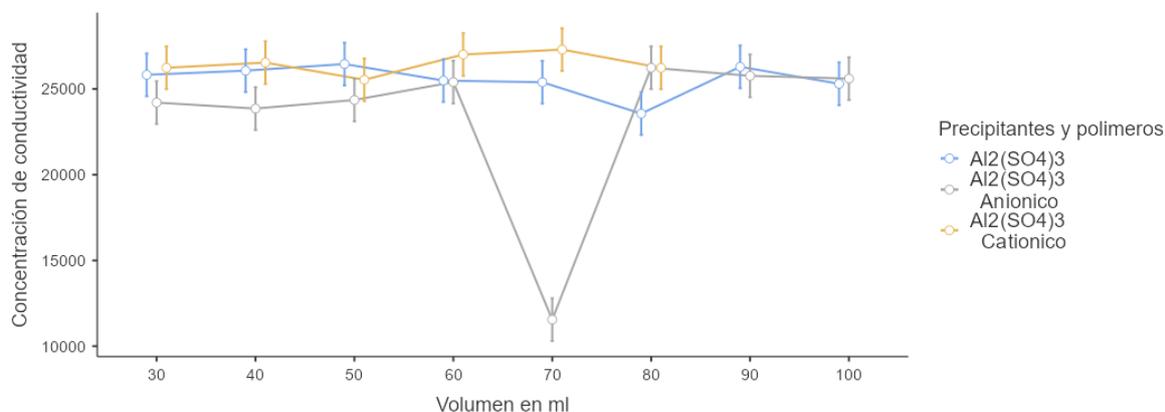


Figura 10 Medias marginales estimadas de conductividad con sulfato de aluminio más polímeros aniónico y catiónico

En la figura 10 se aprecia que en el volumen 70 hay un gran cambio en el comportamiento de la gráfica exactamente con sulfato de aluminio con polímero aniónico, en donde la concentración de la conductividad está por debajo de los 15000 us.

Tabla 14 Dosis óptimas para concentración de conductividad

Precipitante y polímero	Volumen ml	Peso de polímero (gr)	Concentración de conductividad
FeCl ₃ Catiónico	65	0,1	25260
FeCl ₃ Catiónico	65	0,2	25530
FeCl ₃ Catiónico	65	0,3	25970
FeCl ₃ Catiónico	65	0,4	25650
Al ₂ (SO ₄) ₃ Aniónico	70	0,1	12070
Al ₂ (SO ₄) ₃ Aniónico	70	0,2	11470
Al ₂ (SO ₄) ₃ Aniónico	70	0,3	11390
Al ₂ (SO ₄) ₃ Aniónico	70	0,4	11260

Se muestra en la tabla 14 que la dosis óptima se da con sulfato de aluminio a 70 ml, con 0,4 gr de polímero aniónico que fue de 11260 $\mu\text{s}/\text{cm}$ disminuyendo la concentración en un 38%.

4.4.4 Sólidos disueltos

Para las pruebas de la variable solidos disueltos con el uso de cloruro férrico el factor de (F) para volumen es 19,1, para precipitantes y polímeros es 33,3 y el valor de (p) en ambos casos es menor que alfa, disposición no normal.

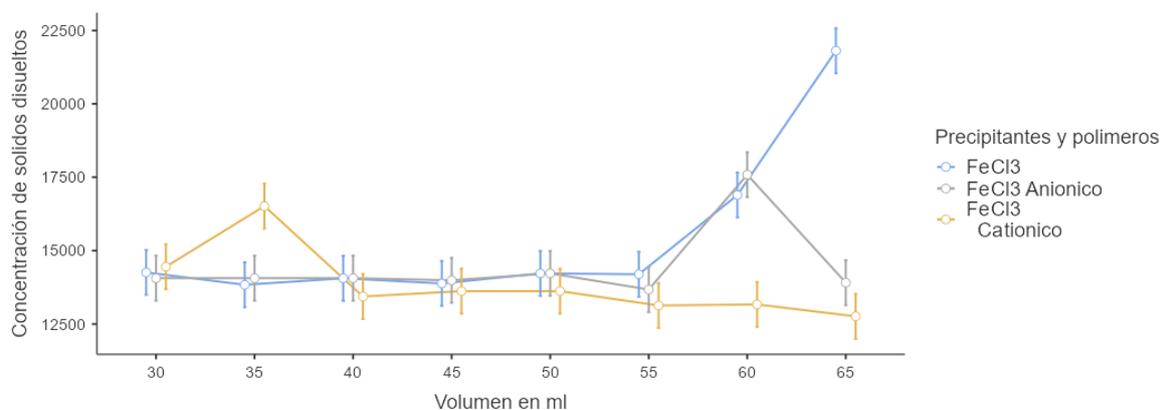


Figura 11 Medias marginales estimadas de solidos disueltos con cloruro férrico más polímeros aniónico y catiónico.

En la figura 11 se aprecia que la mejor dosis se da con 65 ml de cloruro férrico y polímero catiónico.

Para el uso del precipitante sulfato de aluminio en las distintas pruebas el factor (p) es menor que alfa por lo que la distribución no es normal.

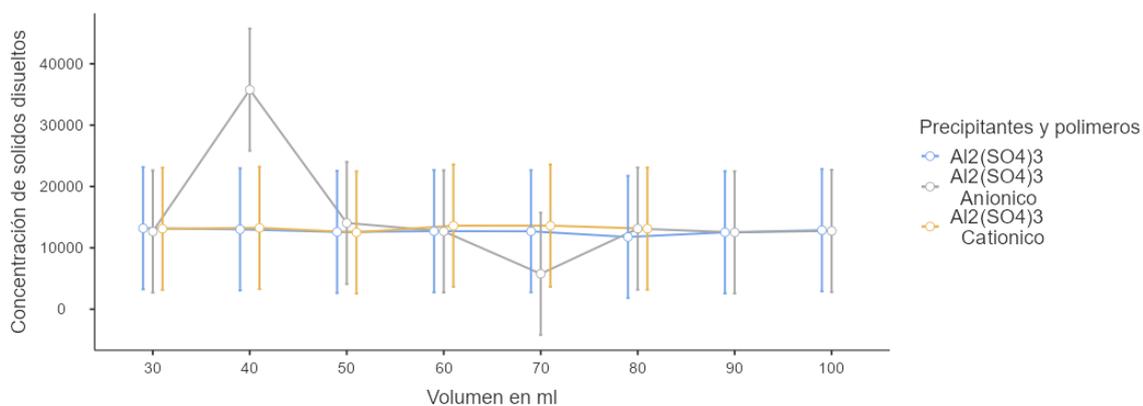


Figura 12 Medias marginales estimadas de solidos disueltos con sulfato de aluminio más polímeros aniónico y catiónico.

En la figura 12 se observa como el comportamiento de las dosis de precipitante y polímero es similar y sigue un curso parecido, a excepción del sulfato de aluminio con polímero aniónico que con 70 ml presenta mejor resultado.

Tabla 15 Mejor dosificación para solidos disueltos

Precipitante y polímero	Volumen ml	Peso de polímero (gr)	Valor Numérico
FeCl ₃ Catiónico	65	0,1	12580

FeCl ₃ Catiónico	65	0,2	12740
FeCl ₃ Catiónico	65	0,3	12970
FeCl ₃ Catiónico	65	0,4	12760
Al ₂ (SO ₄) ₃ Aniónico	70	0,1	6030
Al ₂ (SO ₄) ₃ Aniónico	70	0,2	5740
Al ₂ (SO ₄) ₃ Aniónico	70	0,3	5700
Al ₂ (SO ₄) ₃ Aniónico	70	0,4	5620

Los resultados óptimos de las figuras 11 y 12 están en la tabla 15, el mejor resultado de concentración de sólidos disueltos es de 5620 mg/l, con un volumen de 70 ml de sulfato de aluminio y la dosis óptima esta con 0,4 gr de polímero aniónico disminuyendo la concentración en un 38%.

(Tunc, 2020) realizó pruebas para lixiviados similares a las de este trabajo con los mismo precipitantes químicos pero con diferentes valores de pH, la mejor eficiencia de remoción se logró al pH inicial de 5, a este pH, las eficiencias de remoción con cloruro férrico para DQO, sólidos suspendidos y turbidez fueron 82%, 99% y 99%, respectivamente y 72%, 98% y 98,5%, respectivamente con sulfato de aluminio, la dosis óptima se determinó en 500 mg/L para ambos coagulantes, y para este trabajo hay resultados similares tomando en cuenta que nuestro pH era superior a 6 en todos los casos, y que el uso de polímero aniónico ayudo en gran medida la disminución de la concentración del parámetro físico químico del lixiviado.

4.4.5 Turbidez

La distribución no es normal para el uso del precipitante cloruro férrico en sus distintas pruebas debido a que el valor del factor (p) tanto para volumen, como para precipitantes y polímeros es menor que alfa de 0,05.

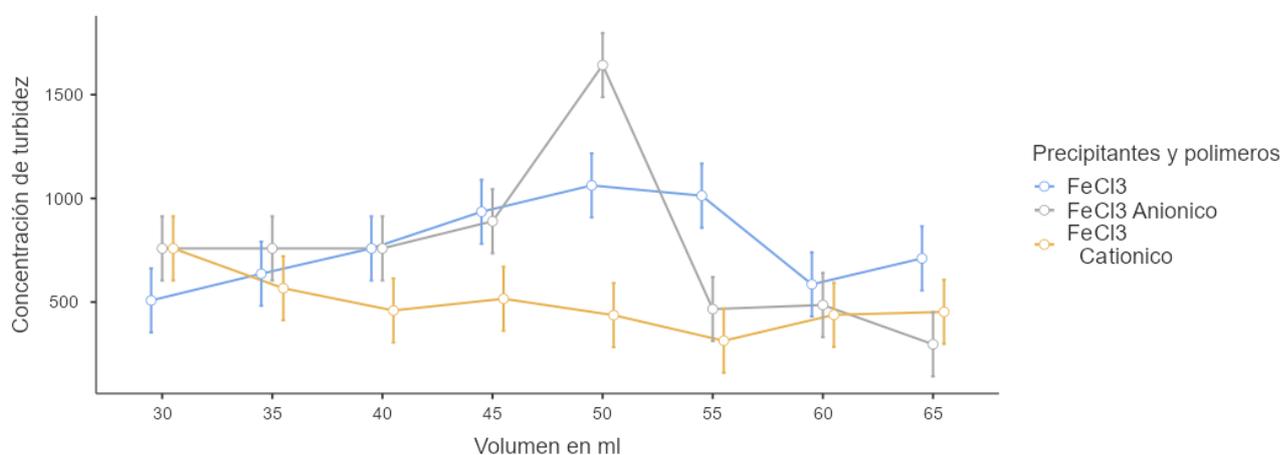


Figura 13 Medias marginales estimadas de turbidez con cloruro férrico más polímeros aniónico y catiónico

Se puede observar en la figura 13 como la dosis óptima se da con 65 ml de cloruro férrico con

polímero aniónico.

La distribución para la gráfica 14 es normal en cuanto a los precipitantes y polímeros ya que el factor (p) es de 0,511 que es mayor a alfa de 0,05, en cuanto al factor de volumen la suma de sus cuadrados es 0.

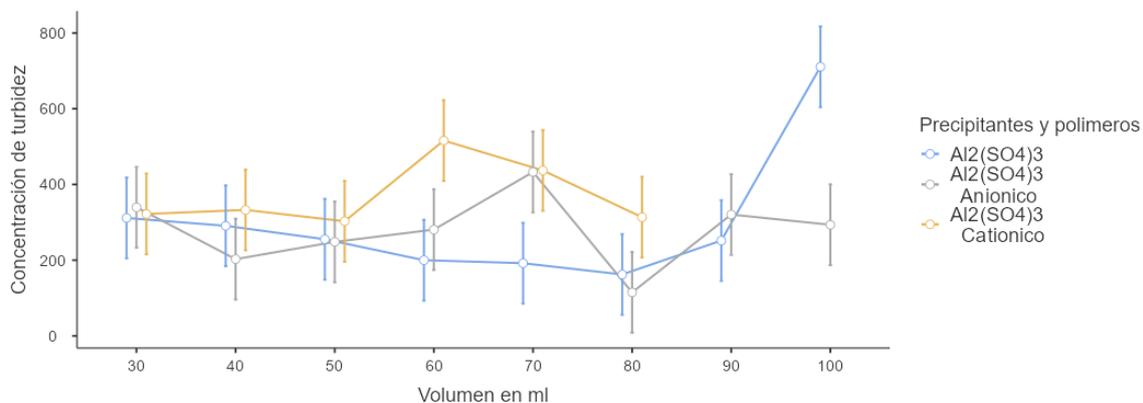


Figura 14 Medias marginales estimadas de turbidez con sulfato de aluminio más polímeros aniónico y cationico.

Según la figura 14 las dosis óptimas se obtuvieron con sulfato de aluminio aniónico a un volumen de 80 ml.

Tabla 16 Dosis óptimas para turbidez

Precipitante y polímero	Volumen ml	Peso de polímero (gr)	Concentración para turbidez
FeCl ₃ Aniónico	65	0,1	226
FeCl ₃ Aniónico	65	0,2	372
FeCl ₃ Aniónico	65	0,3	237
FeCl ₃ Aniónico	65	0,4	351
Al ₂ (SO ₄) ₃ Aniónico	80	0,1	114
Al ₂ (SO ₄) ₃ Aniónico	80	0,2	140
Al ₂ (SO ₄) ₃ Aniónico	80	0,3	93
Al ₂ (SO ₄) ₃ Aniónico	80	0,4	113

En la tabla 16 se muestra que la dosis óptima se dio con 80 ml de sulfato de aluminio con 0,3 gr de polímero aniónico.

Según (Djeffal et al., 2019) para un tratamiento de coagulación, floculación para lixiviados del vertedero de Souk-Ahras, se probó coagulantes como (cloruro férrico, sulfato de aluminio), la reducción máxima de la turbidez se obtuvo con dos coagulantes en dosis del 15%, con sulfato de aluminio, que lo redujo en un 99,4% y para cloruro férrico que redujo un 98% y para promover la formación de flóculos se añadió gotas de solución de NaOH mientras se agitaba, en este trabajo se utilizó un menor porcentaje de coagulante y se obtuvo resultados de remoción superiores al 70%.

4.4.6 Color

Es este caso para el uso de cloruro férrico en sus distintas pruebas, el factor (F) para volumen es de 9,68 y para precipitantes y polímeros el factor (F) es de 25,10, el valor de (p) para ambos casos es menor que alfa con su distribución anormal.

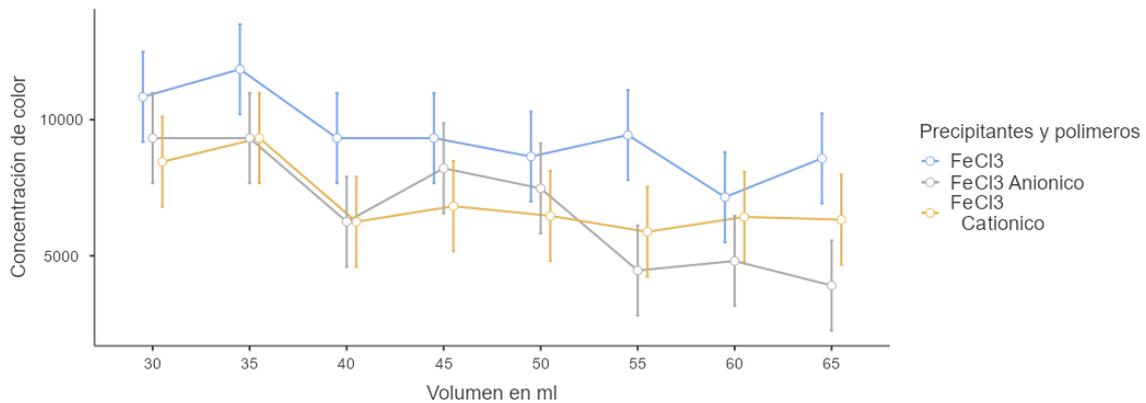


Figura 15 Medias marginales estimadas de color con cloruro férrico más polímeros aniónico y catiónico

Podemos observar que el valor óptimo en la figura 15 se da con 65 ml cloruro férrico con polímero aniónico.

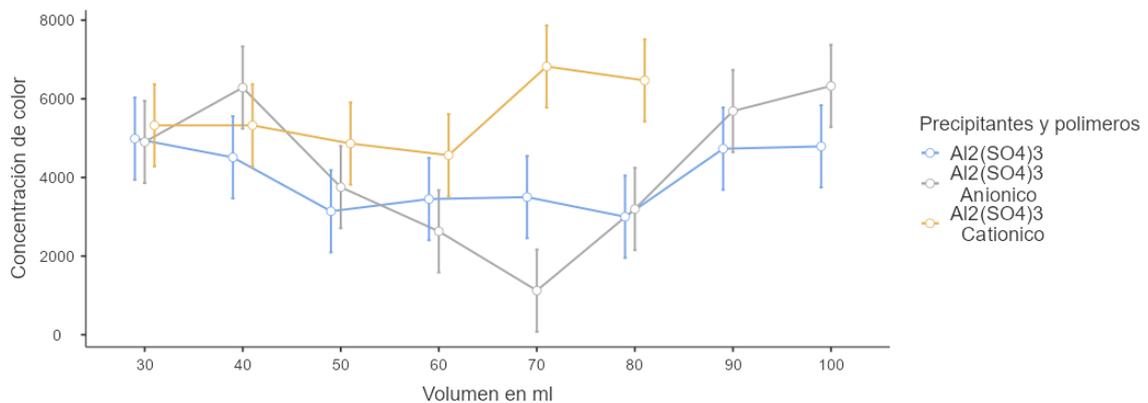


Figura 16 Medias marginales estimadas de color con sulfato de aluminio más polímeros aniónico y catiónico.

En la figura 16 se muestra que la dosis óptima está con 70 ml de sulfato de aluminio con polímero aniónico

Tabla 17 Mejores dosis para concentración de color

Precipitante y polímero	Volumen ml	Peso de polímero (gr)	Valor Numérico
FeCl3 Anionico	65		4000
Al2(SO4)3 Anionico	70		1000

FeCl ₃ Aniónico	65	0,1	3320
FeCl ₃ Aniónico	65	0,2	3030
FeCl ₃ Aniónico	65	0,3	3060
FeCl ₃ Aniónico	65	0,4	6220
Al ₂ (SO ₄) ₃ Aniónico	70	0,1	1140
Al ₂ (SO ₄) ₃ Aniónico	70	0,2	1140
Al ₂ (SO ₄) ₃ Aniónico	70	0,3	1050
Al ₂ (SO ₄) ₃ Aniónico	70	0,4	1160

Fuente: Autoría propia

La tabla 17 muestra que el valor de concentración menor que se presenta con 70 ml de sulfato de aluminio con 0,3 gr de polímero aniónico.

4.4.7 Nitratos

Referente a el uso del cloruro férrico en las pruebas de la figura 17, tanto el volumen como los precipitantes y polímeros tienen un factor (p) menor a alfa lo que significa que la distribución no es normal.

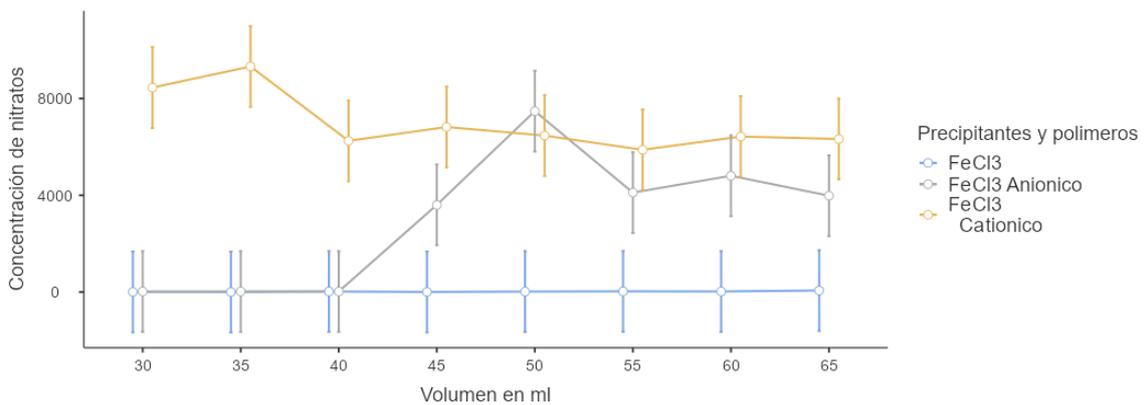


Figura 17 Medias marginales estimadas de nitratos con cloruro férrico más polímeros aniónico y catiónico.

En la figura 17 se observa que las mejores dosis se obtuvieron con el precipitante cloruro férrico sin polímero debido a que se mantuvieron en cero.

En este caso para las pruebas con sulfato de aluminio en la figura 18, la distribución no es normal debido a que el factor (p) es menor que alfa.

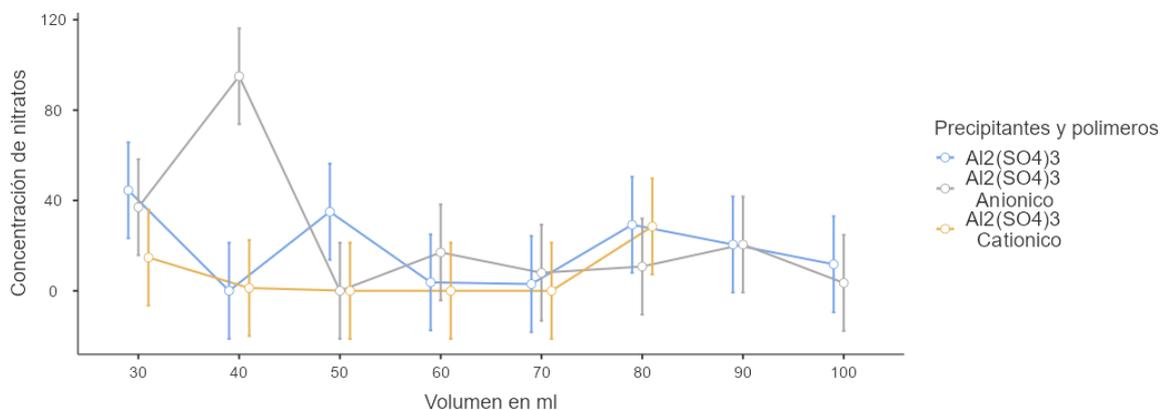


Figura 18 Medias marginales estimadas de nitratos con sulfato de aluminio más polímeros aniónico y catiónico.

En la figura 18 los mejores resultados se obtuvieron con el precipitante sulfato de aluminio con el polímero catiónico.

Si comparamos las figuras 17 y 18 el mejor resultado fue con el precipitante químico cloruro férrico, pues presenta la mayoría de concentraciones de nitrato en cero.

Para elegir uno de estos parámetros (Vilar et al., 2015) afirma que, en el vertedero de residuos sólidos en Coruña, para tratar integralmente los lixiviados, tomó la DQO como punto crítico para conocer la remoción de contaminación, debido a que es la medida de la concentración de la materia orgánica presente en una muestra de agua, en sus ensayos el mejor porcentaje de reducción de DQO fue del 43% para dosis del precipitante químico ClFe₃.

Según (Thaldiri et al., 2013) afirma usar como parámetro crítico la DQO para tratar un lixiviado mediante el método de Coagulación-Floculación con micro arena modificada en el relleno sanitario de Pulau Burung ubicado en Penang, debido a que la DQO permite medir la materia orgánica degradable y no degradable, su mejor alcance de remoción de DQO fue el 52 % usando cloruro de poli aluminio (PAC) y polímero catiónico.

Según (Hurairah et al., 2021) para un tratamiento de coagulación, floculación del lixiviado en una planta de tratamiento en Malasia, se tomó como los 3 parámetros principales para medir la disminución de contaminación la DQO, nitrógeno amoniacal y color. Con la combinación del método de precipitación de estruvita y coagulación-floculación, dio como resultado un porcentaje de remoción de DQO 48.6%, NH₃-N 92.8% y color 98.8%, en este trabajo la DQO fue el valor más importante tomado por este estudio.

En el relleno sanitario de la ciudad de Chihuahua, México, el lixiviado paso por un tren de tratamiento constituido por: a) procesos de coagulación, floculación, sedimentación; b) adsorción con carbón activado; c) oxidación química y d) membranas de ósmosis inversa, para disminuir la DQO

alcanzando remociones totales, después del tren completo de tratamiento para DQO del 92%, para DBO₅ fue 68%, para nitrógeno total fue 63%, para ST fue 46% y para SDT fue 45%(Chávez, 2016) lo que demuestra que es necesario otros tratamiento para aumentar el porcentaje de remoción de contaminantes en el lixiviado. Por estas investigaciones, sabemos que la DQO se puede usar para medir el decrecimiento de concentración de materia orgánica en la muestra y es comúnmente usada como parámetro de referencia para medir la eficiencia del tratamiento coagulación floculación.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES

- Se analizaron los parámetros físico químicos más importantes para el lixiviado, se estableció una línea base sobre la cual reconocer las variaciones del mismo, los valores son típicos de un lixiviado, para DQO (8530 mg/l O₂) para nitratos (55 ppm) para pH (7,81 pH) para conductividad (18140 uS/cm) para turbidez (345 NTU) se presenta una gran presencia de contaminación por lo cual fue muy necesario la aplicación de un tratamiento físico químico.
- En cuanto a los resultados el tratamiento óptimo fue para DQO 3860 mg/l, con 70 ml de sulfato de aluminio y 0,4 gr de polímero aniónico, lo que significa la disminución del 43% de la concentración, para pH el valor fue de 6,73, que se obtuvo con 55 ml de cloruro férrico, con un peso de 0,3 gr de polímero aniónico. En cuanto a la conductividad el mejor resultado fue de 11260 µS/cm, con 70 ml de sulfato de aluminio y 0,3 gr de polímero aniónico, lo que representa un 38% de remoción de concentración. En lo referente a los sólidos disueltos la menor concentración fue de 5620 mg/l, con 70 ml de sulfato de aluminio y 0,4 gr de polímero aniónico lo que es un 38% en cuanto a remoción de sólidos disueltos. Referente a los

resultados de turbidez el mejor resultado fue de 93 NTU disminuyendo un 73% de concentración, que se obtuvo con 80 ml de sulfato de aluminio con 0,3 gr de polímero aniónico. Para color el valor optimo obtenido fue de 1050 UC con 70 ml de sulfato de aluminio con 0,3 gr de polímero aniónico. Y en lo referente a nitrato el mejor resultado nos dio con el precipitante químico cloruro férrico pues presenta en casi todas las dosis con esta precipitante concentración iguales a cero.

- En la mayoría de casos el precipitante químico que mejor resultados mostró fue el sulfato de aluminio con polímero aniónico específicamente para: DQO, conductividad y sólidos disueltos; que logró una disminución del 43%, 38% y 38% respectivamente con 70 ml del precipitante y 0,4 gr del polímero aniónico. Se tomó la DQO como parámetro más importante para este método de tratamiento llamado coagulación, floculación usando precipitantes químicos y polímeros, se logró un resultado muy positivo en cuanto a la remoción de concentración de los parámetros físico químicos del lixiviado por lo que es conveniente su uso para tratar lixiviados.

CAPÍTULO VI

6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda para futuras investigaciones probar además del tratamiento de coagulación floculación, otros tratamientos de lixiviado como: adsorción por carbón activado u oxidación química, para así lograr un mayor porcentaje de disminución de concentraciones de parámetros físico químicos del lixiviado que es un reflejo de la contaminación del mismo.
- Una buena iniciativa sería proponer al relleno sanitario de Pichacay la aplicación de $Al_2(SO_4)_3$ y polímero aniónico en una planta de tratamiento para lixiviados, ya que basado en este estudio, dio buen resultado.
- Otra recomendación importante es que, para un futuro estudio, investigar porque el $Al_2(SO_4)_3$ con polímero aniónico resulta tan eficaz para el tratamiento de lixiviado y compararlo con la aplicación en otros líquidos contaminados como aguas de camal o aguas con presencia de hidrocarburos.

CAPÍTULO VII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alasino, N. (2009). *Síntesis y diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales*. 265. <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/119/tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Álvarez-Contreras, A., & Suárez-Gélvez, J. H. (2016). Tratamiento biológico de lixiviados de rellenos sanitarios. *Respuestas*, 11(1), 24–32. <https://doi.org/10.22463/0122820x.627>
- Andrade. (2014). *Tesis doctoral tratamiento de aguas residuales mediante la combinación de técnicas avanzadas de oxidación y biofiltros*.
- Borja, X., & Almeida, C. (2015). *Evaluación del uso de polímeros en la concentración de biomasa en un reactor de lodos activados*. 212. <https://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/ccw/climate-change-water-sp.pdf>
- Cando, C., Salazar, D., & Muñoz, J. (2021). *Boletín técnico N°-XX-Año-OE. Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales*.
- Chávez, W. (2016). Tratamiento de lixiviados generados en el relleno sanitario de la Cd. de Chihuahua, Méx. *CENTRO DE INVESTIGACION EN MATERIALES AVANZADOS Tratamiento*, 111. <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/858/1/WendyMargaritaChavezMontesMCTA.pdf>
- Conto, O. A., & Tipán, D. J. (2018). Evaluación del comportamiento hidráulico de los lixiviados de la fase norte I del relleno sanitario de Cuenca. *Universidad Del Azuay*, (pp. 1-162).
- Corena. (2008). *Sistemas de tratamientos para lixiviados generados en rellenos sanitarios*.
- Djeffal, K., Bouranene, S., Fievet, P., Déon, S., & Gheid, A. (2019). Treatment of controlled discharge leachate by coagulation-flocculation: influence of operational conditions. *Separation Science and Technology*, 56(1), 168–183. <https://doi.org/10.1080/01496395.2019.1708114>
- E. Martel et al. (2022). Gestión de residuos sólidos y la cultura ambiental en el distrito de Ate. *Tecnohumanismo*, 2(2022), 22.
- Flores-Ruiz, E., Miranda-Novales, M. G., & Villasís-Keever, M. Á. (2017). El protocolo de investigación VI: cómo elegir la prueba estadística adecuada. *Estadística inferencial. Revista Alergia México*, 64(3), 364. <https://doi.org/10.29262/ram.v64i3.304>
- Fúquene, D. M., & Yate, A. V. (2018). Ensayo de jarras para el control del proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales. *Ecapma*, 1(1), 1–7. <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/workpaper/article/view/2771/2857>
- Giraldo, E. (2022). *TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DE RELLENOS SANITARIOS: AVANCES RECIENTES*.
- Gómez, E. (2018). Afectaciones Ambientales De Los Lixiviados Generados En Los Rellenos Sanitarios Sobre El Recurso Agua. *Tesis de Especialización En Quimicá Ambiental*,

- Universidad Industrial de Santander*, 1–99.
<http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2018/173184.pdf>
- Hamidi, A. A., Alias, S., Assari, F., & Adlan, M. N. (2007). The use of alum, ferric chloride and ferrous sulphate as coagulants in removing suspended solids, colour and COD from semi-aerobic landfill leachate at controlled pH. *Waste Management and Research*, 25(6), 556–565.
<https://doi.org/10.1177/0734242X07079876>
- Hanani, N., & Halim, A. A. (2013). Coagulation-flocculation in leachate treatment using modified micro sand. *AIP Conference Proceedings*, 1571(2013), 518–523.
<https://doi.org/10.1063/1.4858707>
- Hurairah, S. N., Halim, A. A., & Aziz, N. A. (2021). Stabilized leachate treatment by using combination of struvite precipitation and coagulation-flocculation methods: RSM optimization. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 646(1).
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/646/1/012026>
- Laines. (2008). *Mezclas con potencial coagulante para tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario*. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442008000100006
- Lee, Daud, A. (2012). Coagulation-Flocculation In Leachate Treatment Using Combination Of PAC With Cationic And Anionic Polymers. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, 2(4), 1935–1940. www.ijera.com
- Márquez, M., & Martínez, S. (2011). Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA's o UASB) Antología. *Centro Tecnológico Aragón*, 31.
- Martínez, A. (2018). Análisis y comparación del manejo ambiental de lixiviados como propuesta para el mejoramiento de sus procesos. Caso de estudio relleno sanitario doña Juana (rsdj) de la ciudad de Bogotá y el relleno sanitario El relleno sanitario La Miel de la ciudad de I. *Alcaldía de Ibagué*. (s.f.). Obtenido de <Http://Www.Ibague.Gov.Co/Portal/Seccion/Contenido/Contenido.Php?Type=3&cnt=118&subtyp e=1&subcnt=249>.
- Martínez Moscoso, A. (2019). “El Nuevo Marco Jurídico En Materia Ambiental En Ecuador. Estudio Sobre El Código Orgánico Del Ambiente. *Actualidad Jurídica Ambiental*, 89(1989-5666 NIPO: 693-19-001-2), 1–32.
- Méndez, Castillo, Sauri, Quintal, Giacoman, & Jiménez. (2004). Tratamiento fisicoquímico de los lixiviados de un relleno sanitario. *Red de Revistas Científicas de América Latina y El Caribe, España y Portugal*, 8(2), 155–163.
http://www.researchgate.net/profile/German_Giacoman_Vallejos/publication/240643188_Tratamiento_fisicoquimico_de_los_lixiviados_de_un_relleno_sanitario/links/543816c60cf2d6698bdd35b7.pdf
- Minitab. (2021). *Getting Started with Minitab Statistical Software*.
- Parthiban, S., & Gajivaradhan, P. (2016). Statistical Hypothesis Test in Three Factor ANOVA Model under Fuzzy Environments Using Trapezoidal Fuzzy Numbers. *Bulletin of Mathematical Sciences and Applications*, 14, 23–42.
<https://doi.org/10.18052/WWW.SCIPRESS.COM/BMSA.14.23>

- PNUMA. (2022). *Gestión Sostenible de residuos Sólidos. Programa de Las Naciones Unidas Para El Medio Ambiente (PNUMA), Subtotal 1*, 310.
- Rea Taris, J. A. (2019). ESTUDIO DE LOS EFECTOS EN LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL EN ALEACIONES DE ALUMINIO 7075T6 AL APLICAR PARÁMETROS DE CORTE Y ESTRATEGIAS DE MECANIZADO EN FRESADO 3D. *Tesis*, 125.
- Rodriguez. (2008). Uso y control del proceso de coagulación en plantas de tratamiento de agua potable. In *UNIVERSIDAD DE SUCRE*.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7130/1/LUZARDO-BUIATRIA-2017.pdf>
- Saah, F. (2015). *CINÉTICA DEL CARBÓN ACTIVADO GRANULAR EN EL TRATAMIENTO DEL LIXIVIADO DEL RELLENO SANITARIO "LOMA DE LOS COCOS" EN LA CIUDAD DE CARTAGENA*.
- Sancha, M. (2013). Caracterización Físico-Química Y Microbiológica De Un Proceso De Tratamiento De Vertedero. *Universidad De Oviedo*, 1–97.
- Sang, Y. M., Gu, Q. B., Sun, T. C., & Li, F. S. (2008). Color and organic compounds removal from secondary effluent of landfill leachate with a novel inorganic polymer coagulant. *Water Science and Technology*, *58*(7), 1423–1432. <https://doi.org/10.2166/wst.2008.446>
- Sawyer, S. F. (2009). Analysis of Variance: The Fundamental Concepts. *Journal of Manual & Manipulative Therapy*, *17*(2), 27E-38E. <https://doi.org/10.1179/jmt.2009.17.2.27e>
- SIGMA. (2021). *Lixiviados: soluciones eficaces para el medio ambiente y tratamientos propuestos por SIGMA*. <https://aguasigma.com/es/articulos-tecnicos/tratamiento-de-lixiviados-en-vertederos>
- Tatsi, A. A., Zouboulis, A. I., Matis, K. A., & Samaras, P. (2003). Coagulation-flocculation pretreatment of sanitary landfill leachates. *Chemosphere*, *53*(7), 737–744.
[https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(03\)00513-7](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(03)00513-7)
- Thaldiri, N. H., & Halim, A. A. (2013). Coagulation-flocculation in leachate treatment using modified micro sand. *AIP Conference Proceedings*, *1571*(2013), 518–523.
<https://doi.org/10.1063/1.4858707>
- Tripathy, B. K., & Kumar, M. (2019). Sequential coagulation/flocculation and microwave-persulfate processes for landfill leachate treatment: Assessment of bio-toxicity, effect of pretreatment and cost-analysis. *Waste Management*, *85*, 18–29. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.12.014>
- Tunc, M. S. (2020). Co-pretreatment of municipal wastewater and landfill leachate by chemical coagulation using ferric chloride and aluminum sulfate. *Gazi University Journal of Science*, *33*(4), 679–688. <https://doi.org/10.35378/gujs.645757>
- Vilar Montesinos, A., & Kennes. (2015). *Evaluación del tratamiento integral del lixiviado de vertedero de residuos sólidos urbanos*.

7. ANEXOS



Anexo 1 Medición de características con el multiparamétrico en la muestra



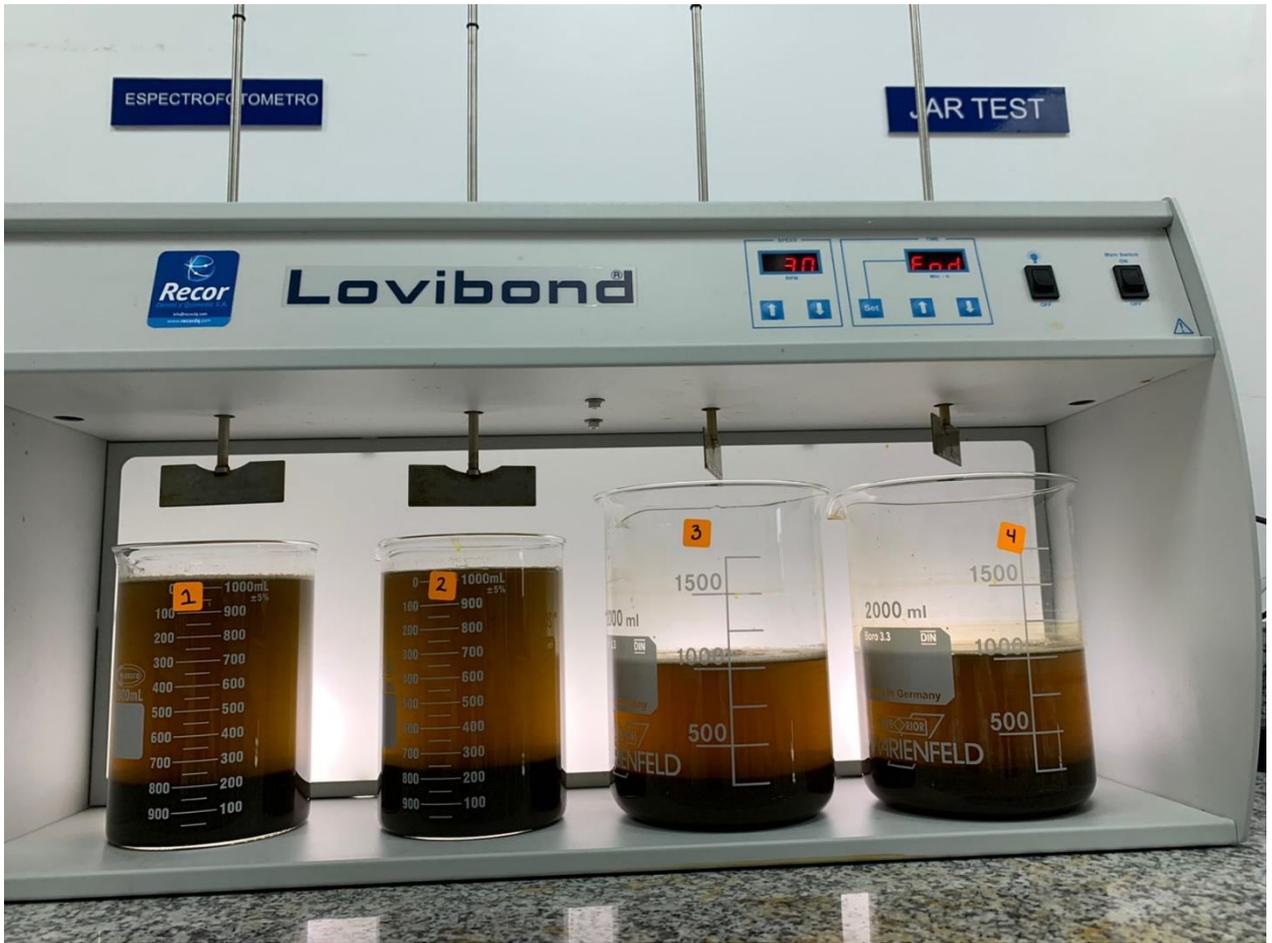
Anexo 2 Muestras de Cloruro Férrico en probetas



Anexo 3 Muestras con adición de Cloruro Férrico en lixiviado



Anexo 4 Muestras de lixiviado con adición de Sulfato de Aluminio



Anexo 5 Muestras de lixiviado 5;6;7;8 con la adición de Cloruro Férrico



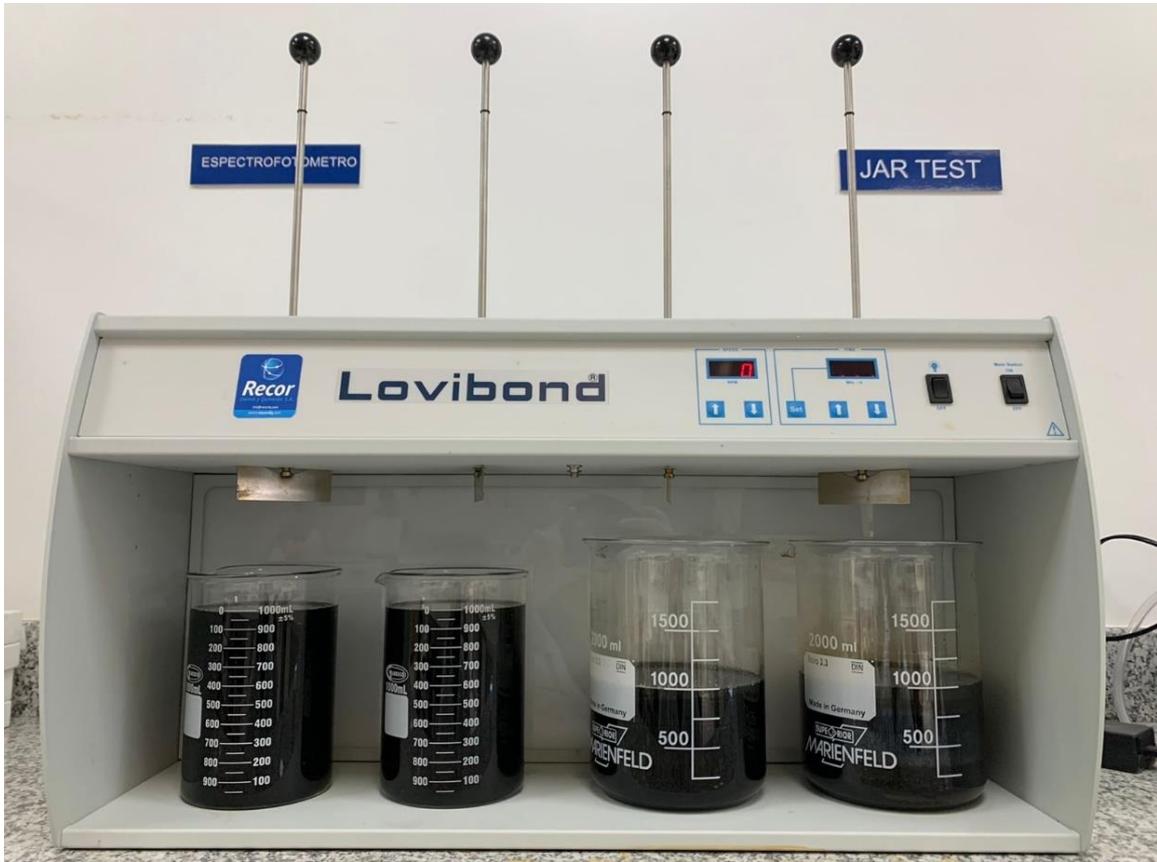
Anexo 6 Muestras de lixiviado con sus cantidades de sulfato de Aluminio respectivas



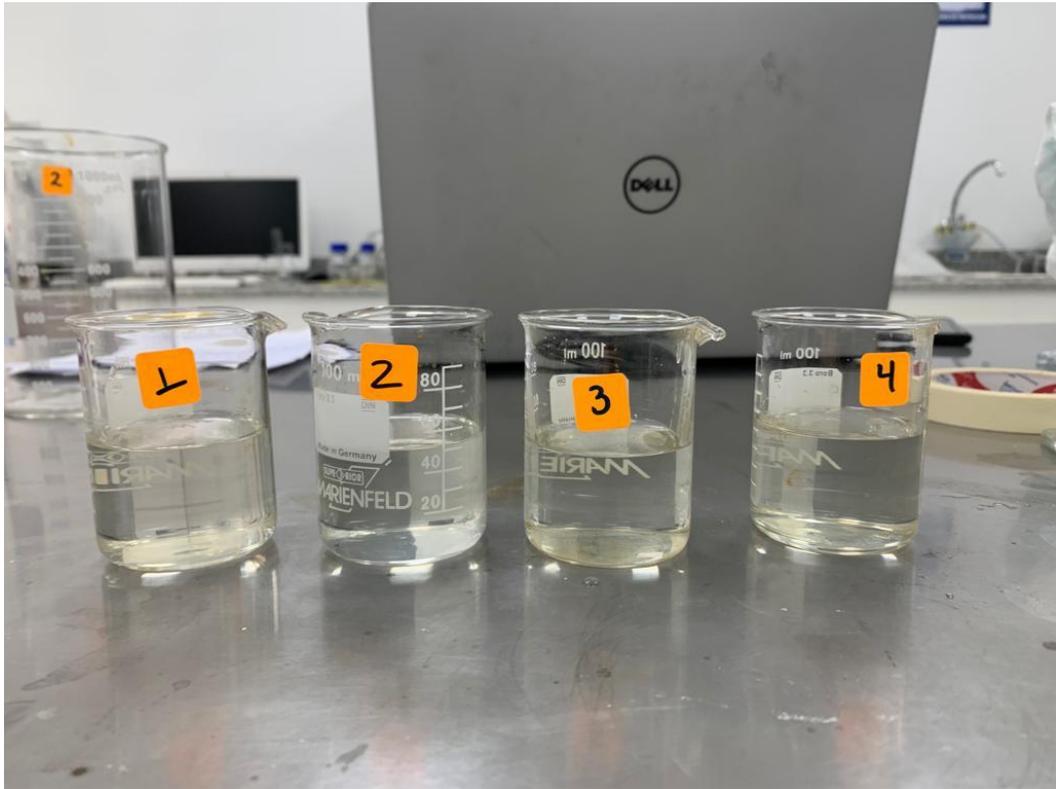
Anexo 7 Muestras con sedimentación después de la prueba del Jar test



Anexo 8 Presencia de espuma en la adición de Sulfato de Aluminio en la muestra 5



Anexo 9 Sedimentación de las pruebas 5;6;7;8 con la presencia de Sulfato de Aluminio



Anexo 10 Muestras de lixiviado diluido con agua destilada para realizar la caracterización del lixiviado

Autorización

Yo, Andrés Felipe Orellana Vásquez, portador(a) de la cédula de ciudadanía N.º 0106368137. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del proyecto de titulación “Evaluación del tratamiento de lixiviados generados en el relleno sanitario Pichacay mediante aplicación de precipitantes químicos y polímeros”, de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos y no comerciales. Autorizo además a la Universidad Católica de Cuenca, para que realice la publicación de este proyecto de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 23/ marzo/ 2023

F:



Andrés Felipe Orellana Vásquez

C.I. 0106368137