

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



TESIS

EFFECTO DE COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS GENERADOS EN LA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL BOTADERO CONTROLADO DE CHACUCHAYOC PATA DE LA LOCALIDAD DE SICUANI – CUSCO

PRESENTADO POR:

Br. JHON QUISPE ARMENDARIZ

Br. ROSMERI MAMANI CHAMPI

PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE BIÓLOGO

ASESORA:

Dr. ISABEL RODRÍGUEZ SÁNCHEZ

COASESOR:

Mg. SANTIAGO ASCHUBAL YNCA NAYRA

CUSCO – PERÚ

2025



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el **Asesor** Dra Isabel Rodriguez Sánchez
 quien aplica el software de detección de similitud al
 trabajo de investigación/tesis titulada: "Efecto de Coagulación y floculación en el
 tratamiento de Lixiviados generados en la disposición final de residuos sólidos
 del botadero Controlado de chacuchayoc para de la localidad de Siwaní -
 Cusco"

Presentado por: Yhen Quispe Armendariz DNI N° 45787418;
 presentado por: Rosmeri Mamani Champi DNI N°: 72842422
 Para optar el título Profesional/Grado Académico de Biólogo

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el
 Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de
 Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 9.....%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 16 de Setiembre de 2025.....

.....
 Firma

Post firma Isabel Rodriguez Sánchez

Nro. de DNI 23963444

ORCID del Asesor 0000-0002-1266-6382

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid:** 27259:499676509

QUISPE ARMENDARIZ - MAMANI CHAMPI

EFFECTO DE LA COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS GENERADOS EN LA DISPOS...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::27259:499676509

Fecha de entrega

16 sep 2025, 8:11 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

16 sep 2025, 8:38 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

EFFECTO DE LA COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS GENERADOSpdf

Tamaño del archivo

3.4 MB

101 páginas

18.219 palabras

101.074 caracteres

9% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 8%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 6%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**
69 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.
-  **Texto oculto**
1 caracteres sospechosos en N.º de página
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

CONTENIDO

RESUMEN.....	I
INTRODUCCIÓN	II
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	IV
JUSTIFICACIÓN	VI
OBJETIVOS	VII
HIPOTESIS.....	VIII
CAPITULO I.....	1
MARCO TEORICO.....	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	4
1.2.1. Lixiviados.....	4
1.2.2. Prueba de Jarras.....	21
CAPITULO II	24
ÁREA DE ESTUDIO	24
2.1. Ubicación.....	24
2.3. Descripción del área de estudio	26
2.4. Accesibilidad	26
2.8. Clima	27
2.9. Precipitación	28
CAPITULO III.....	31
MATERIALES Y MÉTODOS	31

3.1. Materiales.....	31
3.2. Metodología.....	32
3.2.1. Determinación de parámetros físicos, químicos, bacteriológicos y concentraciones de metales en el lixiviado antes del tratamiento de coagulación – floculación.....	33
3.2.2. Determinación del efecto de tratamiento con diferentes concentraciones de coagulante - floculante con Sulfato de Aluminio y Óxido de Calcio en la remoción de turbidez del lixiviado en condiciones de laboratorio.	38
3.2.2.1. Diseño experimental de la investigación.....	38
3.2.3. Determinación de parámetros físicos, químicos, bacteriológicos y metales después del tratamiento con coagulante – floculante en el lixiviado.....	47
CAPITULO IV.....	48
RESULTADOS Y DISCUSION.....	48
<i>4.1. Parámetros físicos, químicos, bacteriológicos y concentración de metales, en el lixiviado antes del tratamiento de coagulación – floculación.</i>	48
4.1.1. Análisis físicos y químicos.....	48
4.1.2. Análisis bacteriológicos	49
4.1.3. Concentración de metales.....	49
<i>4.2. Efecto del tratamiento con diferentes concentraciones de coagulante - floculante en la remoción de turbidez del lixiviado en condiciones de laboratorio.</i>	51
4.2.1. Lectura de turbidez.....	51
4.2.3. Prueba de hipótesis estadística en el proceso de coagulación – floculación.....	53
<i>4.3. Cambios en los parámetros físicos, químicos, bacteriológicos y de metales después del tratamiento con coagulante – floculante en el lixiviado.</i>	60
4.3.1. Parámetros físicos y químicos después de la coagulación –floculación del lixiviado.....	60
4.3.2. Coliformes Termotolerantes y Fecales del Lixiviado después de la coagulación – floculación.	61

4.3.3. Metales Presentes de los lixiviados después de la coagulación – floculación.	61
DISCUSIONES.....	63
CONCLUSIONES	66
RECOMENDACIONES	68
ANEXOS.....	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 <i>Lixiviado del área degradada de Chacuchayoc Pata.</i>	5
Figura 2 <i>Estado inicial del coloide se encuentra estable.</i>	11
Figura 3 <i>Partículas de coloides más la adición de sustancias químicas.</i>	12
Figura 4 <i>Etapas de tratamiento físico – químico.</i>	12
Figura 5 <i>Desestabilización química por un coagulante hacia las partículas presentes en el agua.</i>	13
Figura 6 <i>La coagulación y se refiere al proceso de agrupación de partículas que han sido neutralizadas.</i>	16
Figura 7 <i>Prueba de jarras.</i>	22
Figura 8 <i>Ubicación de la celda de lixiviado del área degradada de Chacuchayoc Pata.</i>	25
Figura 9 <i>Climatodiagrama de la estación meteorológica de Sicuani 2016 – 2022.</i>	29
Figura 10 <i>Diseño experimental de la investigación.</i>	45
Figura 11 <i>Remoción de turbidez del lixiviado.</i>	52
Figura 12 <i>Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.</i>	57
Figura 13 <i>Representación de la prueba de Normalidad.</i>	59

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 <i>Clasificación de lixiviados en áreas degradadas recientes y avanzados.</i>	9
Tabla 2 <i>Límites Máximos Permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.</i>	23
Tabla 3 <i>Ubicación geográfica del área degradada por residuos sólidos de Chacuchayoc Pata - Sicuani.</i>	24
Tabla 4 <i>Accesibilidad del área de estudio.</i>	26
Tabla 5 <i>Datos meteorológicos de Sicuani 2022</i>	28
Tabla 6 <i>Generación de residuos sólidos en la localidad de Sicuani 2022.</i>	30
Tabla 7 <i>Puntos de muestreo y sus volúmenes.</i>	33
Tabla 8 <i>Parámetros y métodos del análisis físicos y químicos.</i>	35
Tabla 9 <i>Detalles de la muestra para los análisis bacteriológicos.</i>	36
Tabla 10 <i>Detalles para el análisis de los metales del lixiviado.</i>	37
Tabla 11 <i>Cuadro de concentraciones de coagulante – floculante.</i>	38
Tabla 12 <i>Numero de repeticiones de pruebas.</i>	39
Tabla 13 <i>Dosificación del coagulante de Sulfato de Aluminio.</i>	40
Tabla 14 <i>Dosificación del Óxido de Calcio.</i>	41
Tabla 15 <i>Caracterización de los parámetros del lixiviado.</i>	48
Tabla 16 <i>Concentración de Coliformes Totales y fecales del lixiviado antes del tratamiento.</i>	49
Tabla 17 <i>Análisis de metales pesados del lixiviado sin tratamiento.</i>	50
Tabla 18 <i>Medición de la turbidez del lixiviado antes del tratamiento de coagulación – floculación.</i>	51
Tabla 19 <i>Medidas de tendencia central y dispersión de la remoción de turbidez según tratamiento propuestos.</i>	53

Tabla 20 <i>Resumen de la prueba de ANOVA de 2 vías.</i>	54
Tabla 21 <i>Prueba Tukey para la concentración de Óxido de Calcio en la remoción de turbiedad.</i>	55
Tabla 22 <i>Prueba Tukey para las concentraciones de Sulfato de Aluminio en la remoción de turbidez.</i>	55
Tabla 23 <i>Prueba Tukey para la interacción de la concentración de Óxido de Calcio y Sulfato de Aluminio en la remoción de turbidez.</i>	56
Tabla 24 <i>Prueba de Normalidad de los datos analizados.</i>	58
Tabla 25 <i>Parámetros físicos y químicos del lixiviado después de la coagulación – floculación.</i>	60
Tabla 26 <i>Coliformes Termotolerantes y fecales después de la coagulación – floculación.</i>	61
Tabla 27 <i>Resultados de los análisis de metales después del tratamiento de coagulación - floculación del lixiviado.</i>	62

RESUMEN

Esta investigación se realizó desde marzo de 2021, hasta abril de 2024, tuvo como objetivo evaluar el efecto de coagulación – floculación en el tratamiento de lixiviado generado en la disposición final de residuos sólidos, en el Área degradada de Chacuchayoc Pata - Sicuani, se determinó las características físico, químicas, bacteriológicas y concentraciones de metales pesados en lixiviado antes del tratamiento, así mismo, se determinó el efecto de las concentraciones del coagulante con Sulfato de Aluminio y floculante Óxido de Calcio para la remoción de turbidez del lixiviado en condiciones de laboratorio y se analizó los parámetros físicos, químicos, bacteriológicos y de metales después del tratamiento. Los métodos aplicados fue la prueba de Test de Jarras, donde se realizaron 8 tratamientos para diferentes concentraciones, de coagulante con Sulfato de Aluminio con concentraciones de 1ml/l y 2ml/l, para el floculante con Óxido de Calcio con las concentraciones de 1gr/l, 2gr/l, 3gr/l y 4gr/l, con tres repeticiones, en total se procesaron 24 muestras tratadas, para la lectura de turbidez, se utilizó el turbidímetro. Los tratamientos T3, T4, T5, T6 y T7 tuvieron mejor efecto de remoción de turbiedad, estadísticamente el mejor tratamiento es T3(c₂f₁) con un valor de 6.440 NTU con una remoción de 95.75% en promedio; Existe al menos una diferencia significativa en el tratamiento de lixiviado con el coagulante Sulfato de Aluminio y floculante Óxido de Calcio en la remoción de turbidez.

Palabras claves: Lixiviados, áreas degradadas, RR. SS, floculación y coagulación.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento demográfico de la población a nivel mundial en los últimos años se ha venido incrementando exponencialmente, dando lugar a la generación de residuos sólidos que son dispuestos en rellenos sanitarios y/o áreas degradadas que mediante un proceso de percolación genera lixiviado, siendo uno de los problemas de mayor incidencia negativa en nuestro entorno ambiental, motivo por el que a nivel mundial se continúan desarrollando distintos tipos de tecnologías para el tratamiento de los mismos (MINAN, 2023)

El lixiviado es un fluido contaminado que se originan en rellenos de residuos sólidos y presentan una diversidad considerable en su composición. Esta variabilidad se ve influida tanto por el tiempo de almacenamiento del vertedero, como por la naturaleza de los desechos depositados en él. La cantidad de lixiviado generado depende de diversos factores, como la cantidad de lluvia, la capacidad de absorción del suelo, la capacidad de retención de agua en el suelo y la permeabilidad del mismo. Este lixiviado contiene concentración significativa de sustancias orgánicas tóxicas, sólidos disueltos, sales y otros elementos, los cuales se filtran verticalmente, contaminando los acuíferos subterráneos. Es esencial ubicar los rellenos en suelos impermeables sobre el nivel freático para prevenir la acumulación de lixiviado. Para evitar la contaminación de aguas subterráneas, se considera importante implementar medidas como el uso de cubiertas de arcilla, membranas, revestimientos para el vertedero, sistemas para la recolección, extracción y tratamiento del lixiviado, y el manejo de un sistema de monitoreo de las aguas subterráneas (Cobos y Costa, 2011)

En el contexto peruano, se ha autorizado la operación de 114 rellenos sanitarios, 7 rellenos sanitarios mixtos y 5 celdas transitorias. (MINAN, 2025), que son sitios destinados para la gestión controlada y adecuada de los residuos sólidos. Sin embargo,

además de estos lugares autorizados, se identifican 1906 áreas degradadas informales (OEFA, 2023), donde se realizan descargas no reguladas o sin el adecuado manejo de los desechos. La presencia de un gran número de áreas degradadas informales indica una falta de control y gestión efectiva en la disposición de los residuos sólidos. La preocupación principal radica en el manejo inadecuado del lixiviado, que son los líquidos contaminados generados por la descomposición de los residuos. La magnitud del problema se acentúa al considerar la significativa población del Perú, lo cual estaría en torno a treinta millones de habitantes, surgiendo así la necesidad de implementar medidas efectivas de gestión de residuos sólidos y control de lixiviado para preservar el medio ambiente y la calidad de vida de la población (MINAM, 2023)

En la región del Cusco se cuenta con 3 rellenos sanitarios municipales y 118 áreas degradadas de residuos sólidos municipales, los cuales se encuentran distribuidos en las diferentes provincias y distritos de la región del Cusco, entre los rellenos municipales que cumplen con las disposiciones establecidas (OEFA, 2024) .

Siendo una problemática a nivel local, regional, nacional estas se generan elevados volúmenes de lixiviado que no se controlan y manejan adecuadamente; pudiendo causar efectos severos en el ambiente, recurso edáfico, en especial a los cursos de agua cercanos y en la salud de la población por su elevada concentración de contaminantes (MPC, 2024)

En ese sentido el objetivo del trabajo de investigación es el siguiente: Evaluar el efecto de coagulación – floculación en el tratamiento de lixiviado generado en la disposición final de residuos sólidos en el Área degradada de Chacuchayoc Pata de la localidad de Sicuani – Canchis, Cusco.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La gestión inadecuada de los residuos sólidos y la disposición final en el área degradada de Chacuchayoc Pata, ubicado en la localidad de Sicuani, Canchis, Cusco, plantea un desafío ambiental y sanitario significativo. Uno de los problemas más críticos asociados con esta disposición final es la generación de lixiviado, que resultan de la descomposición de los residuos sólidos. Este lixiviado se encuentra almacenado en pozas de lixiviación presentan filtraciones, en temporadas de lluvias se derraman a cuencas cercanas generando estragos en el medio ambiente, se caracterizan por su compleja composición física, química y biológica, representando una amenaza para los recursos hídricos subterráneos, el suelo y el entorno circundante (MPC, 2018)

Esta investigación en el área degradada de Chacuchayoc Pata de la localidad de Sicuani, se dispone residuos sólidos en un aproximado de 48.9tn/día, La generación per cápita de producción de residuos sólidos en los domicilios del distrito de Sicuani es de 0.47 kg/hab/día (MPC, 2024), los cuales al degradarse generan sólidos, gases (metano y dióxido de carbono) y líquidos como lixiviados (MPC, 2024)

La generación de lixiviado del Área degradada de Chacuchayoc Pata, se incrementa por la acumulación diaria de residuos sólidos, el cual requiere numerosas celdas de lixiviación y almacenamiento, al no poseer la cantidad de celdas de almacenamiento de este lixiviado colapsa, vertiéndose al rededor del área degradada de residuos sólidos municipales así contaminando el medio ambiente (ríos, suelo y otros).

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es el efecto del coagulante – floculante en el tratamiento de lixiviado generado en la disposición final de residuos sólidos en el Área degradada de Chacuchayoc Pata, de la localidad de Sicuani - Canchis, Cusco?

PROBLEMAS ESPECIFICOS

¿Cuáles son los parámetros físicos, químicos, bacteriológicos, y la concentración de metales, en el lixiviado antes del tratamiento de coagulación – floculación?

¿Cuál es el efecto del tratamiento con diferentes concentraciones de coagulante - floculante con Sulfato de Aluminio y Óxido de Calcio en la remoción de turbidez del lixiviado en condiciones de laboratorio?

¿Cómo son los parámetros físicos, químicos, bacteriológicos y de metales después del tratamiento de coagulación - floculación del lixiviado?

JUSTIFICACIÓN

En la presente investigación de tratamiento de lixiviado se determinó la concentración efectiva de coagulante – floculante, generados en el área degradada de Chacuchayoc Pata. Así mismo busco caracterizar los parámetros físicos, químicos, bacteriológicos y metales, generados en la disposición final de residuos sólidos en el área degradada de Chacuchayoc Pata.

La aplicación de coagulante y floculante en concentraciones optimas, nos ayudara a disminuir los contaminantes presentes en el lixiviado, con la aplicación de estos insumos tendremos un manejo adecuado, técnico de lixiviado en las pozas de lixiviación, así mismo disminuirán los costos operativos de manejo de lixiviado, igualmente ayudara a disminuir en uso de insumos químicos el cual tendrá una repercusión económica positiva para la entidad, finalmente esta investigación servirá para tratar los lixiviados generados en áreas degradadas donde se generen lixiviados, por la disposición final de residuos sólidos en diferentes localidades.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de coagulación – floculación en el tratamiento de lixiviado generado en la disposición final de residuos sólidos en el Área degradada de Chacuchayoc Pata de la localidad de Sicuani – Canchis, Cusco.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar los parámetros físicos, químicos, bacteriológicos y concentraciones de metales, en el lixiviado antes del tratamiento de coagulación – floculación.
- Determinar el efecto del tratamiento con diferentes concentraciones de coagulante - floculante con Sulfato de Aluminio y Óxido de Calcio en la remoción de turbidez del lixiviado en condiciones de laboratorio.
- Analizar los parámetros físicos, químicos, bacteriológicos y de metales, después del tratamiento con coagulante – floculante en el lixiviado.

HIPOTESIS

La aplicación de diferentes concentraciones de coagulante – floculante, en el lixiviado procedentes del área degradada de Chacuchayoc pata, tienen efectos significativos en la remoción de la turbidez y contaminantes.

Variables Independientes:

- F_A Concentraciones de coagulante Sulfato de Aluminio.
- F_B Concentraciones de floculante Óxido de Calcio.

Variable Dependiente:

- % Remoción de turbidez del lixiviado.

CAPITULO I

MARCO TEORICO

1.1. ANTECEDENTES

Antecedentes internacionales

Pellón Arrechea Et Al (2009) Llevó a cabo una investigación que se enfocó en la aplicación de un tratamiento físico químico a los lixiviados provenientes de vertederos de residuos sólidos urbanos en la ciudad de La Habana, Cuba. Las muestras se recolectaron siguiendo las Normas ISO 5667-10 para aguas residuales. Se utilizó un cálculo basado en un balance hidrológico entre las corrientes que entraban y salían del vertedero para estimar la generación de lixiviados. Los resultados de la investigación revelaron un alto contenido de materia orgánica, el cual se expresó en términos de DQO (Demanda Química de Oxígeno) y DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno). La relación DBO5 y DQO, que fue de 0.45 en condiciones secas y 0.68 durante periodos de lluvia, sugiere que una gran parte de la fracción orgánica es fácilmente biodegradable (p. 117).

Aliaga (2010) Su estudio se centró en la reducción de la materia orgánica presente en las aguas depuradas de áreas de cultivo en el Mar Mediterráneo, así como en islas de baño y zonas canarias en España. Esto se logró mediante la implementación de un proceso que combinó el método Fenton y la coagulación-floculación. Las variables dependientes que se consideraron incluyeron el pH, la concentración de reactivos y la presencia de luz natural. En el caso de la etapa de coagulación-floculación, se emplearon Cloruro Férrico y Óxido de Calcio, logrando una reducción del 55% en sólidos en suspensión en las muestras de agua. Este resultado indica que ambos coagulantes demostraron ser efectivos para disminuir este parámetro. Como conclusión, se determinó que la aplicación del proceso Fenton redujo la

materia orgánica, y en el tratamiento de coagulación-floculación, el Cloruro Férrico fue el coagulante que arrojó los mejores resultados.

Dávila (2013) Realizó la tesis sobre el estudio del sistema de tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario de Lago Agrio de la provincia de Sucumbíos – Ecuador. Durante la investigación, se determinó que la opción más efectiva era la aplicación de un proceso que involucrara aireación, coagulación, floculación y cloración con Hipoclorito de Sodio. Este método permitió reducir la DQO en un impresionante 99.23%. Además, otros parámetros como el pH, Nitrógeno Amoniacal, DBO5 y sólidos totales, entre otros, se mantuvieron dentro de los límites especificados en el texto unificado de legislación ambiental secundaria (TULAS) para la descarga en cuerpos de agua dulce.

Antecedentes Nacionales

Medrano (2017) Llevó a cabo una investigación sobre el tratamiento de los lixiviados provenientes del vertedero de residuos sólidos de la Ciudad de Puno mediante el proceso de coagulación y floculación. El objetivo principal era demostrar la reducción de la contaminación a través del tratamiento de los lixiviados generados en vertederos que contenían residuos sólidos urbanos. En este estudio, se implementó el tratamiento de coagulación y floculación utilizando Óxido de Calcio como coagulante e HidrSulfato de Aluminio como floculante. Los parámetros controlados incluyeron un rango de pH de 3.5 a 11, concentración de coagulante variando entre 30 y 100 mg/l, agitación en el intervalo de 20 a 100 RPM y un tiempo de mezcla de 12 a 15 minutos. Los resultados revelaron que, con un pH de 11 y una concentración de 100 ppm de Óxido de Calcio, se logra la recuperación de Hierro.

Damián (2018) Realizó una investigación sobre el tratamiento de lixiviados en la fase de compostaje mediante el procedimiento de coagulación utilizando mucílago de Opuntia

ficus-indica en Huancayo, en la provincia de Concepción. Con el propósito de encontrar una alternativa para tratar los lixiviados que son producidos durante la etapa de compostaje. Se empleó el método de coagulación con el mucílago de *Opuntia ficus-indica*. Se pretendía con la investigación reducir las características de carga orgánica. Para ello, se llevaron a cabo pruebas experimentales evaluando la Remoción de la DQO y la turbidez, teniendo en cuenta las concentraciones del coagulante, el pH y el tiempo de contacto. Tras las pruebas experimentales, se determinó que la concentración óptima de coagulante de *Opuntia ficus-indica* era de 1 g/l. Esta concentración se aplicó en un medio con un pH neutro de 7 y un tiempo de contacto de 30 minutos. Bajo estas circunstancias, se logró la reducción, de la DQO desde 5034,3 mg/l hasta 2854,3 mg/L, lo que representa una remoción del 57,2% de la Demanda Química de Oxígeno. Además, en relación con la turbidez, se logró un 89,06%.

Antecedentes Locales

García (2005) Llevó a cabo la evaluación de los lixiviados en la planta de tratamiento de residuos sólidos del proyecto RETAMA, ubicado en el distrito de Andahuaylillas, provincia de Quispicanchis. En dicha evaluación, se identificaron lixiviados con una temperatura oscilante entre 15 y 16 °C, pH alcalino, dureza total, contenido de grasa, conductividad, Oxígeno Disuelto (OD), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO) que superaban los límites máximos permitidos para aguas residuales o aguas negras. Además, se observó que los metales como Plomo y Cobre presentaban concentraciones que excedían los niveles permitidos.

Champi. Et al, (2014) Desarrollaron la evaluación del nivel de contaminación derivada de la disposición final de residuos sólidos en los centros poblados de Pisac, Coya, Lamay y Calca. Los parámetros sometidos a análisis incluyeron temperatura, pH, presencia de metales pesados (Plomo, Cadmio y Cromo), así como la concentración de Coliformes Totales y

Termotolerantes. En relación con los lixiviados, los resultados de los análisis físico-químicos revelaron valores traza de metales pesados por debajo de los Límites Máximos Permisibles (LMP). No obstante, el análisis bacteriológico de los lixiviados indicó una presencia elevada de Coliformes Totales en los botaderos de Calca, Coya y Pisac, superando los LMP.

Arredondo (2022) Evaluó la disminución del DBO del lixiviado del área degradada de Haqaira mediante procesos de Coagulación- Floculación de la región del Cusco, caracterizo lixiviados procedentes del área degradada de Haqaira donde el DBO es 4000mg/l, el cual supero los LMPs. El tratamiento que se aplicó consistió en diferentes concentraciones con Cloruro Férrico y logró reducir el DBO a 4 mg/l bajo las siguientes condiciones: tiempo de sedimentación 5 min, pH=9.8 y 600 ppm de Cloruro Férrico.

1.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.2.1. Lixiviados

Es un líquido del resultado de la reacción, arrastre o filtración de los componentes de los residuos sólidos, que contienen sustancias disueltas o en suspensión. Estas sustancias pueden infiltrarse en el suelo o escapar de las áreas de disposición de los residuos, lo que puede resultar en la contaminación del suelo y fuentes de agua. Esto lleva al deterioro del medio ambiente y plantea un riesgo potencial para la salud de los seres humanos y otros seres vivos (MINAM, 2013).

Entre otra definición se puede señalar que se trata del agua que se ha contaminado con elementos presentes en los residuos sólidos, al filtrarse a través de un sitio de disposición de residuos. Incluye componentes de desecho que son solubles, no retenidos por el suelo y que no experimentan degradación química o bioquímica. Algunos de los elementos potencialmente perjudiciales en el lixiviado son productos resultantes de transformaciones químicas o bioquímicas de los residuos (Sánchez, 2013).

Cuando el agua atraviesa varios materiales y disuelve parte de los sólidos, se forma un líquido llamado lixiviado. Este lixiviado tiene una apariencia desagradable, suele tener mal olor y tiene el potencial de contaminar las aguas subterráneas y superficiales. Contiene una combinación de materia orgánica e inorgánica. Algunos de los compuestos o elementos presentes en los lixiviados son perjudiciales para los organismos vivos, incluyendo humanos y animales. Esto implica que se debe evitar que el lixiviado entre en contacto con lagos, ríos y, especialmente, con aguas subterráneas utilizadas para consumo humano (Morales, 2006).

Figura 1

Lixiviado del área degradada de Chacuchayoc Pata.



Nota: Foto tomada en el área degrada de Chacuchayoc Pata – Sicuani.

1.2.1.1. Generación de lixiviados

Se forman a partir de la disolución de los elementos pertenecientes a los desechos urbanos en contacto con un líquido solvente, como el agua, o como resultado del proceso de descomposición de los residuos por sí mismos. Estos percolados contienen una significativa cantidad de partículas en suspensión y materia orgánica altamente contaminante (MINAM, 2008)

La generación de lixiviado se produce debido a la infiltración intermitente de agua a través de la masa de residuos, ocasionando el transporte y la disolución de los compuestos solubles presentes en el vertedero o generados durante los procesos de descomposición biológica. La calidad del lixiviado está sujeta a factores como la composición de los residuos y las condiciones operativas del vertedero, que incluyen la compactación, el nivel de humedad, entre otros. Además, esta calidad cambia con el tiempo debido a la actividad biológica que ocurre en el vertedero, lo que conlleva el paso de los años y la estabilización de los residuos, las concentraciones de contaminantes tienden a disminuir (Sánchez, 2013)

Asimismo, la calidad y cantidad de lixiviado depende de las características de los residuos, condiciones geológicas del terreno, meteorológicas, etapa de fermentación en que se encuentra relleno sanitario (Kjeldsen. et al, 2002). Producto de la descomposición de materia orgánica en la celda de almacenamiento de residuos sólidos, se genera el lixiviado formando un efluente hacia las celdas de lixiviación, la cantidad que fluye hacia la celda de lixiviado permitirá el dimensionamiento de la planta de tratamiento de lixiviado. (Espinoza, 2005)

La estimación de la producción de lixiviados o percolados, siguiendo las pautas de la Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales, se basa en diversos elementos que incluyen la cantidad de lluvia que cae en la zona del vertedero, el escurrimiento superficial y/o la infiltración en el suelo, la evaporación de agua, el nivel de humedad natural presente en los residuos sólidos municipales, el grado de compactación y la capacidad de campo, que se refiere a la capacidad del suelo y de los residuos sólidos municipales para retener la humedad. El volumen de lixiviado está principalmente determinado por la cantidad de lluvia que cae. No solo la escorrentía superficial contribuye a su formación, sino también las precipitaciones en el área del vertedero aumentan su cantidad, ya sea debido a la lluvia directa que incide sobre los residuos depositados o al incremento de la infiltración a través de las fisuras presentes en el terreno (Jaramillo, 2002)

1.2.1.2. Contaminantes presentes en los lixiviados

La composición del lixiviado varía a lo largo del área degradada, debido al estado y proceso de descomposición de la basura que se da conforme se va disponiendo progresivamente la basura en una celda. Los lixiviados de vertedero contiene contaminantes que pueden clasificarse en cuatro grupos: materia orgánica disuelta, macro componentes inorgánicos (Calcio, Magnesio, Hierro, Sodio, Amoniac, Carbonatos, Sulfatos y Cloruros), metales pesados (Manganeso, Cromo, Níquel, Plomo y Cadmio), y compuestos orgánicos xenobiótico (Kjeldsen. et al, 2002)

Usualmente, en la fase ácida, se registran elevadas concentraciones de todos los contaminantes debido a la intensa descomposición y lixiviación. En la fase metanogénica, se observa una mayor estabilidad de los lixiviados, con concentraciones más reducidas y una baja proporción de DBO/DQO. De manera general, se evidencian concentraciones bajas de metales pesados. En contraste, la concentración de amoniac no experimenta una reducción y, en muchas ocasiones, constituye una carga contaminante significativa a largo plazo del lixiviado (Sánchez, 2013)

Además, la composición del lixiviado está sujeta a factores como la compactación de residuos sólidos (mayor compactación implica menor infiltración) y las condiciones operativas del relleno, como la selección de residuos y el nivel de humedad, entre otros. Además, la composición de los propios residuos sólidos varía considerablemente de un lugar a otro, influenciada también por cambios en las condiciones climáticas y ambientales. Por lo tanto, es esencial conocer el tipo de residuos presentes en los lixiviados, especialmente aquellos que pueden representar riesgos para la salud y el medio ambiente (Morales, 2006)

De acuerdo con la información proporcionada por Corena (2008) los lixiviados generados en un relleno sanitario transportan diversos materiales en forma disuelta, en

suspensión, fijos o volátiles. Esto resulta en elevadas cargas orgánicas y un color que varía desde café, pardo hasta grisáceo cuando son recientes, llegando a adquirir un tono negro y viscoso a medida que envejecen. Los lixiviados contienen cantidades considerables de Cloruro de Sodio, Carbonatos y metales pesados. Estudios indican que el carbono orgánico coloidal tiene la capacidad de adsorber metales en altas concentraciones en su superficie, funcionando como un medio de transporte para los metales traza presentes en los lixiviados.

1.2.1.3. Clasificación de lixiviados

Según el tipo de maduración de los lixiviados se clasifican en:

1.2.1.3.1. Lixiviados jóvenes

Los lixiviados jóvenes presentan una carga orgánica alta ($DQO > 20\text{g O}_2/\text{l}$), concentración de Ácido Carboxílico aproximada del 80 % de la carga orgánica, materia orgánica rápidamente biodegradable ($DBO/DQO = 0.3$), una relación de $COT/DQO > 0.3$, pH alrededor de 6.5, concentración de metales de 2 g/l, preponderancia de ácidos grasos volátiles y compuestos de alto peso molecular (Chevarria. et al, 2011)

1.2.1.3.2. Lixiviados intermedios

Los lixiviados intermedios muestran una carga entre 3 a 15 g O_2/l , concentración de ácidos carboxílicos que representan del 20 al 30 % de la carga orgánica, la relación $DBO/DQO = 0.2$, un pH casi neutro, compuesto de peso molecular superior 500 g/mol (Chevarria. et al, 2011)

1.2.1.3.3. Lixiviados estabilizados o antiguos

Los lixiviados estabilizados tiene una carga $< 20\text{g O}_2/\text{l}$, ausencia de Ácidos Carboxílicos, baja biodegradabilidad ($DBO/DQO = 0.1$), $COT/DQO > 0.4$, indicando la presencia de compuestos difícilmente oxidables, presencia de compuestos de elevado peso

molecular superior a 5000 g/mol, pH superior a 8 y concentración de metales menor de 50 mg/l (Chevarria. et al, 2011 (ICOINTEC, 2010))

Distintos autores clasifican a los lixiviados con diferentes criterios (Tabla 1). Bhalla (2012) y Kurniawan (2006) proponen clasificarlos en tres categorías: jóvenes, intermedios y maduros, así dando a conocer una caracterización para cada uno de ellos, aunque difieren en los valores que establecen en algunos de los parámetros, y de acuerdo con investigaciones realizadas en el área de tratamiento de lixiviados tienen más uso los criterios establecidos por Bhalla (Damian, 2018)

La Tabla 1 proporciona datos representativos sobre las características de los lixiviados en vertederos, tanto en aquellos más recientes como en los más antiguos.

Tabla 1

Clasificación de lixiviados en áreas degradadas recientes y avanzados.

Parámetros	TIPO DE LIXIVIADOS		
	Joven	Intermedio	Maduro
Edad			
Años	<1.0	1.0-5.0	>5.0
pH	<6.5	6.5-7.5	>7.5
DQO (mg/L)	>15,000	3,000-15,000	<3,000
DBO/DQO	0.5-1.0	0.1-0.5	<0.1
NH3-N (mg/L)	<400	ND	>400
COT/DQO	<0.3	0.3-0.5	>0.5
Nitrógeno Kjehdal (g/L)	0.1-2.0	ND	ND
Metales pesados (mg/L)	>2	<2	<2

Nota: Damián, (2018)

1.2.1.4. Tratamiento de los lixiviados

La elección de los sistemas de tratamiento de lixiviados se basa en consideraciones como el volumen que finalmente se acumula en la celda, la composición de los residuos sólidos y la ubicación geográfica del vertedero o relleno sanitario.

1.2.1.4.1. Tratamientos biológicos

El proceso de tratamiento biológico se divide en depuración anaerobia y aerobia. La depuración anaerobia implica la descomposición de la materia orgánica mediante la actividad microbiana, generando metano, similar a lo que ocurre en el interior de un vertedero (Sánchez, 2013). Por otro lado, la depuración aerobia implica la purificación de los compuestos orgánicos presentes en el lixiviado a través de la actividad de microorganismos en presencia de oxígeno y agitación, con el objetivo de prevenir condiciones de anaerobiosis dentro de los tanques de depuración. Durante este proceso de degradación, se generan sólidos decantables que pueden separarse fácilmente de la fracción líquida. Estos sistemas requieren condiciones operativas estables, incluyendo carga orgánica, concentración de nutrientes, nivel de pH, entre otros. Es posible implementar un tratamiento aerobio utilizando métodos como lagunas aireadas, sistemas de lodos activados, sistemas biológicos de discos rotatorios (biodiscos), filtros percoladores, entre otros (Martinez.et.al, 2014)

La finalidad del tratamiento biológico, en general, es la utilización de la capacidad intrínseca de determinados microorganismos para metabolizar materia orgánica y nutrientes, con el propósito de lograr la eliminación de los componentes contaminantes presentes en el percolado (León. et al, 2021)

1.2.1.4.2. Tratamiento físico químico

En el agua presentan sustancias solidas que forman parte importante aparente de la contaminación, estos contaminantes conformada por sólidos, el tamaño de estas partículas que

contaminan el agua es muy variado, hay solidos que se pueden observar con la vista en el agua en suspensión o en reposo, existen solidos que pueden observarse a simple vista, dejándolo en reposo, hay formas de separar por decantación bajo la influencia de la gravedad o bien por flotación va depender de las de densidad del agua y sólido, también se puede separar por filtración (Wiki, 2010)

Por otro lado, existen partículas muy finas de naturaleza coloidal denominados coloides que presentan una gran estabilidad en el agua, tiene un tamaño entre 0.001 y 1 micra, forma parte de la contaminación del agua, es la causa principal de la turbiedad, estos coloides debido a la gran estabilidad que tiene, es difícil de separar por decantación o flotación, por ello es imposible separar por filtración porque pasarían cualquier filtro (Wiki, 2010)

Figura 2

Estado inicial del coloide se encuentra estable.

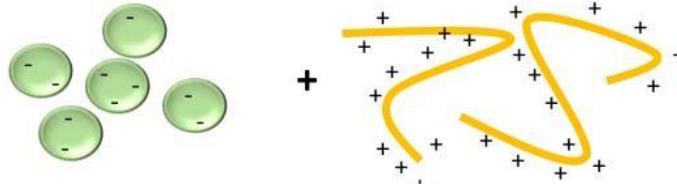


Nota: <https://adintus.com/blog/coagulantes-para-el-tratamiento-de-aguas-residuales>.

La estabilidad de estas partículas coloides presenta cargas electrostáticas del mismo signo, hace que existan fuerzas de repulsión por ello no pueden aglomerarse para sedimentarse, estas cargas por lo general son positivas (Wiki, 2010)

Figura 3

Partículas de coloides más la adición de sustancias químicas.



Nota: www.es.linkedin.com

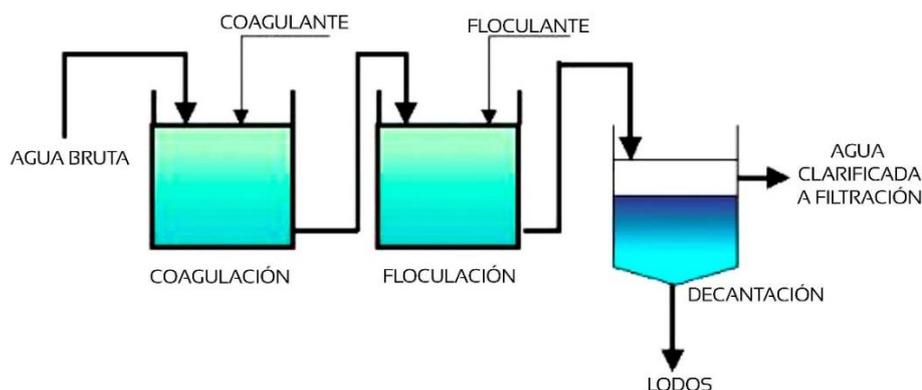
El tratamiento fisicoquímico tiene como finalidad adicionar productos químicos para alterar el estado físico de los coloides, estas partículas de coloide unidas con sustancias químicas, permanecen de forma indefinida de manera estable, estas son más susceptibles para separar por sedimentación. Este tratamiento puede llegar a eliminar de 80 - 90% de la materia suspendida, del 40 - 70% de DBO y del 30 - 40% de la DQO (Wiki, 2010)

1.2.1.4.3. Etapas del tratamiento físico – químico.

Para romper la estabilidad de los coloides y poder separarlas es necesario realizar tres pasos: coagulación, floculación y decantación (Wiki, 2010)

Figura 4

Etapas de tratamiento físico – químico.



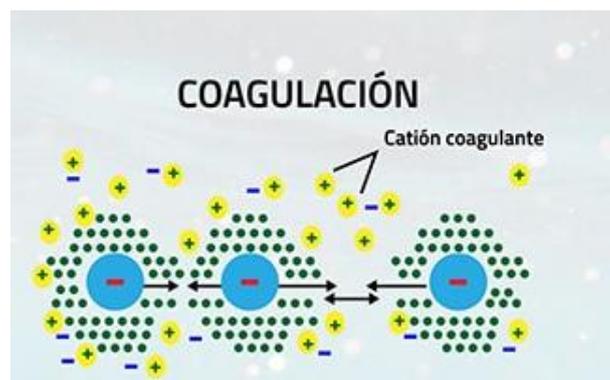
Nota: <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento>.

1.2.1.4.4. Coagulación:

El procedimiento de coagulación implica la desestabilización química de las partículas presentes en el agua, lo cual resulta en su transporte físico y colisión para formar flóculos. Por lo general, las partículas en el agua son eliminadas (Chávez, 2011, p.21)

Figura 5

Desestabilización química por un coagulante hacia las partículas presentes en el agua.



Nota: <https://adintus.com/blog/coagulantes-para-el-tratamiento-de-aguas-residuales>.

Este proceso se aplica para diversas finalidades, entre las que se incluyen:

- Eliminación de turbiedad, ya sea orgánica o inorgánica, que no puede sedimentarse de manera rápida.
- Reducción del color verdadero y aparente del agua.
- Eliminación de bacterias, virus y microorganismos que pueden ser separados mediante coagulación.
- Destrucción de algas y plancton en general.
- Eliminación de sustancias que generan sabor y olor, así como precipitados químicos suspendidos en otros (Medrano, 2017)

Los coagulantes utilizados para desestabilizar las partículas y generar floculantes son:

- Aluminato de Sodio.
- Sulfato de Aluminio.
- Cloruro de Aluminio.
- Cloruro Férrico.
- Sulfato Férrico.
- Sulfato Ferroso.
- Polielectrólitos.

1.2.1.5. Mecanismos de la coagulación

1.2.1.5.1. Ajuste de la carga del coloide hacia la neutralidad

Al mezclarse un electrolito con agua, libera iones positivos con una carga suficiente para atraer partículas coloidales y anular su carga. Esta interacción se hace más pronunciada a medida que aumenta el número de cargas del ion coagulante. Por lo tanto, en el caso de coloides con cargas negativas, los iones bivalentes como Ba^{2+} y Mg^{2+} son aproximadamente 30 veces más efectivos que los iones monovalentes como Na^+ . Además, los iones trivalentes como Fe^{3+} y Al^{3+} son alrededor de 30 veces más eficaces que los iones bivalentes. En el caso de coloides con cargas positivas, existe una relación similar entre el ion cloruro Cl^- , que es monovalente, el sulfato $(SO_4)^{-2}$, que es divalente, y el fosfato $(PO_4)^{-3}$, que es trivalente (Sánchez, 2013)

1.2.1.5.2. Adsorción en un precipitado o floculo de barrido

Cuando se agrega una cantidad de sal de Hierro o Aluminio a la solución que excede el punto en el cual sus hidróxidos metálicos pueden mantenerse en solución, se desencadenan una serie de procesos de hidrólisis que conducen a la producción de sustancias con una baja capacidad para disolverse. Estos productos varían desde complejos de hidroxilo simples hasta compuestos Hidroxo-Metálicos de mayor tamaño, los cuales se unen a las partículas en forma de coloides,

culminando finalmente en la formación de un precipitado de Hidróxido Metálico (Sánchez, 2013)

1.2.1.6. Factores que influyen en el proceso de coagulación

- **El pH:** Es un factor crítico en el proceso de coagulación, y cada coagulante tiene un rango de pH en el cual funciona de manera óptima. Este rango suele coincidir con la solubilidad mínima de los iones metálicos en el coagulante empleado. Es importante intentar mantener el pH en el intervalo óptimo, que generalmente oscila entre 6.5 y 8, para evitar el desperdicio de productos y mantener un rendimiento eficiente en el proceso. En caso de que el pH no esté en el rango adecuado, es posible ajustarlo utilizando coadyuvantes como ácidos inorgánicos (HCl y H₂SO₄) o ciertas sales como Carbonato Sódico o Soda Cáustica (Sánchez, 2013)

- **Temperatura:** Un cambio de temperatura de 1 grado Celsius en el agua provoca la creación de gradientes de densidad, que implican cambios en la densidad del agua de varios niveles. Esto, a su vez, influye en la energía cinética de las partículas suspendidas, haciendo que el proceso de coagulación sea más lento. Además, temperaturas muy altas también tienen un efecto negativo en el proceso de coagulación. Parece que no se puede establecer un rango de temperatura óptimo de manera específica, aunque se sugiere que podría ser más eficaz dentro del intervalo de 3.5 a 25 grados Celsius (Cárdenas, 2000)

- **Agitación:** Mezclar de manera rápida es crucial para asegurar una coagulación eficiente; es necesario neutralizar completamente los coloides antes de que comience la formación de floculación o precipitación con el fin de lograr resultados óptimos. Debido a que el tiempo de coagulación es extremadamente breve (1 segundo), es crucial que el reactivo se disemine rápidamente en la solución en el momento de su adición (Medrano, 2017; Sánchez, 2013)

- **Tipo y cantidad de coagulante:** La cantidad de coagulante que se emplea directamente afecta la eficacia del proceso de coagulación. En este sentido, una concentración insuficiente del coagulante no logra neutralizar por completo la carga de las partículas, lo que resulta en una formación escasa de flóculos y, como consecuencia, un nivel alto de turbidez residual. Por otro lado, un exceso de coagulante provoca una inversión de la carga de las partículas, lo que genera una gran cantidad de flóculos de tamaño muy reducido con velocidades de sedimentación muy bajas, y esto también se traduce en una turbidez residual elevada (Sánchez, 2013)

1.2.1.6.1. Floculación

La floculación es la etapa que sigue a la coagulación y se refiere al proceso de agrupación de partículas que han sido neutralizadas. Este proceso se produce a través de diversas fuerzas de atracción entre las partículas que, en primera instancia, se encuentran en contacto debido al movimiento browniano, llevándolas a alcanzar un grosor de aproximadamente 0.1 micras. Después, se emplea agitación mecánica externa con el objetivo de alcanzar el tamaño apropiado para los flóculos. Según Sánchez (2013) existen dos mecanismos a través de los cuales las partículas entran en contacto:

Figura 6

La coagulación y se refiere al proceso de agrupación de partículas que han sido neutralizadas.



Nota: <https://adintus.com/blog/coagulantes-para-el-tratamiento-de-aguas-residuales>.

Floculación pericinética

Por convección natural, este proceso se debe al movimiento intrínseco de las partículas, conocido como difusión browniana. Sin embargo, es un proceso muy lento (Cedeño, 2018)

Floculación ortocinética

Por convección forzada aquí, el movimiento del fluido que contiene las partículas induce su movimiento. Este efecto se logra agitando la mezcla. Este mecanismo es más rápido y eficiente en comparación con la floculación pericinética, ya que se aprovecha la agitación externa para inducir el proceso de floculación (Cedeño, 2018)

Con el propósito de promover la floculación, se utilizan sustancias llamadas floculantes, las cuales trabajan agrupando las partículas individuales en conjuntos, mejorando la calidad del flóculo al hacerlo más denso y voluminoso. Estos floculantes son polímeros con pesos moleculares significativamente elevados, se trata de moléculas orgánicas solubles en agua que están compuestas por unidades repetitivas que forman una cadena larga (Sánchez, 2013)

Según Sánchez (2013), el proceso de floculación se ve afectado por una serie de factores, que se describen a continuación:

1. Coagulación previa lo más perfecta posible: Se requiere una coagulación óptima, que depende de la concentración adecuada de coagulante, un pH apropiado y una mezcla rápida. Esto garantiza la formación de flóculos de alta calidad.
2. Mezcla suave y uniforme: El proceso de floculación se promueve mediante una suave agitación de la mezcla, ya que favorece la unión entre los flóculos. Una mezcla demasiado energética podría destruir los flóculos que ya se han formado.
3. Temperatura del agua: Las fluctuaciones en la temperatura del agua provocan alteraciones en la densidad del líquido, impactando en la energía cinética de las partículas suspendidas. Elevadas temperaturas dificultan la coagulación, mientras que descenso en la temperatura

aumenta la viscosidad durante el proceso de separación por sedimentación, ralentizando la coagulación.

4. Proceso de floculación en un medio acuoso: La coagulación en una suspensión con baja turbidez coloidal se vuelve más compleja, dado que las partículas sólidas en suspensión funcionan como centros de creación.

Asimismo, otros aspectos significativos para el proceso de floculación abarcan la composición del agua, las fluctuaciones en el flujo, la fuerza de la agitación, la duración de la floculación y la cantidad de compartimentos en la unidad.

1.2.1.7. Procesos de coagulación y floculación de metales pesados

Según o de acuerdo, Medrano (2017), estableció directrices para mejorar la comprensión del proceso de precipitación de metales. En este proceso, se añaden agentes químicos, similares a los utilizados en la neutralización, para inducir la precipitación de metales. Los metales se precipitan en diversas formas, como hidróxidos, sales básicas insolubles, y en ciertos casos como sales insolubles, como carbonatos, sulfuros, fosfatos o cromatos, dependiendo de la concentración del ion que se hallase presente.

Si bien el proceso de precipitación de metales es antiguo (Fischer. et al, 1997) es recién en las dos últimas décadas que está siendo objeto de estudio en cuanto a sus fundamentos físico-químicos. Se ha dedicado atención particular a la precipitación de metales en soluciones diluidas en el ámbito del tratamiento físico-químico de aguas y vertidos.

Según Medrano (2017), las reglas más importantes de la precipitación pueden estar resumidas como siguen:

- Seleccionar el pH adecuado para la precipitación es fundamental. En soluciones diluidas con un solo metal o un metal predominante, es necesario neutralizar hasta alcanzar el pH de precipitación o superarlo.

- La elección del agente de precipitación adecuado es esencial; por ejemplo, con NaOH, algunos metales divalentes se comportan de manera anfótera a pH más elevados.
- En presencia de varios metales disueltos, la solubilidad del producto a precipitar disminuye, favoreciendo a aquellos metales de fácil precipitación sobre los de difícil precipitación.
- Aumentar la concentración del agente de precipitación reduce la solubilidad del producto precipitado.
- Es crucial verificar el pH después de la precipitación; de lo contrario, existe el riesgo de que los hidróxidos metálicos fuertes vuelvan a solución. Este efecto puede contrarrestarse ajustando el pH a un valor superior al calculado. Si hay agentes que se oxidan durante la neutralización, deben ser oxidados en este proceso. (Medrano Pari, 2017)

1.2.1.7.1. Decantación o flotación

El objetivo de esta fase final es separar los agregados formados y la fase acuosa en el sistema sólido-líquido. Esta separación puede llevarse a cabo a través de técnicas como la filtración, la decantación o la flotación, ya sea de manera individual o en combinación, y en algunos casos seguida de filtración. (Sánchez, 2013)

1.2.1.7.2. Sulfato de Aluminio

El Sulfato de Aluminio, también conocido como Cal viva, es un producto natural ampliamente utilizado en diversos procesos químicos debido a sus propiedades versátiles. Su fórmula química es CaO . Este compuesto desempeña varios roles importantes, entre ellos, como agente neutralizante para contrarrestar la acidez en diferentes contextos, como en suelos agrícolas o en procesos industriales que requieren ajuste de pH, además de ser de utilidad como fertilizante cáustico para mejorar la calidad del suelo y proporcionar nutrientes esenciales a las

plantas. En la industria, actúa como blanqueador, contribuyendo a procesos de blanqueo en la fabricación de papel, textiles y otros productos. Asimismo, participa en la purificación del agua al reaccionar con impurezas y contaminantes, contribuyendo a la mejora de la calidad del agua potable. En presencia de agua, el Sulfato de Aluminio experimenta una reacción que resulta en la formación de HidrSulfato de Aluminio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), al mismo tiempo que libera calor. Esta reacción es exotérmica, lo que significa que genera calor como subproducto. Además, el Sulfato de Aluminio reacciona de manera exotérmica con ácidos minerales, dando lugar a la formación de sales de Calcio. En resumen, el Sulfato de Aluminio desempeña múltiples funciones valiosas en diversos campos, desde la neutralización y mejora de suelos hasta su papel en la purificación del agua y su participación en procesos químicos específicos. La reacción exotérmica con agua y ácidos minerales subraya su capacidad para generar calor durante estos procesos. (Laura, 2021; SUMINISTRO DE ESPECIALIDADES S.A, 2002; Vilca, 2019)

1.2.1.7.3. Óxido de Calcio

El Óxido de Calcio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) es un compuesto químico soluble en agua que desempeña un papel fundamental en diversas aplicaciones industriales. Se presenta naturalmente como un mineral raro llamado milosevichita, encontrado en ambientes volcánicos y en la quema de vertederos para la minería del carbón. Su forma anhidra es poco común, y generalmente se encuentra en varios hidratos, siendo el hexadecahidrato y octadecahidrato los más comunes. También existe una forma heptadecahidrato llamada aluminógeno. Juega un papel crucial en la purificación de agua mediante coagulación y floculación, donde ayuda a que las impurezas se agrupen y sedimenten fácilmente. El Óxido de Calcio exhibe una versatilidad significativa en su aplicación, desempeñando un papel crucial en campos tan diversos como la purificación de agua, la agricultura y la industria alimentaria. Su capacidad para agrupar impurezas y su presencia en diversas formas, desde minerales raros hasta hidratos comunes,

resaltan su importancia y utilidad en distintos contextos industriales y ambientales. (Laboratoriumdiscounter, s.f.)

1.2.2. Prueba de Jarras

El Equipo de Jarras de prueba incluye entre cuatro y seis paletas de agitación que homogenizan el contenido de contenedores de volumen constante, ya sea de uno o dos litros, a una velocidad uniforme de mezclado para todos los recipientes. Esta velocidad está regulada por un medidor de revoluciones en RPM. La Prueba de Jarras se utiliza para evaluar la eficacia de polímeros o coagulantes en la clarificación del agua. En este proceso, se emplean alrededor de seis jarras y se introducen variaciones en la concentración del polímero o coagulante en cada una de ellas. El objetivo principal es simular y estudiar los procesos unitarios clave: coagulación, floculación y sedimentación. La floculación es esencial para la formación de flóculos más grandes a partir de partículas más pequeñas, facilitando así su sedimentación. Un aspecto destacado de la prueba de jarras es la capacidad de ajustar el pH de cada muestra. Este ajuste se realiza para alcanzar los valores óptimos en los cuales la floculación muestra su mejor desempeño. En general, estos valores de pH suelen situarse entre 7.3 y 7.6. En resumen, la prueba de jarras ofrece una simulación detallada de los procesos fundamentales en el tratamiento del agua, permitiendo la optimización de factores como la concentración de coagulante, el ajuste de pH y la observación de resultados efectivos en términos de clarificación del agua a través de la coagulación, floculación y sedimentación. (Navarro, s.f.)

Figura 7

Prueba de jarras.



Nota: <https://analistaquimico.com.pe>.

1.2.3. MARCO LEGAL

En el Perú existen normas que regulan los límites máximos permisibles para efluentes de diferentes actividades, en este caso para el lixiviado procedentes de áreas degradadas o rellenos sanitarios municipales no existe ninguna norma que regule dicha actividad mencionada, por ello utilizaremos la normativa Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales según lo estipulado por la normativa D.S. N° 003-2010-MINAM:

Tabla 2

Límites Máximos Permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.

PARÁMETRO	Unidad	LPM
Aceites y Grasas	mg/l	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	200
pH	Unidades	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	ml/l	150
Temperatura	°C	<35

Nota: MINAM, (2010).

CAPITULO II

ÁREA DE ESTUDIO

2.1. Ubicación

2.1.1. Ubicación política

Región: Cusco.

Provincia: Canchis.

Distrito: Sicuani.

Comunidad: Pampa Phalla.

Instalación: Área degradada de Chacuchayoc Pata

Tabla 3

Ubicación geográfica del área degradada por residuos sólidos de Chacuchayoc Pata - Sicuani.

Datum	Proyección	Zona	Coordenadas		Altitud (m)
			Norte: (m)	Este: (m)	
WGS 84	UTM	19L	8421693	261467	3983

Nota: Elaboración propia.

2.1.2. Límites del distrito de Sicuani:

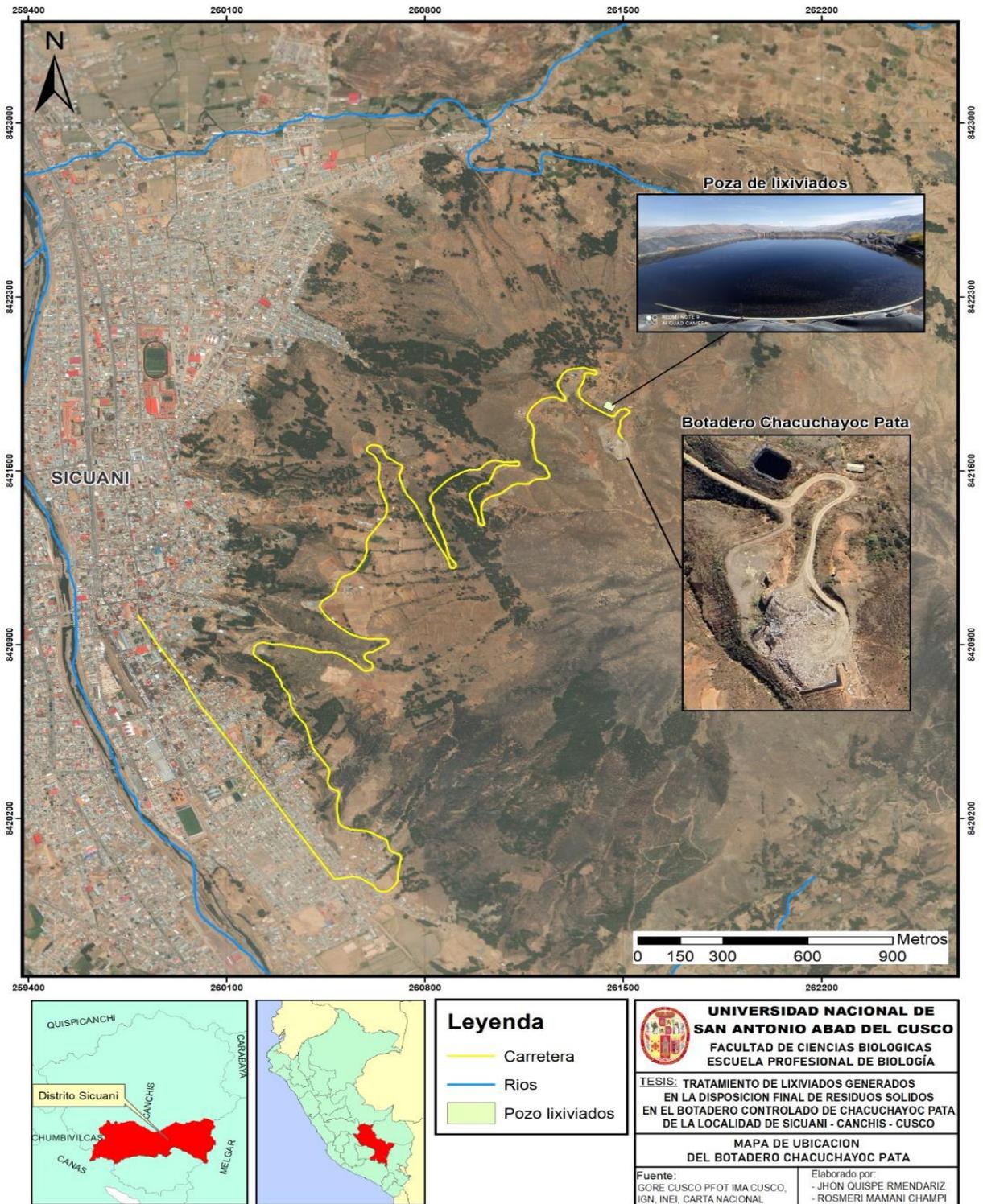
- Al norte, limita con la comunidad de Pampa Ansa.
- Al sur, colinda con la comunidad de Trapiche.
- Al este, colinda con la comunidad de Patacallasaya.
- Al oeste, se encuentra delimitada con la localidad de Sicuani.

(Jihuallanca, 2020)

Figura 8

Ubicación de la celda de lixiviado del área degradada de Chacuchayoc Pata.

Nota: Elaboración propia.



2.3. Descripción del área de estudio

La celda de lixiviados se ubica en la parte inferior del área degradada de Chacuchayoc Pata – Sicuani, esta celda posee una cubierta de material de polietileno de alta densidad, tiene las siguientes dimensiones un largo de 36 metros, un ancho de 28 metros y una altura de 1.3 metros de altura, se estima un volumen total de 1310.4 m³ de lixiviado almacenado el cual no recibe ningún tratamiento.

2.4. Accesibilidad

Para llegar al área degradada de Chacuchayoc Pata en las cercanías de Sicuani, se inicia un trayecto desde la ciudad de Cusco en dirección a Sicuani. Este viaje se realiza por una carretera asfaltada de aproximadamente 140 kilómetros y tiene una duración de 2 horas y 50 minutos. Desde la ciudad de Sicuani, el acceso al área degradada de Chacuchayoc Pata se efectúa a través de una trocha carrozable de unos 3.2 kilómetros, y se puede recorrer en vehículo en unos 25 minutos.

Tabla 4

Accesibilidad del área de estudio.

	Vía	Distancia km.	Tiempo
Cusco – Sicuani	Carretera asfaltada	140	2 horas y 50 min.
Sicuani – Área	Trocha carrozable	3.2	25 min.

Degrada Municipal

2.5. Geología

El paisaje del valle de Sicuani es dominado por el valle del Vilcanota que atraviesa de SE a NW, que forma una estrecha vertiente bastante empinadas en ambos flancos. En su geología encontramos el Grupo Ambo, el Grupo Mitou, la Formación Cabanillass, Formación Cotacucho Muñani y con un piso de valle constituido por material cuaternario (Zavaleta y Paucar, 2015)

2.6. Hidrología

La localidad de Sicuani con recursos hídricos formado por ríos, lagunas, charcos, riachuelos, manantiales, deshielos, aportes subterráneos y otros cuerpos de agua que forman cuenca del Vilcanota alto y Hercca como cuencas principales, tiene 18 tributarios aportantes los principales son: Capillani, Torcoma y Tumapata (SIGRID, 2005)

2.7. Suelo

La capacidad de uso mayor de las tierras para el distrito de Sicuani en mayor parte es de producción agrícola que generalmente abarca las zonas más bajas o de valle, con un mayor potencial de producción y un menor nivel de riesgo (MPC, 2018).

2.8. Clima

El clima en el distrito de Sicuani se clasifica como semifrío-templado-sub húmedo, y se destaca por tener temperaturas moderadas. Durante el año, la temperatura máxima en esta área no excede los 28°C, y rara vez cae por debajo de los 12°C. Según los registros de las estaciones meteorológicas del SENAMHI, los meses más cálidos son octubre y noviembre, mientras que Junio y Julio son los meses más fríos (MPC, 2018)

2.9. Precipitación

Se calcula que la cantidad anual de lluvia varía entre 700 y 1200 mm, siendo el valle del Vilcanota la zona con menos precipitación. La época de mayor precipitación se concentra en los meses de enero, febrero y marzo, mientras que diciembre suele ser el mes en el que comúnmente se inician las primeras lluvias (MPC, 2018).

Tabla 5

Datos meteorológicos de Sicuani 2022

MESES	Temperatura (°C)	Precipitación(mm)
Enero	10.81	129.18
Febrero	10.86	129.72
Marzo	10.71	116.76
Abril	9.88	42.06
Mayo	7.83	7.8
Junio	6.61	4.68
Julio	6.85	4.56
Agosto	8.68	5.7
Setiembre	10.59	9.12
Octubre	11.20	36.84
Noviembre	11.72	93.18

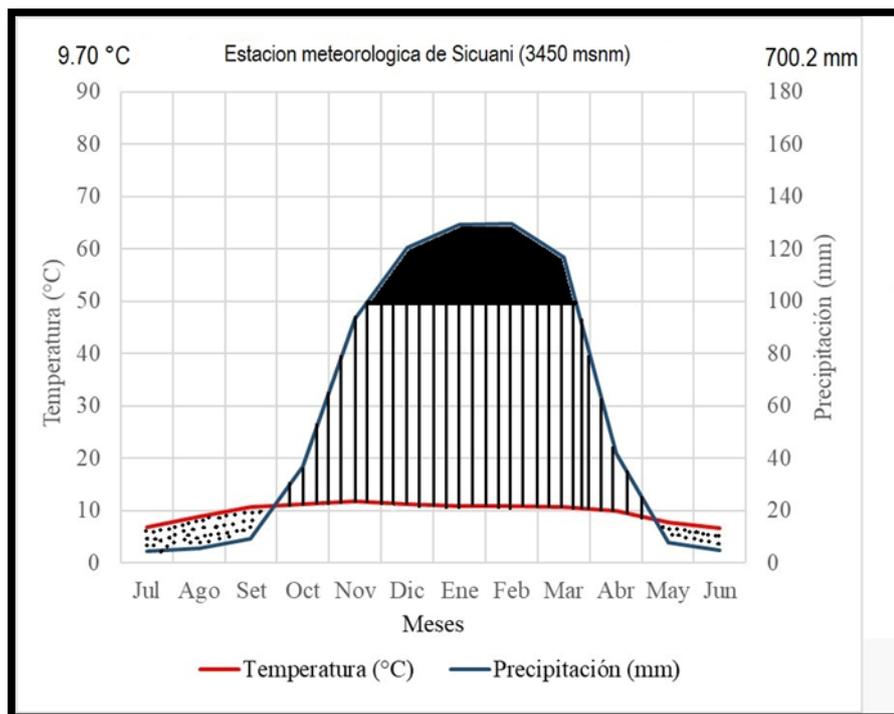
Diciembre	11.18	120.6
Promedio	9.7	
Sumatoria		700.2

Nota: Estación meteorológica de Sicuani - 2022

En Sicuani, las temperaturas anuales promedio se mantienen alrededor de los 9.7 °C, con la presencia de temperaturas más bajas desde mayo hasta agosto. Sin embargo, los meses de junio y julio experimentan los descensos más frecuentes e intensos en las temperaturas cuyos valores son de 6.61 °C y 6.85 °C respectivamente. Durante el mes de noviembre, se registra el valor más alto de alrededor de 11.72 °C.

Figura 9

Climatodiagrama de la estación meteorológica de Sicuani 2016 – 2022.



Nota: En base a datos de SENAMHI, (2023).

Según se muestra en la Figura 16, se pueden identificar dos períodos distintos: uno de lluvias que abarca desde octubre hasta abril, con los meses más intensos de precipitación entre diciembre y marzo, acumulando un total de 496.26 mm. El otro periodo es de sequía, donde la precipitación es escasa desde mayo hasta septiembre. La cantidad total de precipitación anual acumulada es de 700.2 mm.

2.10. Población y generación de residuos sólidos.

Según el instituto nacional de estadística en el distrito de Sicuani, cuenta con una población de 57,827 habitantes, de las cuales 47,386 habitantes de la población se acentúan en el área urbano que representa el 82% de la población, 10,441 habitantes se encuentran asentada en la zona rural, el cual representa el 18% de la población (INEI, 2017).

Tabla 6

Generación de residuos sólidos en la localidad de Sicuani 2022.

Generación per cápita promedio diario domiciliarios	Generación diaria en (Tn)	Generación mensual (Tn)	Generación anual (Tn)
0.47 kg/hab/día.	48.94	1477.09	17725.07

Nota: MPC, (2022).

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

MATERIALES DE CAMPO

- Frascos de plástico estériles
- Frascos de vidrio estériles
- Jarra volumétrica
- Cooler
- Potenciómetro
- Termómetro
- Cronometro
- Pipetas
- Flexómetro
- Marcadores cinta marki
- Muestra de lixiviados
- Alcohol en gel
- Equipos de protección personal
- Sistema de posicionamiento global – GPS (GARMIN)
- Cámara fotográfica
- Ficha cadena de custodia
- Otros.

MATERIAL DE LABORATORIO

- Lixiviado
- Vaso beaker

- Pipeta
- Jeringa
- Bagueta
- Probeta
- Frasco lavador
- Matraz
- Embudo
- Prueba de jarras MARCA FRATELLI GALLI, MODELO GFLOKKU.
- Balanza analítica MARCA GIBBEN, MODELO RJ50.
- Turbidímetro MARCA BANTE, MODELO TB-100.
- Cronometro
- Oxido de Calcio 80 – 95%
- Óxido de Calcio al 17%

MATERIALES DE GABINETE

- Software: ArcGis 10.5
- Software: Minitab 19
- Excel, Word, PowerPoint. u

3.2. Metodología

Esta investigación es de enfoque cuantitativo, tipo explicativa y nivel experimental. El enfoque cuantitativo por que se describen los datos analizados en laboratorio y van a ser tratados estadísticamente, es de tipo explicativa porque determina el comportamiento de causa - efecto y es de nivel experimental, busca solucionar el problema y se realiza dos mediciones una pretest y luego posttest en diferentes tiempos.

3.2.1. Determinación de parámetros físicos, químicos, bacteriológicos y concentraciones de metales en el lixiviado antes del tratamiento de coagulación –floculación.

3.2.1.1. Determinación de punto de muestreo

Los puntos de muestreo de la celda lixiviado del área degradada Chacuchayoc Pata, se determinó de acuerdo a la guía de la RM-273-2013 VIVIENDA, Estos puntos fueron seleccionados de acuerdo a la accesibilidad adecuada para los investigadores, previo a ello estos puntos fueron georreferenciados, para asegurar la precisión de la ubicación del punto de muestreo, Las coordenadas exactas de los puntos de muestreo fueron registradas con un equipo GPS marca Garmin. En cada punto se efectuaron la recolección de 10 litros de lixiviado donde se recolecta una muestra compuesta de 30 litros.

Tabla 7

Puntos de muestreo y sus volúmenes.

	Georreferenciación	Descripción de muestras	Total, de muestras (volumen)
Punto A	Norte: 8421693.0 Este: 261467.0	Fisicoquímico,	10 litros
Punto B	Norte: 8421693.5 Este: 261467.4	Bacteriológico y Metales pesados	10 litros
Punto C	Norte: 8421693.9 Este: 261467.7		10 litros
		Total:	30 litros

3.2.1.2. Toma de muestra

Para la obtención de las muestras de los lixiviados del área degradada de Chacuchayoc Pata, nos basamos en las directrices proporcionadas por el APHA, 2017 (American Public Health Association), según los métodos estandarizados descritos en el "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater". De acuerdo a esta directriz los investigadores realizaron la colecta de una muestra compuesta de 30 litros en un balde de primer uso, de donde se obtuvo el volumen requerido de lixiviado de acuerdo a la tabla 6, tabla 7 y tabla 8, para el análisis fisicoquímico, bacteriológico y metales pesados respectivamente.

3.2.1.3. Transporte de muestras

Las muestras recolectadas fueron conservadas en cadena de frío y transportadas bajo refrigeración, a una temperatura controlada de 4°C, utilizando gel packs y una caja de refrigeración para asegurar la preservación de las propiedades físicas, químicas, bacteriológicas y de metales del lixiviado hasta su análisis en laboratorio ALAB E.I.R.L. en la ciudad de Lima, autorizado por INACAL.

3.2.1.4. Análisis físicos y químicos

Las muestras serán transportadas al laboratorio ALAB E.I.R.L. siguiendo la Norma Técnica Peruana NTP 700.001-2007 del Instituto Nacional de Calidad (INACAL), que establece directrices para el muestreo y transporte, garantizando que las muestras se preserven adecuadamente para evitar alteraciones en sus características.

Tabla 8*Parámetros y métodos del análisis físicos y químicos.*

Parámetros	Tipo de envase	Volumen mínimo de muestra	Preservante	Método
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	Polietileno de alta densidad	100ml	No requiere	M. de Winkler
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Polietileno de alta densidad	100ml	25 ml de Ácido Sulfúrico (H ₂ SO ₄) para bajar el pH a < 2	M. Colorimétrico
Sólidos Totales Suspensos (SST)	Polietileno de alta densidad	1litro	No requiere	M. secado a 103 – 105°C
Aceites y Grasas	Vidrio ámbar	250ml	H ₂ SO ₄ concentrado para reducir el pH a menos de 2	M. Gravimétrico
pH	Polietileno de alta densidad	100ml	No requiere	M. electrométrico
Temperatura	Polietileno de alta densidad	100ml	No requiere	M. Conductímetro

Nota: American Public Health Association, (APHA, 2017).

3.2.1.5. Análisis bacteriológicos

El análisis bacteriológico se realizó con el propósito de detectar coliformes termotolerantes en el lixiviado del área degradada de Chacuchayoc Pata-Sicuani, antes de la aplicación de los coagulantes Sulfato de Aluminio y Óxido de Calcio. Para lo cual, se utilizó el método Número Más Probable (NMP), que permite estimar la concentración de microorganismos mediante la técnica de tubos múltiples. Este método es uno de los más recomendados por el APHA (2017) donde se encuentran los Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater; debido a su precisión en la estimación de microorganismos en muestras de agua y aguas residuales, lo que resulta fundamental para evaluar la calidad bacteriológica del agua.

Tabla 9*Detalles de la muestra para los análisis bacteriológicos.*

Parámetro	Envase	Volumen	Método
		Mínimo de	
		Muestra	
Coliformes	Frascos de	100ml	Número
totales y	vidrio		Mayor
fecales	Winkler		Probable
	Estériles		(NMP) –
			Tubos
			Múltiples

Nota: American Public Health Association (APHA, 2017)

3.2.1.6. Análisis de metales

El análisis de metales en el lixiviado del área degradada de Chacuchayoc Pata-Sicuni se llevó a cabo mediante espectrometría de emisión atómica de plasma (ICP-OES), un método altamente sensible y preciso para la identificación y cuantificación de elementos metálicos. Esta técnica permite detectar concentraciones muy bajas de metales a partir de la emisión de luz que los átomos excitados emiten cuando son sometidos a un plasma de alta temperatura. La información obtenida mediante este método es esencial para evaluar la cantidad los metales presentes en el lixiviado antes y después del tratamiento con los coagulantes inorgánicos y diseñar estrategias de gestión. La metodología sigue los procedimientos establecidos en el "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (APHA, AWWA, WEF, 2017).

Tabla 10*Detalles para el análisis de los metales del lixiviado.*

Parámetros	Vol. de muestra recogida	Vol. de muestra enviada	Tipo de envase	Preservante	Método para la detección
Aluminio (*)					
Antimonio (*)					
Arsénico (*)					
Bario (*)					
Berilio (*)					
Bismuto (*)					
Boro (*)					
Cadmio (*)					
Calcio (*)					
Cerio (*)					
Cobalto (*)					
Cobre (*)					
Cromo (*)					
Estaño (*)					
Estroncio (*)	1000ml	250 ml	Poliétileno de alta densidad	Ácido Nítrico	Espectrometría de emisión atómica (ICP – OES)
Fosforo (*)	– 1lt				
Hierro (*)					
Litio (*)					
Magnesio (*)					
Manganeso (*)					
Mercurio (*)					
Molibdeno (*)					
Níquel (*)					
Plata (*)					
Plomo (*)					
Potasio (*)					
Selenio (*)					
Sodio (*)					
Sílice (*)					
Talio (*)					
Titanio (*)					
Uranio (*)					

Nota: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WEF, 2017).

3.2.2. *Determinación del efecto de tratamiento con diferentes concentraciones de coagulante - floculante con Sulfato de Aluminio y Óxido de Calcio en la remoción de turbidez del lixiviado en condiciones de laboratorio.*

3.2.2.1. *Diseño experimental de la investigación*

El diseño experimental que se utilizó para este trabajo de investigación, es el diseño de bloques completamente al azar, así también con un diseño factorial donde tenemos dos factores de 4 niveles de coagulante y dos niveles de floculante donde se toman medidas de acuerdo a los niveles de tratamiento y bloques, así estudiar las concentraciones del coagulante y floculante, como también la remoción de turbidez, obteniendo un total de ocho pruebas experimentales cada uno con tres repeticiones, haciendo un total de 24 pruebas experimentos. El cual se explica en el siguiente cuadro.

Tabla 11

Cuadro de concentraciones de coagulante – floculante.

FACTOR	B	Concentraciones de Óxido de Calcio	
A	Niveles	1 m/l	2 m/l
Concentraciones de coagulante Oxido de calcio	1 g/l	T1:c ₁ f ₁	T2:c ₁ f ₂
	2 g/l	T3:c ₂ f ₁	T4:c ₂ f ₂
	3 g/l	T5:c ₃ f ₁	T6:c ₃ f ₂
	4 g/l	T7:c ₄ f ₁	T8:c ₄ f ₂

Tabla 12*Numero de repeticiones de pruebas.*

Rep./concentración	concentraciones de Factor A/B							
A-B								
Repetición R1	T1:c ₁ f ₁	T2:c ₁ f ₂	T3:c ₂ f ₁	T4:c ₂ f ₂	T5:c ₃ f ₁	T6:c ₃ f ₂	T7:c ₄ f ₁	T8:c ₄ f ₂
Repetición R2	T1:c ₁ f ₁	T2:c ₁ f ₂	T3:c ₂ f ₁	T4:c ₂ f ₂	T5:c ₃ f ₁	T6:c ₃ f ₂	T7:c ₄ f ₁	T8:c ₄ f ₂
Repetición R3	T1:c ₁ f ₁	T2:c ₁ f ₂	T3:c ₂ f ₁	T4:c ₂ f ₂	T5:c ₃ f ₁	T6:c ₃ f ₂	T7:c ₄ f ₁	T8:c ₄ f ₂

3.2.2.2. Toma de muestra

La toma de muestra se realizó de acuerdo a las directrices mencionada en el ítem **1.6.1.2.** se realizó la colecta en los puntos A, B y C, mencionadas en el ítem **1.6.1.1.** En cada punto se realizó la colecta de 15 litros, al finalizar se muestreo una muestra compuesta de 45 litros, para realizar el tratamiento con diferentes concentraciones de coagulante y floculante.

3.2.2.3. Determinación de coagulante y floculante**Determinación de coagulante Sulfato de Aluminio.**

(Caviedes. et al, 2015). Indica entre los coagulantes químicos que se emplean en tratamientos de lixiviado se encuentra el Sulfato de Aluminio, también conocido como Cal viva. La función principal del coagulante es favorecer la aglutinación de partículas finas suspendidas en el agua, facilitando así su posterior eliminación (Laura, 2021). Mediante el proceso de coagulación, se persiguió la eliminación de metales y partículas en suspensión al facilitar la creación de hidróxidos correspondientes.

En síntesis, la cantidad precisa de coagulante se determina según la turbidez del agua, y su adición busca generar flóculos eficientes para mejorar la claridad. Frente a lo señalado, es

imperante mencionar que, las concentraciones utilizadas en esta investigación variaron desde 1 g/l hasta 4 g/l.

Tabla 13

Dosificación del coagulante de Sulfato de Aluminio.

Variable Independiente	Concentraciones de Sulfato de Aluminio (g/l)			
	1 g/l	2 g/l	3 g/l	4 g/l
Variable Dependiente	Turbidez			

Determinación de floculante Óxido de Calcio.

Para la determinación del floculante implicó una serie de pruebas experimentales o análisis que permitieron establecer la dosificación óptima del Óxido de Calcio para lograr los resultados deseados. En el contexto del tratamiento del lixiviado, el Óxido de Calcio se utiliza como floculante, es decir, ayuda a agrupar partículas finas y coloides presentes en el agua para facilitar su eliminación durante los procesos de sedimentación y filtración. (Chevarria, 2011; Medrano, 2017)

En esta investigación, se abordaron las concentraciones de Óxido de Calcio siguiendo las indicaciones proporcionadas en la ficha técnica de ARISAGUA sobre el Óxido de Calcio al 17%, en el cual se determina las concentraciones de 1 ml/l y 2 ml/l, para el tratamiento de lixiviado.

Tabla 14

Dosificación del Óxido de Calcio.

Variable Independiente	Concentraciones de Óxido de Calcio	
	1 ml/l	2 ml/l
Variable Dependiente	Turbidez	

3.2.2.4. MÉTODO DE TEST DE JARRAS

La norma ASTM D2035:08 Standard Practice for Coagulation – Flocculation Jar Test Water, establece, mediante un ensayo de laboratorio determinar la concentración óptima de reactivo químico a utilizar con el objetivo de disminuir, el material disuelto, sólidos en suspensión, partículas coloidales (material difícil de sedimentar) y remover color, turbiedad, DBO, DQO, SST, Coliformes totales, T°, pH y metales que se encuentran en las aguas residuales, mediante el ensayo de coagulación – floculación y sedimentación. Adicional permite evaluar los efectos positivos y negativos de las concentraciones de los coagulantes y floculantes. (ICONTEC, 2010)

3.2.2.5. Procedimiento del Test de Jarras:

- Recolectar la muestra de lixiviado a tratar en el test de jarras.
- Cuantificar, medir los volúmenes de la muestra lixiviado en cada uno de los recipientes, los volúmenes deben ser iguales en todos los recipientes de 1000ml, mínimo un volumen de 1000ml. (ICONTEC, 2010)
- Ubicar el agitador magnético, en un lugar donde no haya variaciones de temperatura, in mucho flujo de aire, en un lugar liso con claridad de luz.
- Colocar el agitador magnético, ubicando el recipiente en el medio, realizar la programación de cronometro y RPM.
- Registrar la turbidez antes del ensayo.
- Pesar los reactivos químicos a adicionar en cada recipiente del ensayo, para mezclas liquidas ingresar el reactivo químico en movimiento circular.
- Accionar el agitador magnético para la homogenización de la muestra, junto con el cronometro, la velocidad y tiempo de homogenización serán menor que la de mezcla con el reactivo.
- Cumplida la homogenización de la muestra, se accionará el agitador magnético a velocidad de agitación de mezcla adicionando el reactivo químico, junto con el cronometro para no sobrepasar el tiempo de mezcla.
- Transcurrido el tiempo de mezcla, se acciona a disminuir la velocidad del agitador magnético para mantener las partículas del floc suspendidas llamado mezclado lento, sin dejar de registrar el tiempo en el cronometro.
- Posterior del mezclado lento, se retirará el recipiente a una lugar plano o liso, se observará el asentamiento de los flóculos, para la investigación se tomó un tiempo de 24 horas para el asentamiento del floculo. Se dejo en un lugar libre de brisa y donde no haya incidencia de rayos solares. (ICONTEC, 2010)

- Luego del tiempo de sedimentación, 24 horas, se evaluará los parámetros de T°, turbiedad, análisis fisicoquímicos y bacteriológicos según el D.S.003-2010-MINAM.

3.2.2.6. Ítems modificados de la norma

- ❖ Se considera para la investigación, modificar los tiempos y velocidades de agitación diferentes para la homogenización de la muestra, mezcla y formación de floc. Se considera los mismos tiempos y velocidades en las diferentes corridas o tratamientos.
- ❖ Con el propósito de la investigación se utilizó el coagulante (Óxido de Calcio) y floculante (Óxido de Calcio) para obtener los parámetros de respuesta.
- ❖ Se utilizará un Prueba de Jarras de la marca HACH, que se encuentra operativo y buenas condiciones y con la calibración correspondiente.

3.2.2.7. Parámetros del Test de Jarras

Al igual que en la prueba de coagulante, se realizó la Prueba de Jarras, aplicando agitación a 50 rpm durante 5 minutos. Esta etapa de agitación simuló las condiciones de mezcla para evaluar la capacidad del Óxido de Calcio para generar flóculos y mejorar la clarificación del agua.

Para el análisis, fue necesario un periodo de 24 horas de sedimentación, permitiendo así la evaluación de los parámetros de temperatura, turbidez y análisis fisicoquímicos y bacteriológicos, de acuerdo con el D.S.003-2010-MINAM.

Antes de llevar a cabo el ensayo de jarras como parte del diseño experimental, se ejecutó una prueba preliminar con el propósito principal de establecer el rango óptimo de dosificación de Sulfato de Aluminio. Este paso resultó fundamental para determinar la concentración óptima del coagulante para lograr una remoción óptima de turbidez.

Finalmente, en la ejecución de la Prueba de Jarras de esta investigación, se llevó a cabo la agitación a una velocidad de 50 rpm (revoluciones por minuto) durante un lapso de 5

minutos. Esta acción imita las condiciones de mezcla en un entorno controlado, ofreciendo datos significativos sobre cómo el Sulfato de Aluminio actúa como coagulante en distintas cantidades.

De acuerdo a la Figura 3, del diseño experimental del test de jarras, se realizó 02 series de tratamientos; se aplicó la concentración de Sulfato de Aluminio denominado tratamiento I en la serie I, aplicándose posterior a esta el floculante inorgánico Óxido de Calcio en la serie 2 denominada tratamiento II, cada tratamiento consta de 03 repeticiones con sus respectivas lecturas de turbidez post tratamientos para evaluar la coagulación – floculación del lixiviado tratado respecto a la remoción de turbidez.

Figura 10

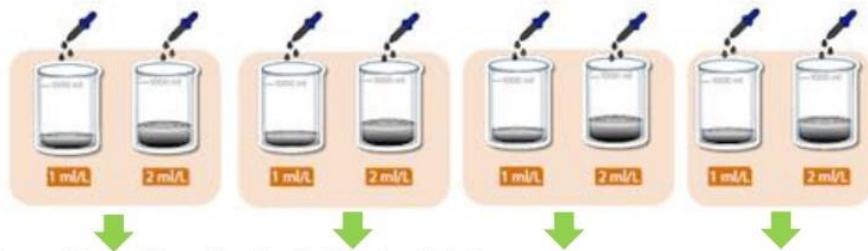
Diseño experimental de la investigación.

DISEÑO EXPERIMENTAL TEST DE JARRAS

- Lectura de turbiedad antes del tratamiento (T_0)

ETAPAS DE TRATAMIENTO

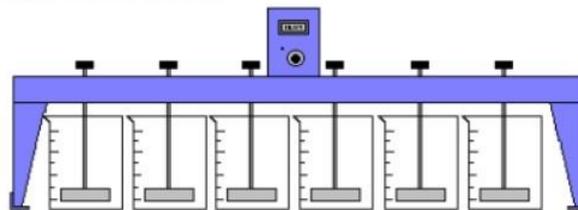
- ❖ Tratamiento I: Aplicación de Sulfato de Aluminio.



- ❖ Tratamiento II: Aplicación de Oxido de Calcio.



- ❖ Agitación 50 RPM Por 5 min.



- ❖ Sedimentación por 24 Horas - Lectura de turbiedad después del tratamiento.

3.2.2.8. Lectura de turbiedad – método de turbidimetría

Se llevó a cabo la medición de la turbidez en la muestra de lixiviado antes de someterla al tratamiento, utilizando un turbidímetro de la marca HACH.

Para el manejo y procedimiento de un turbidímetro se requiere un cuidado meticuloso del material. Es esencial garantizar que los recipientes de vidrio que albergan las muestras estén completamente limpios, sin huellas dactilares ni suciedad, tanto en el exterior como en el interior, y se deben limpiar con papel antes de cada medición (Noriega, 2021). En el proceso de lectura de las muestras, se inicia encendiendo el turbidímetro y realizando la medición de la muestra en blanco, que consiste en agua destilada y se utiliza para verificar que el equipo esté calibrado de manera precisa. Si la muestra en blanco no registra un valor de 0.00, se recomienda limpiar la celda de manera adecuada y repetir la lectura. Es importante señalar que el turbidímetro HACH tiene una capacidad máxima de cálculo de 1000 NTU.

3.2.2.9. Análisis estadístico mediante ANOVA de 2 vías

Los datos se sometieron a análisis y procesamiento mediante el software estadístico Minitab 19, utilizando un diseño experimental basado en un diseño factorial completo de dos factores: Sulfato de Aluminio y Óxido de Calcio. En este diseño, se consideraron cuatro niveles para el Sulfato de Aluminio y dos niveles para el Óxido de Calcio. Cabe destacar que se realizaron tres réplicas de cada combinación, tal como se detalla en la tabla 1. La variable de interés en este diseño fue el porcentaje de remoción de turbidez (%), y los efectos de los factores en esta variable se analizaron y procesaron a través del software estadístico.

El análisis estadístico incluyó la aplicación de pruebas como el análisis de varianza (ANOVA), la creación de gráficos de probabilidad de residuales, gráficos de efectos principales, gráficos de interacción, gráficos de contorno y el diagrama de Pareto como parte de la evaluación de

hipótesis y la interpretación de los resultados, para determinar la significancia de los factores se utilizó la prueba de Tukey

3.2.3. *Determinación de parámetros físicos, químicos, bacteriológicos y metales después del tratamiento con coagulante – floculante en el lixiviado.*

3.2.3.1. Análisis físicos y químicos

La colecta para el análisis fisicoquímico, se realizó en el laboratorio FLOWEN S.A.C. donde se seleccionó la muestra tratada donde hubo mejor remoción de turbidez, se utilizaron métodos específicos y estandarizados siguiendo los procedimientos de **ítems 3.2.1.4.** para luego ser analizados en el laboratorio ALAB E.I.R.L.

3.2.3.2. Análisis bacteriológico

La colecta para el análisis bacteriológico, se realizó en el laboratorio FLOWEN S.A.C. donde se seleccionó la muestra tratada donde hubo mejor remoción de turbidez, se utilizaron métodos específicos y estandarizados siguiendo los procedimientos de **ítems 3.2.1.5.** para luego ser analizados en el laboratorio ALAB E.I.R.L.

3.2.3.3. Análisis de metales

La colecta para los metales pesados, se realizó en el laboratorio FLOWEN S.A.C. donde se seleccionó la muestra tratada donde hubo mejor remoción de turbidez, se utilizaron métodos específicos y estandarizados siguiendo los procedimientos de **ítems 3.2.1.6.** para luego ser analizados en el laboratorio ALAB E.I.R.L.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. *Parámetros físicos, químicos, bacteriológicos y concentración de metales, en el lixiviado antes del tratamiento de coagulación – floculación.*

4.1.1. Análisis físicos y químicos

Los resultados revelaron información sobre la caracterización de los parámetros de lixiviados sin tratamiento en la siguiente tabla para una mejor comprensión se pone la normativa vigente, visualización de los datos obtenidos.

Tabla 15

Caracterización de los parámetros del lixiviado.

PARAMETRO	UNIDAD	LIXIVIADO	LMP PTAR Domestico MINAM 2010
pH	Unidad de pH	8.12	8.5
Temperatura	°C	23	35
DBO	mg/L	2155.7	100
DQO	mg/L	4592.7	200
SST	mg/L	904	150
Aceites y Grasas	mg/L	3	20

Nota: LMP – 1: son los límites máximos permisibles de PTAR planta de tratamientos de aguas residuales domesticas según el MINAM – 2010.

Los resultados del análisis físicos y químicos del lixiviado obtenidos del área degradada de Chacuchayoc Pata revelan una alta carga contaminante, evidenciada en valores que superan ampliamente los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por el MINAM (2010) para aguas residuales tratadas en plantas de tratamiento doméstico (PTAR). Se observó que parámetros como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) presentan concentraciones muy elevadas, con 2155.7 mg/L y 4592.7 mg/L respectivamente, cuando el límite permitido es de solo 100 mg/L para la DBO y 200 mg/L para

la DQO. Asimismo, los Sólidos Suspendidos Totales (SST) alcanzaron 904 mg/L, superando también el límite de 150 mg/L. Aunque el pH (8.12) y la temperatura (23 °C) se encuentran dentro de los rangos aceptables.

4.1.2. Análisis bacteriológicos

El resultado microbiológico, realizado al lixiviado antes del tratamiento evidencian una severa contaminación bacteriológica, ya que la concentración de coliformes termotolerantes alcanzó los 45,000.00 NMP/100 ml, superando el límite máximo permisible (10,000 NMP/100 ml) establecido en el D.S. N° 003-2010-MINAM para aguas residuales domésticas tratadas. Este elevado nivel de contaminación indica un alto riesgo sanitario y ambiental, resalta la urgencia de aplicar un tratamiento adecuado para reducir la carga bacteriana en el lixiviado.

Tabla 16

Concentración de Coliformes Totales y fecales del lixiviado antes del tratamiento.

PARAMETRO	UNIDAD	LIXIVIADO	LMP-1
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	45,000.00	10,000.00

Nota: LMP – 1 son los límites máximos permisibles de PTAR planta de tratamientos de aguas residuales domesticas según el MINAM – 2010.

4.1.3. Concentración de metales

En la Tabla 15 se muestran valores de metales del lixiviado antes del tratamiento, según (Lordoñes Et. Alt, 2016) nos indica los elementos alta densidad mayor a 4gr/cm³ son metales pesados las cuales son: Al, Ba, Be, Co, Cu, Sn, Fe, Mn, Cd, Hg, Pb, Ar, Cr, Mo, Ni Ag, Se, Tl, Va, Au, y Fe, tenemos el siguiente resultado donde se muestran valores.

Tabla 17*Análisis de metales pesados del lixiviado sin tratamiento.*

Mestales pesados	Unidad	Antes del Tratamiento
Aluminio (*)	mg/l	1.738
Antimonio (*)	mg/l	0.006
Arsénico (*)	mg/l	0.008
Bario (*)	mg/l	0.6125
Berilio (*)	mg/l	0.001
Bismuto (*)	mg/l	0.030
Boro (*)	mg/l	2.315
Cadmio (*)	mg/l	0.0004
Calcio (*)	mg/l	68.76
Cerio (*)	mg/l	0.07
Cobalto (*)	mg/l	0.007
Cobre (*)	mg/l	0.0176
Cromo (*)	mg/l	0.6747
Estaño (*)	mg/l	0.003
Estroncio (*)	mg/l	0.6583
Fosforo (*)	mg/l	17.86
Hierro (*)	mg/l	17.57
Litio (*)	mg/l	0.0009
Magnesio (*)	mg/l	46.51
Manganeso (*)	mg/l	0.267
Mercurio (*)	mg/l	0.0002
Molibdeno (*)	mg/l	0.002
Níquel (*)	mg/l	0.001
Plata (*)	mg/l	0.007
Plomo (*)	mg/l	0.006
Potasio (*)	mg/l	2452.95
Selenio (*)	mg/l	0.005
Sodio (*)	mg/l	1657.566
Sílice (*)	mg/l	22.421
Talio (*)	mg/l	0.001
Titanio (*)	mg/l	0.002
Uranio (*)	mg/l	0.020
Vanadio (*)	mg/l	0.3230
Zinc (*)	mg/l	0.4784

4.2. Efecto del tratamiento con diferentes concentraciones de coagulante - floculante en la remoción de turbidez del lixiviado en condiciones de laboratorio.

4.2.1. Lectura de turbidez

Según los datos de la Tabla 16, se registró una turbidez de 151.30 NTU inicial del lixiviado antes de la prueba de coagulación - floculación. Seguidamente se realizó la prueba de coagulación - floculación con la incorporación de las 02 diferentes concentraciones de Sulfato de Aluminio y 04 concentraciones de Óxido de Calcio en combinación en las etapas T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7 y T8 registrándose un total de 24 ejecuciones experimentales.

Tabla 18

Medición de la turbidez del lixiviado antes del tratamiento de coagulación – floculación.

Tratamientos	Sulfato de Aluminio (ml/l)	Óxido de Calcio (g/l)	Turbidez (NTU)	Remoción de turbidez (%)
Sin tratamiento	0	0	151.30	0.00
T1	1	1	61.40	59.42
	1	1	62.25	58.86
	1	1	55.92	63.04
T2	2	1	33.69	77.73
	2	1	22.92	84.85
	2	1	29.68	80.38
T3	1	2	2.71	98.21
	1	2	8.27	94.53
	1	2	8.34	94.49
T4	2	2	5.85	96.13
	2	2	10.98	92.74
	2	2	11.77	92.22

	1	3	4.94	96.73
T5	1	3	11.38	92.48
	1	3	15.24	89.93
	2	3	5.85	96.13
T6	2	3	13.68	90.96
	2	3	16.18	89.31
	1	4	10.39	93.13
T7	1	4	24.34	83.91
	1		24.31	83.93
	2	4	24.25	83.97
T8	2	4	30.82	79.63
	2	4	34.24	77.37

4.2.2. Descripción de remoción de turbidez (%)

En la siguiente grafica se puede observar, el tratamiento 3 hasta con 95.74% existe una mayor remoción de turbidez, el menor tratamiento es el tratamiento 1 con solamente 60.43%.

Figura 11

Remoción de turbidez del lixiviado.

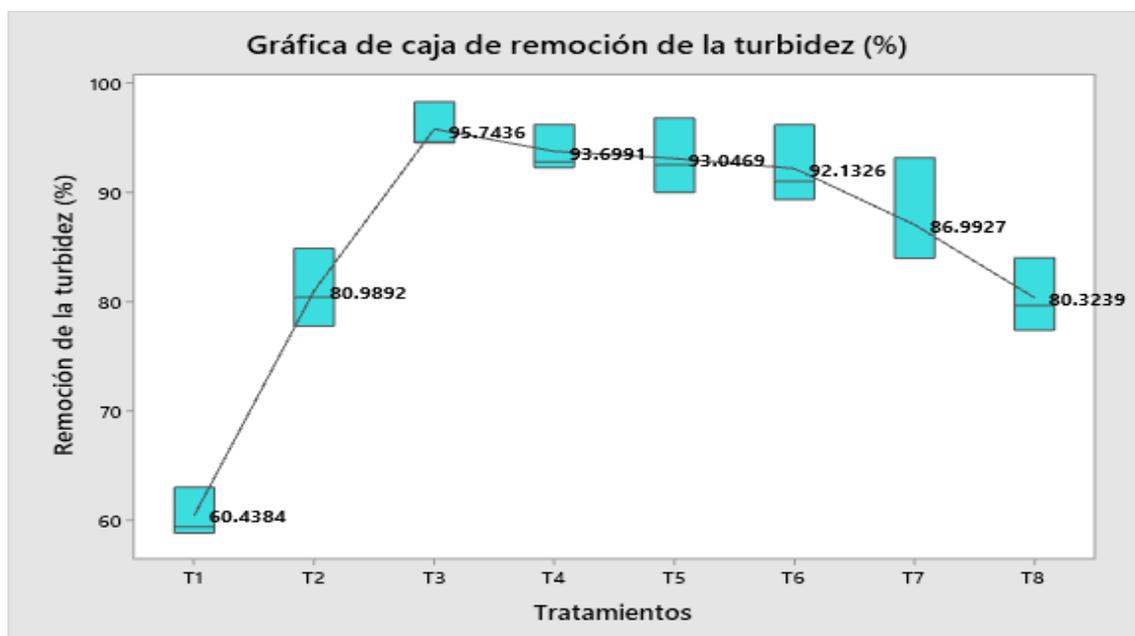


Tabla 19

Medidas de tendencia central y dispersión de la remoción de turbidez según tratamiento propuestos.

Sulfato de Aluminio (g/l)	Óxido de Calcio (ml/l)	Mínimo	Máximo	Q1	Mediana	Q3	Promedio	desv.
1ml/l	1g/l	58.86	63.04	59.14	59.42	61.23	60.44	2.27
2ml/l	1g/l	77.73	84.85	79.06	80.38	82.62	80.99	3.60
1ml/l	2g/l	94.49	98.21	94.51	94.53	96.37	95.74	2.14
2ml/l	2g/l	92.22	96.13	92.48	92.74	94.44	93.70	2.12
1ml/l	3g/l	89.93	96.73	91.21	92.48	94.61	93.05	3.44
2ml/l	3g/l	89.31	96.13	90.14	90.96	93.55	92.13	3.56
1ml/l	4g/l	83.91	93.13	83.92	83.93	88.53	86.99	5.32
2ml/l	4g/l	77.37	83.97	78.50	79.63	81.80	80.32	3.35

Los resultados de las medidas de tendencia central y dispersión muestran diferencias notables en la eficiencia de remoción de turbidez según las distintas combinaciones de concentraciones de Sulfato de Aluminio y Óxido de Calcio. Se observa que las mayores eficiencias promedio corresponden a las concentraciones de 1 ml/l de Sulfato de Aluminio con 2 g/l de Óxido de Calcio (95.74%) y 2 ml/l con 2 g/l (93.70%), evidenciando que estos tratamientos presentan no solo altos porcentajes de remoción, sino también una dispersión reducida desviación estándar cercana a 2.1.

Por el contrario, las concentraciones más bajas (1 ml/l de Sulfato de Aluminio con 1 g/l Óxido de Calcio) presentan la menor remoción promedio (60.44%) También se nota que las concentraciones más altas, como 1 ml/l con 4 g/l, aunque logran porcentajes relativamente altos (86.99%), presentan una mayor dispersión (desviación estándar de 5.32), lo que podría deberse a un exceso de reactivos que no necesariamente mejora el rendimiento del tratamiento.

4.2.3. Prueba de hipótesis estadística en el proceso de coagulación – floculación.

Las suposiciones estadísticas formuladas son las siguientes:

- H_0 : Todas las medias de la remoción de la turbidez son iguales ($\tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 = \tau_6 = \tau_7 = \tau_8$)
- H_i : Al menos una media difiere en cuanto a la remoción de la turbidez ($\tau \neq 0$)

El nivel de significancia (α) establecido es 0,05 si:

- Valor $P > 0.05$, se acepta la Hipótesis nula (H_0), se rechaza la H_1
- Valor $P < 0.05$, se acepta la H_1 , se rechaza la H_0

El análisis de varianza de dos vías presentado en la Tabla 18 permite evaluar el efecto individual y combinado de la concentración de Oxido de Calcio y Óxido de Calcio sobre la remoción de turbidez. El factor Oxido de Calcio muestra un valor $p = 0.000$, muy por debajo del nivel de significancia de 0.05, lo que indica que este factor tiene un efecto altamente significativo en la remoción de turbidez. Por su parte, el Óxido de Calcio, aunque presenta un valor p de 0.065, ligeramente superior a 0.05, no es estadísticamente significativo de forma individual al 95% de confianza, aunque sí muestra una tendencia a influir en el proceso.

La interacción entre ambos factores (Sulfato de Aluminio * Óxido de Calcio) resulta altamente significativa ($p = 0.000$), lo que sugiere que el efecto combinado de ambos tratamientos influye significativamente en la variabilidad de los resultados.

Tabla 20

Resumen de la prueba de ANOVA de 2 vías.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Sulfato de Aluminio (g/l)	3	2143.77	714.591	62.71	0.000
Óxido de Calcio (ml/)	1	44.74	44.743	3.92	0.065
Sulfato de Aluminio (g/l) * Óxido de Calcio (ml/l)	3	662.99	220.998	19.39	0.000
Error	16	182.31	11,39		
Total	23	3033.96			

Tabla 21

Prueba Tukey para la concentración de Óxido de Calcio en la remoción de turbiedad.

Óxido de Calcio (ml/l)	promedio de remoción (%)	Grupos
1 ml/l	84.06	A
2 ml/l	86.78	A

La prueba de comparación múltiple de Tukey aplicada a las concentraciones de Óxido de Calcio indica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las dos concentraciones evaluadas (1 ml/l y 2 ml/l), ya que ambas pertenecen al mismo grupo estadístico (grupo A). Aunque el promedio de remoción de turbidez es ligeramente mayor con 2 ml/l (86.78%) en comparación con 1 ml/l (84.06%), esta diferencia no es suficiente para considerarse significativa desde el punto de vista estadístico.

Tabla 22

Prueba Tukey para las concentraciones de Sulfato de Aluminio en la remoción de turbidez.

Sulfato de Aluminio (g/l)	promedio de remoción (%)	Grupos
1 gr/l	70.71	A
4 gr/l	83.66	B
3 gr/l	92.59	C
2 gr/l	94.72	C

La prueba de Tukey aplicada a las distintas concentraciones de Sulfato de Aluminio muestra diferencias estadísticamente significativas en los niveles de remoción de turbidez, como lo evidencian los diferentes grupos asignados. La concentración de 1 g/l obtuvo el promedio más bajo de remoción (70.71%) y se ubicó en el grupo A, indicando la menor eficacia. La concentración de 4 g/l, con un promedio de 83.66%, pertenece al grupo B, mostrando una mejora significativa respecto a la concentración más baja, pero sin alcanzar la eficiencia de las

concentraciones superiores. Por otro lado, las concentraciones de 3 g/l (92.59%) y 2 g/l (94.72%) se ubicaron en el grupo C, con los valores más altos de remoción y sin diferencias significativas entre ellas.

Tabla 23

Prueba Tukey para la interacción de la concentración de Óxido de Calcio y Sulfato de Aluminio en la remoción de turbidez.

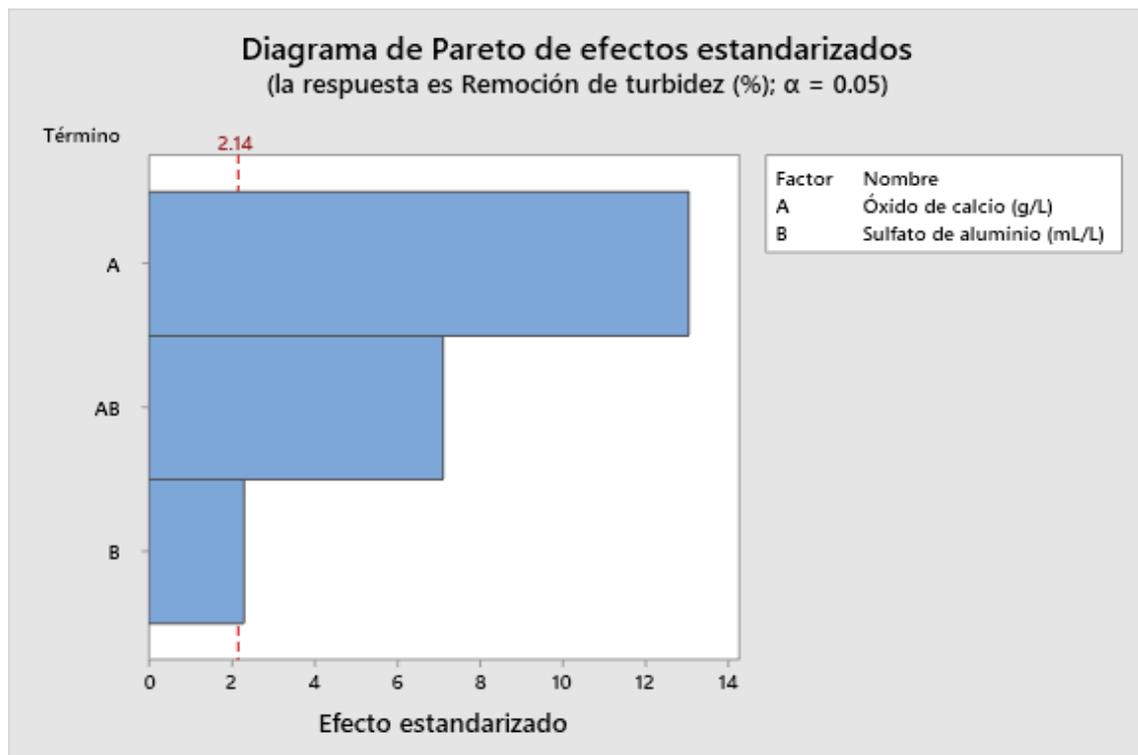
Óxido de Calcio (g/l)	Sulfato de Aluminio (ml/l).	promedio de remoción (%)	Grupos
1 gr/l	1 ml/l	60.44	A
4 gr/l	2 ml/l	80.32	B
1 gr/l	2 ml/l	80.99	B
4 gr/l	1 ml/l	86.99	B C
3 gr/l	2 ml/l	92.13	C
3 gr/l	1 ml/l	93.05	C
2 gr/l	2 ml/l	93.70	C
2 gr/l	1 ml/l	95.74	C

La prueba de Tukey aplicada a la interacción entre las concentraciones de Sulfato de Aluminio y Óxido de Calcio revela diferencias estadísticamente significativas en la remoción de turbidez según la combinación de ambos factores. La combinación 1 g/l de Sulfato de Aluminio con 1 ml/l de Óxido de Calcio obtuvo el promedio más bajo de remoción (60.44%) y pertenece al grupo A, evidenciando una baja eficacia del tratamiento. En contraste, las combinaciones que emplean 2 g/l o 3 g/l de Sulfato de Aluminio, con cualquiera de las concentraciones de Óxido de Calcio (1 o 2 ml/l), alcanzaron los promedios de remoción más altos (entre 92.13% y 95.74%) y se agruparon estadísticamente en el grupo C, lo que indica una alta efectividad sin diferencias significativas entre ellas. Las combinaciones más eficientes son aquellas que emplean concentraciones intermedias de Sulfato de Aluminio (2g/l a 3 g/l), independientemente del nivel de Óxido de Calcio.

En la Figura 11, se muestra que la concentración de Sulfato de Aluminio (A) tiene un mayor efecto en la remoción de la turbidez que la concentración de Óxido de Calcio (B) pero en general influyen de manera positiva.

Figura 12

Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.



Nota: Resultados obtenidos en el software estadístico Minitab 19.

4.2.4. Prueba de normalidad en el análisis de ANOVA de 2 vías.

Para la verificación del modelo es adecuado se interpreta os residuos (e_{ij}), que resultan de la diferencia entre la respuesta observada (Y_{ij}) y la respuesta predicha (\hat{Y}_{ij}) por el modelo en cada tratamiento, expresados como $e_{ij} = Y_{ij} - \hat{Y}_{ij}$. La verificación de la normalidad de los residuos se realiza mediante la prueba de normalidad de Anderson Darling, evaluando las hipótesis estadísticas en la Tabla 22.

Tabla 24

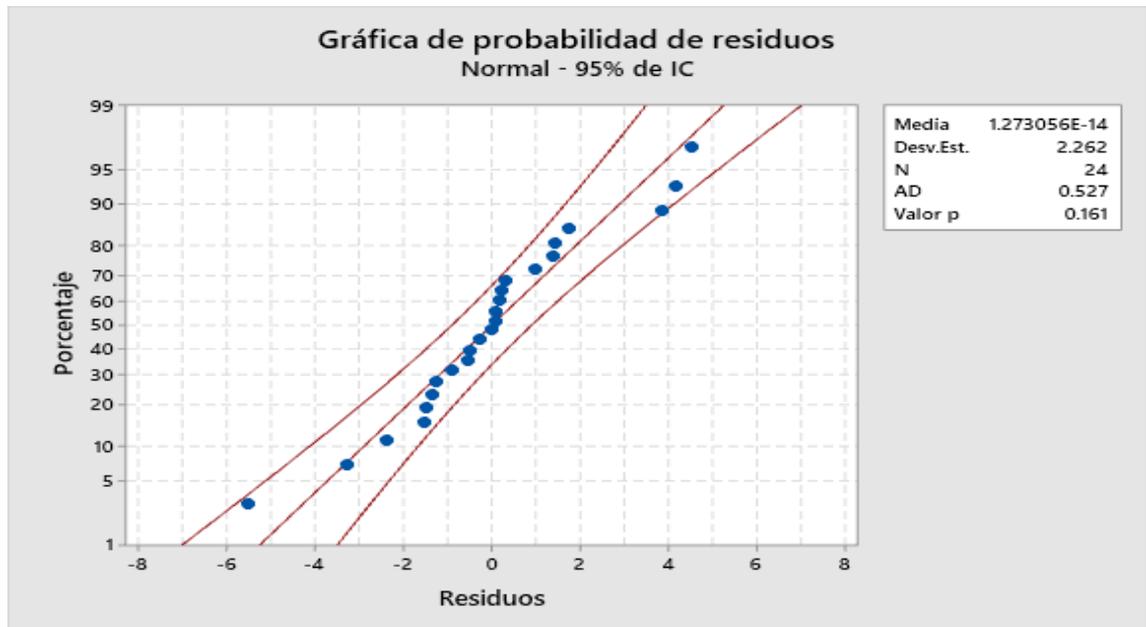
Prueba de Normalidad de los datos analizados.

H_0 : Los residuos siguen una distribución normal
H_i : Los residuos no siguen una distribución normal.
Nivel de significancia (α) = 0.05.
Si el valor $p < \alpha$, se rechaza H_0 ; si el valor $p > \alpha$, no se rechaza H_0 .

En la Figura 12, que representa la condición de normalidad, se observa que, dentro de un intervalo de confianza del 95%, los datos están relativamente cercanos a la línea de distribución normal ajustada, con un coeficiente de correlación (AD) = 0.527. Además, el valor $p = 0.161$ es mayor que el nivel de significancia de 0.05. En consecuencia, no existe evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula (H_0), llevándonos a concluir que los datos siguen una distribución normal.

Figura 13

Representación de la prueba de Normalidad.



4.3. Cambios en los parámetros físicos, químicos, bacteriológicos y de metales después del tratamiento con coagulante –floculante en el lixiviado.

4.3.1. Parámetros físicos y químicos después de la coagulación –floculación del lixiviado.

La Tabla 23, muestra que después del tratamiento del lixiviado con Sulfato de Aluminio y Óxido de Calcio se llegó a una remoción de la DQO del 89.78%, DBO₅ del 89.87%, Aceites y grasas del 63.33%, SST del 89.27% 6 y Coliformes Termotolerantes del 60.00%.

Tabla 25

Parámetros físicos y químicos del lixiviado después de la coagulación –floculación.

Parámetros	Unidades	LMP	Antes del tratamiento	Después del tratamiento	Remoción (%)
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	200.0	4592.7	469.3	89.78
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	100.0	2155.7	218.3	89.87
Aceites y Grasas	mg/l	20.0	3.0	1.1	63.33
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	150.0	904.0	97.0	89.27
pH	Unidad de pH	6.5-8.5	8.12	7.00	-
Temperatura	(°C)	<35	23.0	23.0	-

Nota: Resultados físicos y químicos realizados en el laboratorio ALAB E.I.R.L.

4.3.2. Coliformes Termotolerantes y Fecales del Lixiviado después de la coagulación – floculación.

El resultado obtenido del análisis de Termotolerantes se puede observar que en la Tabla 24, donde los valores que se obtuvieron se encuentran dentro de los límites máximos permisibles de acuerdo al D.S. N°003 – 2010 MINAN.

Tabla 26

Coliformes Termotolerantes y fecales después de la coagulación – floculación.

Parámetro	Unidad	LMP	Lixiviado antes del Tto	Lixiviado después del Tto	Porcentaje de remoción
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	10000	45,000.00	1.8	99.99%

4.3.3. Metales Presentes de los lixiviados después de la coagulación – floculación

La tabla N° 25 nos muestra resultados antes, después del tratamiento y porcentaje de remoción, de los diferentes metales totales, podemos mencionar la remoción de los siguientes metales totales: Ba, Br, Cu, Cr, P, Fe, Mg, Mn, K, Na, Si, Va, y Zn, entre estas podemos mencionar los metales pesados que fueron removidos: Cu y Cr finalmente se observa el aumento de concentración de Al y Ca.

Tabla 27

Resultados de los análisis de metales después del tratamiento de coagulación - floculación del lixiviado.

Mestales pesados	Unid.	Antes del T.	Después del T.	Remoción (%)
Aluminio (*)	mg/l	1.738	24.378	-1302.65
Antimonio (*)	mg/l	0.006	0.006	0.00
Arsénico (*)	mg/l	0.008	0.008	0.00
Bario (*)	mg/l	0.6125	0.0261	95.74
Berilio (*)	mg/l	0.001	0.001	0.00
Bismuto (*)	mg/l	0.030	0.030	0.00
Boro (*)	mg/l	2.315	0.419	81.90
Cadmio (*)	mg/l	0.0004	0.0004	0.00
Calcio (*)	mg/l	68.76	321.89	-368.15
Cerio (*)	mg/l	0.07	0.07	0.00
Cobalto (*)	mg/l	0.007	0.007	0.00
Cobre (*)	mg/l	0.0176	0.0066	62.50
Cromo (*)	mg/l	0.6747	0.0008	99.88
Estaño (*)	mg/l	0.003	0.003	0.00
Estroncio (*)	mg/l	0.6583	0.6583	0.00
Fosforo (*)	mg/l	17.86	0.15	99.16
Hierro (*)	mg/l	17.57	0.004	99.98
Litio (*)	mg/l	0.0009	0.0009	0.00
Magnesio (*)	mg/l	46.51	2.07	95.54
Manganeso (*)	mg/l	0.267	0.0002	99.93
Mercurio (*)	mg/l	0.0002	0.0002	0.00
Molibdeno (*)	mg/l	0.002	0.002	0.00
Níquel (*)	mg/l	0.001	0.001	0.00
Plata (*)	mg/l	0.007	0.007	0.00
Plomo (*)	mg/l	0.006	0.006	0.00
Potasio (*)	mg/l	2452.95	412.33	83.19
Selenio (*)	mg/l	0.005	0.005	0.00
Sodio (*)	mg/l	1657.566	300.911	81.85
Sílice (*)	mg/l	224.21	3.42	98.47
Talio (*)	mg/l	0.001	0.001	0.00
Titanio (*)	mg/l	0.002	0.002	0.00
Uranio (*)	mg/l	0.020	0.020	0.00
Vanadio (*)	mg/l	0.3230	0.0102	96.84
Zinc (*)	mg/l	0.4784	0.0215	95.51

DISCUSIONES

En relación a los sólidos en suspensión se ha comprobado que el uso Aluminio como coagulante puede llevar a una reducción de hasta en un 55 % según lo evidenciado en el estudio de Aliaga (2010). Mientras tanto, en la presente investigación se obtuvo el resultado de reducción 89.27%. Demostrándose así la efectividad del coagulante en la disminución de ese parámetro.

En el estudio llevado a cabo por Dávila (2013), se concluyó que la estrategia más eficaz consistía en implementar un procedimiento que abarcara la aireación, coagulación, floculación y cloración con hipoclorito de sodio. Mediante este enfoque, se logró una asombrosa reducción del 99.23% en la Demanda Química de Oxígeno (DQO). Además, otros parámetros como el pH, nitrógeno amoniacal, DBO5 y sólidos totales también experimentaron mejoras significativas. En el desarrollo de este estudio, se implementó la coagulación mediante el uso de Sulfato de Aluminio, alcanzando una reducción del 89.78% en la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y porcentajes significativos en otros parámetros.

Champi et.al (2014) llevo a cabo su investigación de la caracterización de lixiviados en los distritos de Pisac, Coya, Lamay y Calca de acuerdo al decreto supremo N° 003- 2010-MINAM que da los siguientes resultados T°:21,22,28 y 23°C respectivamente, el pH fue de 8.3, 7.5, 8.2 y 7.6 ;los SST que fueron 2500, 220, 250 y 3000 mg/L; la DBO es 600, 30, 80 y 400 mg/l; la DQO fue de 1800,80,120 y 1600 mg/l; Aceites y Grasas no menciona; Coliformes Termotolerantes con 455 000, 100 000, 3 900 y 1 350 000 NMP/100ml y metales pesados solo caracterizo tres los cuales son Pb con un valor de 0.01, 0.01, 0.02 y 0.02 mg/L; Cd con resultados de 0.00, 0.00, 0.00 y 0.001 mg/l; Cr: 0.01, 0.01, 0.01 y 0.01 mg/.Mientras tanto en nuestra investigación realizado en el área degradada de Chacuchayoc Pata de la localidad de Sicuani siguiendo la normativa del D.S. N° 003-2010-MINAM, reporto los siguientes

resultados : $T^{\circ} = 23^{\circ}\text{C}$, $\text{pH} = 8.12$, $\text{SST} = 904\text{mg/l}$, $\text{DBO} = 2155.7 \text{ mg/l}$, $\text{DQO} = 4592.7\text{mg/l}$, Aceites y Grasas = 3 ml/L y Coliformes Termotolerantes = 45,000.00 NMP/100ml.

En cuanto a los resultados mantienen una similitud, de acuerdo a la normativa D.S. 003-2010-MINAM los parámetros que cumplen con los LMP son T° y pH , los demás parámetros SST, DBO, DQO, Aceites y Grasas y Coliformes Termotolerantes se encuentran fuera de los LMP, podemos concluir que ambas investigaciones presentan una similitud en los resultados de caracterización de lixiviado.

Arredondo (2022) en su investigación de Haqira realizo la caracterización, tratamiento de lixiviado donde el resultado inicial de los parámetros analizados fueron: $T^{\circ} = 14^{\circ}\text{C}$, $\text{pH} = 7.5$, $\text{SST} = 24200 \text{ mg/l}$, $\text{DBO} = 4000 \text{ mg/l}$, $\text{DQO} = 12000 \text{ mg/l}$ y Aceites y Grasas = 23 ml/l indica que se encuentran fuera de los LMP según D.S. 003-2010-MINAM, posteriormente realizo el tratamiento de coagulación – floculación con Hidróxido de Sodio y Cloruro Férrico en condiciones de laboratorio su único parámetro a tratar fue DBO, después de su tratamiento dio un resultado de 4 mg/L. Los resultados de la caracterización de lixiviado del área degradada de Chacuchayoc Pata antes del tratamiento son: $T^{\circ} = 23^{\circ}\text{C}$, $\text{pH} = 8.12$, $\text{SST} = 904\text{mg/l}$, $\text{DBO} = 2155.7 \text{ mg/l}$, $\text{DQO} = 4592.7\text{mg/l}$, Aceites y Grasas = 3 ml/l y Coliformes Termotolerantes = 45,000.00 NMP/100ml; y los resultados después del tratamiento de lixiviado $\text{DBO} = 218.3\text{mg/l}$.

Podemos concluir que los parámetros analizados en la caracterización del lixiviado antes del tratamiento nos indica que los parámetros tratados son similares a excepción de DBO y Aceites y Grasas superan exponencialmente en el botadero de Haqira, en cuanto lo que es el tratamiento en el batadero de Haqira únicamente se evalúa el parámetro de $\text{DBO} = 4\text{mg/l}$ y en el resultado de DBO de Chacuchayoc Pata da 218.3 mg/l, en ambos tratamientos existe

remoción de dicho parámetro, pero en el tratamiento de lixiviado de Haquira existe una mejor remoción en DBO.

De acuerdo al D.S. 003- 2010- MINAM – LMP para Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas y Municipales nos indica los valores de parámetros como: Aceites y Grasas =20 ml/l, DBO = 100mg/l, DQO = 200mg/l, pH = 6.5 – 8.5, SST = 150 ml/l, T° = < 35 °C y Coliformes Termotolerantes =10 000. Los resultados de la caracterización de lixiviado del área degradada de Chacuchayoc Pata antes del tratamiento son los siguientes: T° = 23°C, pH = 8.12, SST = 904mg/l, DBO = 2155.7 mg/l, DQO = 4592.7mg/l, Aceites y Grasas = 3 ml/L y Coliformes Termotolerantes = 45,000.00 NMP/100ml y los resultados después del tratamiento T° = 23°C, pH = 7, SST = 97mg/l, DBO = 218.3 mg/l, DQO = 469.3mg/l, Aceites y Grasas = 1.1 ml/l y Coliformes Termotolerantes = 1.8 NMP/100ml.

Podemos concluir ante la normativa nacional que ninguno de los parámetros antes del tratamiento cumplían con el LMP excepto temperatura, pH y Aceites y Grasas, los demás parámetros DBO, DQO, SST y Coliformes Termotolerantes no cumplen con los LMP y después del tratamiento los parámetros de Aceites y Grasas, SST, pH, T° y Coliformes Termotolerantes están dentro de los LMP, excepto DQO y DBO se encuentran fuera de los LMP, pero cabe indicar que estos dos parámetros tuvieron una remoción del 89.78% y 89.87% respectivamente.

CONCLUSIONES

1. Las características fisicoquímicas, bacteriológicas y de metales del lixiviado previo al proceso de coagulación-floculación indican una alta contaminación. La muestra presenta una turbiedad inicial de 151.30 NTU, acompañado de valores elevados en parámetros como pH 8.12, DBO 4592.7 mg/L, DQO 2155.7 mg/L y SST 904 mg/L. Los análisis bacteriológicos muestran una presencia significativa de coliformes, con un valor de 45,000 NMP/100 mL, evidenciando contaminación microbiológica. Además, se detectaron concentraciones de metales pesados, incluyendo aluminio (Al), bario (Ba), cobre (Cu), cromo (Cr), hierro (Fe), manganeso (Mn), vanadio (Va) y zinc (Zn), lo que indica la presencia de contaminantes tóxicos potenciales. Estos resultados resaltan la necesidad de tratamientos adecuados para reducir la carga contaminante del lixiviado antes de su vertido o reutilización.
2. Después de aplicar las diferentes concentraciones de coagulante (Oxido de Calcio) y floculante (Óxido de Calcio) al lixiviado en condiciones de laboratorio, se observó una notable eficacia en la remoción de turbidez. De forma individual el Sulfato de Aluminio tiene un valor $p = 0.000$, muy por debajo del nivel de significancia de 0.05, lo que indica que este factor tiene un efecto altamente significativo en la remoción de turbidez y el Óxido de Calcio aunque presenta un valor p de 0.065, ligeramente superior a 0.05, no es estadísticamente significativo, pero tiene una tendencia a influir en el proceso, la interacción de ambos (Oxido de Calcio más Óxido de Calcio) resulta altamente significativa($p= 0.000$) lo cual influye en la variabilidad de los resultados. El tratamiento 3 con la concentración (2 g/l coagulante y 1 ml/L floculante) logró la remoción máxima de 95.74%, mientras que el tratamiento 1 con concentración de (1g/l de coagulante y 1ml/l de floculante) mostró una remoción mínima del 60.44%.

Las mejores remociones de turbidez se obtuvieron con los tratamientos T3, T4, T5 y T6 con valores de (T3:6.44 NTU; T4:9.533 NTU; T5:10.520 NTU y T6:11.903 NTU)

Se sugieren que ambas concentraciones contribuyen positivamente al proceso.

3. Los análisis en los cambios de los parámetros físicos, químicos, bacteriológicos y metales se pudo ver que el tratamiento 3 indico la reducción donde se obtuvo que la mejor concentración de Sulfato de Aluminio es 2g/l y la mejor concentración de Óxido de Calcio es de 1ml/l y respecto a su reducción son del 89.78% en la DQO, un 89.87% en la DBO, un 63.33% en aceites y grasas, un 89.27% en SST, respecto a los coliformes totales se reduce en 99.99% estos valores se encuentran dentro de los LMP establecidos por las regulaciones del Decreto Supremo N°010-2010 MINAM, excepto la DBO y DQO lo que indica una mejora significativa en la calidad de lixiviado y la concentración de metales pesados se reduce en un porcentaje de remoción de 99.93% hasta un 62.50% en el caso de Aluminio y Calcio aumenta los valores.

RECOMENDACIONES

- Se requiere monitorizar la caracterización del lixiviado periódicamente, para poder determinar los parámetros fisicoquímicos, bacteriológicos y metales pesados, presentes en la celda de lixiviación.
- Se necesita realizar pruebas de investigación adicional del lixiviado tratado para disminuir la DBO y DQO para que estos parámetros puedan cumplir los LMP.
- Realizar el cálculo de volumen de lixiviado presente en la celda para aplicar la concentración óptima calculada de esta investigación en condiciones de gran escala o campo.
- Determinar el parámetro de temperatura in situ en la celda de lixiviado, ya que es crucial para poder determinar la cantidad de insumos químicos, ya que la densidad es un factor importante que puede aumentar o disminuir la cantidad de insumos químicos.
- Se requiere el techado de las celdas de lixiviado, para evitar el aumento del volumen de lixiviado por las condiciones meteorológicas de la zona.
- Se recomienda a la entidad responsable del área degradada, disminuir de residuos sólidos con alta humedad para evitar la alta cantidad de lixiviado.
- Buscar una investigación sobre los lodos producidos en el tratamiento del lixiviado para complementar un adecuado tratamiento.

REFERENCIA BIBLIOGRAFÍA

- Aliaga, S. (2010). *Aplicación del proceso Fenton y coagulación-Floculación para la regeneración de aguas depuradas*. España: Escuela Universitaria de Ingeniería técnica industrial de Zaragoza.
- Arredondo Licona, D. K. (2022). *Disminución de la DBQO del lixiviado del botadero de Haqira mediante procesos de coagulación-floculación región-Cusco*. Cusco: Universidad Continental.
- Cárdenas, Y. A. (2000). *Tratamiento de agua Coagulación y Floculación*. Lima: SEDAPAL.
- Cedeño, G. (2018). Eficiecnia del proceso de coagulacion floculacion aplicado como tratamiento en efluentes industriales de refinacion de aceites comestibles.
- Champi Ayma, M., & Villalba Balsa, V. (2014). *Evaluación de la contaminación por disposición final de residuos sólidos en los centros poblados de Pisac, Coya, Lamay y Calca -Región Cusco*. Cusco: Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.
- Chávez Montes, W. M. (2011). *Tratamiento de lixiviados generados en el relleno sanitario de la Cd. de Chihuahua, Méx.* Chihuahua-México: Centro de investigación en materiales avanzados.
- Chevarria, N., & Loayza, S. G. (2011). *Tratamiento de los Lixiviados de Jaqira con Coagulantes*. Cusco: Univeridad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Cobos Ruiz, M., & Costa Sinacay, M. (2011). *Lixiviado de residuos sólidos del relleno sanitario manual de Nauta y su genotoxicidad en Eisenia foetida "lombriz roja"*. Iquitos: Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.

- Corena Luna, M. d. (2008). *Sistemas de tratamientos para lixiviados generados en rellenos sanitarios*. Bolivia: Universidad de Sucre.
- Damian, M. Y. (2018). *Tratamiento de lixiviados en la etapa de compostaje mediante el proceso de coagulación con mucilago de Opuntia Ficus Indica*. Huancayo, Peru. Obtenido de <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5610>
- Dávila Cifuentes, M. A. (2013). *Estudio del Sistema de tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario de Lago Agrio*. Quito-Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- E.W., R., Baird, R., & A.D., E. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition*. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.
- Espinoza, T. (2005). *Impacto de la minería en la calidad del agua en la microcuenca del Río Artiguas. Énfasis en metales pesados*. Managua: UCA.
- Etapas del tratamiento físico químico*. (s.f.). Recuperado el Viernes 13 de Octubre de 2023, de LIBRARY: <https://1library.co/article/etapas-del-tratamiento-f%C3%ADsico-qu%C3%ADmico-desaceitado-desengrasado.q7x0jmry>
- Fischer, R. B., & Peters, D. G. (1997). *Análisis químico cuantitativo*. Madrid.
- García, M. (2005). *Evaluación de lixiviados en la planta de tratamiento de residuos*. Cusco: Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.
- Huamán, S., & Jordán, J. (2013). *Tratamiento de lixiviados de Jaquira con coagulantes*. Cusco: Universidad San Antonio Abad del Cusco.
- INEI-Oficina Departamental de Estadística e informática Cusco. (2017). *Compendio estadístico Cusco*. Cusco.

Jihuallanca Florez, J. (2020). *Impacto Ambiental del Botadero Controlado de residuos sólidos en el distrito Sicuani -Canchis-Cusco*. Puno: Universidad del Altiplano de Puno.

Kjeldsen, P., Barlaz, M., Rooker, A., Baun, A., Ledin, A., & Christensen, T. (2002). Present and long-term composition of msw landfill leachate. *Rev. Env. Sci. Techno*(32), 297–336.

La turbidez en las aguas residuales. (s.f.). Recuperado el Sábado 14 de Octubre de 2023, de <https://nihonkasetu.com/es/la-turbidez-en-las-aguas-residuales/#:~:text=La%20turbidez%20es%20una%20caracter%C3%ADstica,en%20suspensi%C3%B3n%20y%20material%20coloidal>.

Laboratoriumdiscounter. (s.f.). Recuperado el 26 de Enero de 2024, de Sulfato de Aluminio: <https://www.laboratoriumdiscounter.nl/es/quimicos/a-z/a/sulfato-de-aluminio/>

Laura Mamani, A. I. (2021). *Óxido de Calcio (Cal viva) en el proceso de tratamiento de aguas residuales del distrito de Putina*. Putina-Juliaca: UANCV.

León Chimbolema, J. G., & Andrade Borja, B. F. (2021). Tratamiento biológico complementario para lixiviados como alternativa para mitigar la contaminación ambiental. Caso: botadero “Curgua”. *Polo de conocimiento*, 6(6), 1099-1115.

Martinez Lopez, A., Padrón Hernández, W., Rodríguez Bernal, O. F., Chiquito Coyotl, O., Escarola Rosas, M. A., Hernández Lara, J., . . . Martínez Castillo, J. (2014). Alternativas actuales del manejo de lixiviados. (U. d. Andes, Ed.) *Avances en Química*, 9(1), 37-47.

Medrano Pari, R. N. (2017). *Tratamiento de lixiviados del botadero de residuos sólidos de la Ciudad de Puno por el proceso de coagulación y floculación*. Puno: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO.

- MINAM. (2008). *Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento, y cierre de relleno sanitario mecanizado*. Lima.
- MINAM. (2013). *Glosario de términos de uso frecuente en la gestión ambiental*. Lima: MINAM.
- MINAM. (2023). NUEVA LEY DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS, D.L. N°1278.
- MINAN. (2023). PLAN NACIONAL DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE DEL PERÚ (MINAM). (Miércoles 17 de Marzo de 2010). Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM-Aprobación de Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales. *El Peruano*, pág. 415675.
- Morales López, Y. (2006). *Caracterización fisicoquímica de los lixiviados del relleno sanitario "Bordo Poniente"*. México: Instituto Politécnico Nacional.
- MPC. (2024). Programa de contingencia del "Botadero de Chacuchayoc Pata".
- Municipalidad provincial de Canchis. (2018). *Evaluación de impacto Ambiental: Mantenimiento del botadero controlado municipal lugar de disposición final de residuos sólidos sector Cacuchayoc Pata del distrito de Sicuani-Canchis-Cusco*. Sicuani.
- MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DEL CANCHIS. (2022). *Plan provincial integral de residuos sólidos municipales 2022-2027*. Gerencia de Gestión ambiental.
- Navarro, N. (s.f.). *ISA Ingeniería y Servicios Ambientales*. Recuperado el 26 de Enero de 2024, de Prueba de Jarras: <https://isa.ec/prueba-de-jarras/>

Noriega Gonzales, M. C. (2021). *Determinación de la dosificación óptima de coagulante para el mejoramiento de la calidad del agua potable en la empresa EMCODAZZI E.S.P.* Universidad de Pamplona.

OEFA. (2023).

OEFA. (2024). *Inventario Nacional de Áreas Degradadas por residuos sólidos municipales.*

Obtenido de <https://datosabiertos.gob.pe/dataset/inventario-nacional-de-%C3%A1reas-degradadas-por-residuos-s%C3%B3lidos-municipales-organismo-de>

Pellón Arrechea, A., López Torres, M., & Espinoza, M. d. (2009). Tecnología para el tratamiento de Lixiviados provenientes de vertederos de residuos sólidos urbanos. *Tecnología Química*, 113-121.

REPUBLICA, C. D. (2004). LEY GENERAL DE RESIDUOS SOLIDOS. *El Peruano*, 11.

Sánchez Sáez, M. G. (2013). *Coagulación-Floculación y separación de sólidos disueltos y suspendidos en un lixiviado estabilizado de vertedero.* España: Universidad de Oviedo.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI. (2021). *CLIMAS DEL PERÚ – Mapa de Clasificación Climática Nacional.* Lima: RED ACTIVA SOLUCIONES GRAFICAS S.A.C.

SUMINISTRO DE ESPECIALIDADES S.A. (2002). *Hoja técnica de Óxido de Calcio.* Recuperado el 26 de Enero de 2024, de <https://suministro.com.mx/pdfs/574.pdf>

Vilca Zapana, D. M. (2019). *Estudio de la influencia de la pureza de la caliza, tamaño de partícula y temperatura para obtener óxido de calcio de alta reactividad mediante un diseño experimental.* Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

Wiki. (2010). *INGENERIA DE AGUAS RESIDUALES*. España. Obtenido de www.elsolucionario.org

ANEXOS

ANEXO N°01: ANALISIS DE LABORATORIO



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-2953

N° Id.: 0000071141

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL	: QUISPE ARMENDARIZ JHON
2.-DIRECCIÓN	: Botadero Municipal de Chacuchayoc Pata, distrito de sicuani provincia de canchis departamento del cusco
3.-PROYECTO	: ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL
4.-PROCEDENCIA	: CELDA DE LIXIVIADOS
5.-SOLICITANTE	: QUISPE ARMENDARIZ JHON
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	: 0000000693-2023-0000
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: NO APLICA
8.-MUESTREADO POR	: MUESTRA Y DATOS PROPORCIONADO POR EL CLIENTE SEGUN CADENA DE CUSTODIA
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2023-03-13

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO	: Agua Residual
2.-NÚMERO DE MUESTRAS	: 2
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA	: 2023-02-27
4.-PERIODO DE ENSAYO	: 2023-02-27 al 2023-03-13

Liz Y. Quispe Quispe
Jefe de Laboratorio
CIP N° 211662



Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

📍 SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0756
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

📍 SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

📍 SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,
Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

📍 SEDE PIURA
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,
Castilla - Piura
Telf.: (+073) 542 335
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

Pág. 1 de 5



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia.

📍 SEDE PRINCIPAL

Av. Guardia Chalaca N° 1877,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0756
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

📍 SEDE ZARUMILLA

Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

📍 SEDE AREQUIPA

COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,
Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

📍 SEDE PIURA

Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,
Castilla - Piura
Telf.: (+073) 542 335
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

Pág. 2 de 5

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-2953

N° Id.: 000071141

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Coliformos Fecales (Termotolerantes) (NMP) (*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 F.2, 23rd Ed. 2017.	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate. Simultaneous Determination of Termotolerant Coliforms and E.coli.
Demanda Bioquímica de Oxígeno (†)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23 rd Ed. 2017	Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
pH (**)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23 rd Ed. 2017	pH Value Electrometric Method
Temperatura (†)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2520 B, 23rd Ed. 2017	Salinity; Electrical Conductivity Method.
Aceites y Grasas (†)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 B, 23 rd Ed 2017	Oil and Grease. Liquid-Liquid, Partition-Gravimetric Method
Sólidos Suspendedos Totales (†)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23 rd Ed. 2017	Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C
Demanda Química de Oxígeno (†)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed. 2017	Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method
Metales Totales (CPOES) (†)	EPA METHOD 200.7 Rev.4.4., 1994 / VALIDATED (Applied out of reach), 2018.	Dissolved Metals: Ag, Al, As, B, Ba, Be, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Se, SiO ₂ , Sn, Sr, Ti, V, Zn, Hg, Validated: U, Bi. Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry.

"EPA" : U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis

"SMEWW" : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

(†) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

(*) El Ensayo indicado no ha sido acreditado



Liz Y. Quispe Quispe
Jefe de Laboratorio
CIP N° 211662

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-2953

N° Id.: 0000071141

IV. RESULTADOS

ITEM	1		2		
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-23-09109		M-23-09110		
CÓDIGO DEL CLIENTE:	P0		P1		
COORDENADAS:	E:0261479		E:0261479		
UTM WGS 84:	N:8421850		N:8421850		
PRODUCTO:	Agua Residual		Agua Residual		
SUB PRODUCTO:	Agua Residual Industrial		Agua Residual Industrial		
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA				
FECHA y HORA DE MUESTREO :	27-02-2023 07:00		13-03-2023 10:00		
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS	
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) (*)	NMP/100mL	NA.	1,8	45,000.00	<1,8
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg/L	0,4	2,0	2 155,7	218,3
pH (**)	Unidad de pH	NA.	NA.	8,12	7,00
Temperatura (**)	(°C)	NA.	NA.	23,0	23,0
Aceites y Grasas (*)	mg/L	0,30	0,50	3,00	1,10
Sólidos Suspendedos Totales (*)	mg/L	2,0	5,0	904,0	97,0
Demanda Química de Oxígeno (*)	mg/L	2,0	5,0	4 592,7	469,3
Metales Totales ICPOES					
Aluminio (*)	mg/L	0,005	0,020	1,738	24,378
Antimonio (*)	mg/L	0,002	0,006	<0,006	<0,006
Arsénico (*)	mg/L	0,002	0,008	<0,008	<0,008
Bario (*)	mg/L	0,0002	0,0010	0,6125	0,0261
Berilio (*)	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0010	<0,0010
Bismuto (*)	mg/L	0,009	0,030	<0,030	<0,030
Boro (*)	mg/L	0,002	0,008	2,315	0,419
Cadmio (*)	mg/L	0,0001	0,0004	<0,0004	<0,0004
Calcio (*)	mg/L	0,002	0,006	68,758	321,893
Cerio (*)	mg/L	0,02	0,07	<0,07	<0,07
Cobalto (*)	mg/L	0,002	0,007	<0,007	<0,007
Cobre (*)	mg/L	0,0003	0,0010	0,0176	0,0066

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.



Liz Y. Quispe Quispe
Jefe de Laboratorio
CIP N° 211662

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0756
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,
Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

SEDE PIURA
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,
Castilla - Piura
Telf.: (+073) 542 335
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

Pág. 4 de 5

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-2953

N° Id.: 0000071141

ITEM				1	2
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-23-09109	M-23-09110
CÓDIGO DEL CLIENTE:				P0	P1
COORDENADAS:				E:0261479	E:0261479
UTM WGS 84:				N:8421850	N:8421850
PRODUCTO:				Agua Residual	Agua Residual
SUB PRODUCTO:				Agua Residual	Agua Residual
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA	
FECHA y HORA DE MUESTREO:				27-02-2023 07:00	13-03-2023 10:00
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS	
Cromo (*)	mg/L	0,0002	0,0008	0,6747	<0,0008
Estaño (*)	mg/L	0,001	0,003	<0,003	<0,003
Estroncio (*)	mg/L	0,00004	0,00010	0,65830	0,65830
Fosforo (*)	mg/L	0,01	0,04	17,86	0,15
Hierro (*)	mg/L	0,001	0,004	17,573	<0,004
Litio (*)	mg/L	0,0003	0,0009	<0,0009	0,0009
Magnesio (*)	mg/L	0,005	0,020	46,508	2,073
Manganeso (*)	mg/L	0,0001	0,0002	0,2670	<0,0002
Mercurio (*)	mg/L	0,0001	0,0002	<0,0002	<0,0002
Molibdeno (*)	mg/L	0,0006	0,0020	<0,0020	<0,0020
Niquel (*)	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0010	<0,0010
Plata (*)	mg/L	0,002	0,007	<0,007	<0,007
Plomo (*)	mg/L	0,002	0,006	<0,006	<0,006
Potasio (*)	mg/L	0,04	0,10	2452,95	412,33
Selenio (*)	mg/L	0,001	0,005	<0,005	<0,005
Sodio (*)	mg/L	0,004	0,010	1657,566	300,911
Sílice (*)	mg/L	0,001	0,004	22,421	3,421
Talio (*)	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0010	<0,0010
Titanio (*)	mg/L	0,0007	0,0020	<0,0020	<0,0020
Uranio (*)	mg/L	0,005	0,020	<0,020	<0,020

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA
L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.



Liz Y. Quispe Quispe
Jefe de Laboratorio
CIP N° 211662

📍 SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0756
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

📍 SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

📍 SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,
Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

📍 SEDE PIURA
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,
Castilla - Piura
Telf.: (+073) 542 335
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

Pág. 5 de 5

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-2953

N° Id.: 0000071141

ITEM	1	2			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-23-09109	M-23-09110			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	P0	P1			
COORDENADAS:	E:0261479	E:0261479			
UTM WGS 84:	N:8421850	N:8421850			
PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual			
SUB PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA				
FECHA y HORA DE MUESTREO:	27-02-2023 07:00	13-03-2023 10:00			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS	
Vanadio (*)	mg/L	0,0002	0,0007	0,3230	0,0102
Zinc (*)	mg/L	0,0001	0,0004	0,4784	0,0215

^(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, " \leq " Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Límite de detección del método, " \leq " Menor que el L.D.M.

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.



Liz Y. Quispe Quispe
Jefe de Laboratorio
CIP N° 211662

"FIN DE DOCUMENTO"

ANEXO N°02: FOTOGRAFICO



Fotografía N°01: Área degradada de Chacuchayoc Pata de la localidad de Sicuani.



Fotografía N°02: Poza de lixiviados en el área degradado de Chacuchayoc Pata.



Fotografía N°03: Toma de muestra de en el punto A de lixiviado.



Fotografía N°04: transporte y traslado de muestra al laboratorio.



Fotografía N°05: equipo de prueba de jarras calibrado.



Fotografía N°06: ampliación de concentración de coagulante y floculante.



Fotografía N°07: proceso de sedimentación después del tratamiento.



Fotografía N°08: lectura de turbidez después del tratamiento con equipo turbidímetro.



Fotografía N°09: toma de muestra del lixiviado tratado para los análisis bacteriológicos, fisicoquímico y metales pesados.

ANEXO N°03: ANÁLISIS DE DATOS

Datos de la prueba de ANOVA de 2 vías

Tratamientos	N	Media	Error	Desv.	Varianza	Coef	Mínimo	Mediana	Máximo
			estándar de la media	Est.		Var			
T1	3	60.44	1.31	2.27	5.16	3.76	58.86	59.42	63.04
T2	3	80.99	2.08	3.60	12.94	4.44	77.73	80.38	84.85
T3	3	95.74	1.23	2.14	4.56	2.23	94.49	94.53	98.21
T4	3	93.70	1.23	2.12	4.51	2.27	92.22	92.74	96.13
T5	3	93.05	1.99	3.44	11.83	3.70	89.93	92.48	96.73
T6	3	92.13	2.06	3.56	12.69	3.87	89.31	90.96	96.13
T7	3	86.99	3.07	5.32	28.28	6.11	83.91	83.93	93.13
T8	3	80.32	1.94	3.36	11.26	4.18	77.37	79.63	83.97

Nota: Elaboración propia

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ²	Aj CV
Remoción de turbidez (%)	24	0.94	0.91	3.95

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2851.22	7	407.32	35.75	<0.0001
Sulfato de Aluminio (g/l)	2143.77	3	714.59	62.71	<0.0001
Óxido de Calcio (ml/l).	44.72	1	44.72	3.92	0.0650
Sulfato de Aluminio (g/l)*Oxid.	662.73	3	220.91	19.39	<0.0001
Error	182.31	16	11.39		
Total	3033.53	23			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=5.57584

Error: 11.3946 gl: 16

Sulfato de Aluminio (g/l)	Medias	n	E.E.
1 gr/l	70.71	61.38	A
4 gr/l	83.66	61.38	B
3 gr/l	92.59	61.38	C
2 gr/l	94.72	61.38	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=2.92140

Error: 11.3946 gl: 16

Óxido de Calcio (ml/l).	Medias	n	E.E.
1 ml/l	84.06	120.97	A
2 ml/l	86.79	120.97	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=9.54224

Error: 11.3946 gl: 16

Sulfato de Aluminio (g/l)	Óxido de Calcio (ml/l).	Medias	n	E.E.
1 gr/l	1 ml/l	60.44	31.95	A
4 gr/l	2 ml/l	80.32	31.95	B
1 gr/l	2 ml/l	80.99	31.95	B
4 gr/l	1 ml/l	86.99	31.95	B C
3 gr/l	2 ml/l	92.13	31.95	C
3 gr/l	1 ml/l	93.05	31.95	C
2 gr/l	2 ml/l	93.70	31.95	C
2 gr/l	1 ml/l	95.74	31.95	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Nota: Resultados obtenidos en el software estadístico Minitab 19.