



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



RECUPERACIÓN DE ALUMINIO (Al) A PARTIR DE LOS LODOS GENERADOS EN LA PLANTA POTABILIZADORA DE LA EMPRESA SEDA JULIACA S.A. POR ACIDIFICACIÓN CON ÁCIDO SULFÚRICO (H₂SO₄)

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. BLADIMIR JORGE APAZA HUMPIRI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

PUNO – PERÚ

2024



BLADIMIR JORGE APAZA HUMPIRI

RECUPERACIÓN DE ALUMINIO (Al) A PARTIR DE LOS LODOS GENERADOS EN LA PLANTA POTABILIZADORA DE LA EMPR

 Universidad Nacional del Altiplano

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::8254:415243302

Fecha de entrega

11 dic 2024, 6:14 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

11 dic 2024, 6:18 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

FINAL BORRADOR (1).pdf

Tamaño de archivo

3.3 MB

106 Páginas

16,690 Palabras

89,207 Caracteres





18% 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 12 palabras)

Fuentes principales

- 17% Fuentes de Internet
- 2% Publicaciones
- 7% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

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.

SALOMON TITO LEON
INGENIERO QUIMICO
Registro del Colegio de Ingenieros N° 29025

D. Sc. German Quille Calizaya
DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
FIQ. UNA - PUNO





DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios por hacer mi vida posible, quien me ha guiado por el camino correcto a lo largo de mi vida, quien me ha dado la fuerza para seguir adelante a pesar de las adversidades y no rendirme ante los problemas emergentes. Sé que estarás conmigo en cada fase de mi vida, para iluminar mi mente y mi corazón, por estas alegrías y para traerme el regalo de conocer personas tan maravillosas durante todo este período.

Con profundo amor y agradecimiento a mis padres, Inés y Jorge, quienes no dudaron en sacrificarse cada día por mi futuro e hicieron todo en la vida para hacer realidad mis sueños, por los buenos valores que me inculcaron, me alentaron, me apoyaron, me corrigieron y por el cariño que me brindaron, por enseñarme a luchar y siempre con una sonrisa. Especialmente a Mamá, una mujer ejemplar, por la confianza que me brindó, quien con su sabiduría me enseñó a ser una buena persona, a luchar por mis metas y a ser quien, a pesar de las adversidades, siempre estará a su lado, gracias a ella. paciencia. y por tu amor.

Gracias a mis hermanas, Andrea Maribel y Nadine por su comprensión, apoyo y motivación para seguir creciendo, por los útiles consejos que me dieron, por las alegrías y secretos que tenemos, cosas que siempre están ahí cuando más las necesito. Las amo mucho.

Bladimir Apaza



AGRADECIMIENTOS

A mi alma mater, la Universidad Nacional de Altiplano Puno, y mi estimada Facultad de Ingeniería Química, que me brindaron la adecuada preparación profesional y me abrieron las puertas de su vientre científico. Así mismo, agradecimiento total a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Química.

Me gustaría enviar un agradecimiento especial a mi director de tesis, MSc. Salomón Ttito León por su enseñanza, útiles consejos profesionales, amistad, apoyo intelectual y moral en este trabajo de investigación y su paciencia al ayudarme a realizar esta investigación para presentar esta tesis.

A la EPS SEDA JULIACA S.A. por el apoyo brindado en quipos e instalaciones de laboratorio. En especial al Ing. Rodolfo Sancho y al Lic. Wilber Cornejo, por el apoyo incondicional en este trabajo de investigación.

A los Ing. Diana Corrales, Ing. Benito Fernández por los consejos y asesoría a la realización de la misma.

A todos aquellos que directa o indirectamente me han apoyado incondicionalmente.

Bladimir Apaza



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE DE TABLAS	
INDICE DE FIGURAS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	15
ABSTRACT.....	16
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
1.1.1. Objetivo general.....	18
1.1.2. Objetivos específicos	18
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
2.2. MARCO TEÓRICO	23
2.2.1. Generalidades.....	23
2.2.2. Peligrosidad de los lodos de potabilización	25
2.2.3. Parámetros de contaminación del efluente	25
2.2.4. Impactos ambientales.....	31
2.2.5. Productos químicos utilizados en la potabilización.....	33
2.2.6. Potabilización del agua	33
2.2.7. Plantas de potabilización de agua	34



2.2.8. Proceso de Coagulación – Floculación.....	34
2.2.9. Lodos de potabilización	40
2.2.10. Características de lodo aluminoso.....	41
2.2.11. Acondicionamiento de los lodos	42
2.2.12. Reducción del volumen de los lodos.....	42
2.2.13. Diagrama de flujo del proceso	42
2.2.14. Técnicas de recuperación de aluminio	44

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN	48
3.2. EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS	48
3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	49
3.3.1. Matriz de diseño.....	50
3.4. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	52
3.4.1. Caracterización de lodos residuales generados en el proceso de potabilización de la empresa SEDAJULIACA	53
3.4.1.1.Toma de muestra.....	53
3.4.1.2.Caracterización de los lodos.....	53
3.4.2. Determinación de los parámetros óptimos de pH, velocidad de agitación y tiempo de agitación para la recuperación de aluminio.....	57
3.4.2.1.Ensayos de tratabilidad	57
3.4.3. Determinación de porcentaje de aluminio recuperado en la acidificación agitada utilizando ácido sulfúrico concentrado y evaluación la capacidad de este como coagulante.....	58
3.4.3.1.Porcentaje de aluminio recuperado en la acidificación agitada ..	58



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LODOS RESIDUALES GENERADOS EN EL PROCESO DE POTABILIZACIÓN DE LA EMPRESA EPS SEDAJULIACA S.A.	61
4.1.1. Caracterización física de los lodos.....	61
4.1.2. Caracterización química de los lodos	62
4.2. PARÁMETROS ÓPTIMOS DE PH, VELOCIDAD DE AGITACIÓN Y TIEMPO DE AGITACIÓN PARA LA RECUPERACIÓN DE ALUMINIO (A) UTILIZANDO ÁCIDO SULFÚRICO POR EL MÉTODO DE ACIDIFICACIÓN.....	63
4.3. PORCENTAJE DE ALUMINIO RECUPERADO DESPUÉS DE LA ACIDIFICACIÓN Y SU EVALUACIÓN DE ESTE COMO COAGULANTE.....	67
4.3.1. Porcentaje de aluminio recuperado después de la acidificación.....	67
4.3.2. Evaluación de Aluminio recuperado como coagulante	70
a) Caracterización del aluminio recuperado	70
b) Ensayos con el Aluminio recuperado	71
V. CONCLUSIONES.....	85
VI. RECOMENDACIONES	86
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87
ANEXOS.....	94

Área: Tecnologías ambientales y recursos naturales



Tema: Tratamiento de aguas

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 12 de diciembre de 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 LMP de descarga a un cupero	30
Tabla 2 Parámetros para la Identificación de Impactos ambientales	32
Tabla 3 Lugar de ejecución	48
Tabla 4 Variables según niveles.....	51
Tabla 5 Matriz de diseño experimental.....	52
Tabla 6 Caracterización de muestra inicial de lodos.....	62
Tabla 7 Contenido de Aluminio en lodos.	63
Tabla 8 Resultados de las pruebas de recuperación de Al a diferente pH	65
Tabla 9 Porcentaje de recuperación de aluminio a diferente pH	68
Tabla 10 pH 2 unidades y tiempo de agitación 30 minutos	70
Tabla 11 Condiciones iniciales de agua cruda	71
Tabla 12 Pruebas de Jar Test con el coagulante usado en PTAP SEDAJULIACA....	73
Tabla 13 Pruebas de Jar Test con el coagulante recuperado.....	75
Tabla 14 Resultados pruebas de Jar Test usado en PTAP SEDAJULIACA	77
Tabla 15 Resultados pruebas de Jar Test del coagulante recuperado	78
Tabla 16 Efectos estimados para respuesta (mg Al/L)	79
Tabla 17 Análisis de varianza para respuesta (mg Al/L)	80
Tabla 18 Coef. de regresión para respuesta (mg Al/L)	82
Tabla 19 Optimizar respuesta	83



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Coloide con carga negativa	37
Figura 2 Fuerzas interpartículas en función de la distancia	40
Figura 3 Esquema de la generación de aguas residuales de coagulación	41
Figura 4 Proceso de recuperación no selectiva del sulfato de aluminio	43
Figura 5 Concentración de Aluminio recuperado a diferente tiempo de agitación, diferente velocidad de agitación y diferente pH.....	66
Figura 6 Porcentaje de Aluminio recuperado a diferente tiempo de agitación, diferente velocidad de agitación y diferente pH	69
Figura 7 Diagrama de Pareto para respuesta (mg Al/L)	83
Figura 8 Superficie de respuesta estimada.....	84
Figura 9 Lodos generados en la PTAP SEDA JULIACA	94
Figura 10 Recolección de muestra.....	95
Figura 11 pH alcanzados en diferentes muestras	95
Figura 12 Test a diferente velocidad de agitación	96



ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1 Evidencias fotográficas.....	94
ANEXO 2 Reportes de laboratorio de los ensayos realizados	97
ANEXO 3 Reportes de laboratorio de los jar test	104



ACRÓNIMOS

Δ :	Espesor de la zona de influencia de la carga de la partícula
$^{\circ}\text{C}$:	Grados centígrados
Q :	Carga sobre la partícula
μm :	Micrómetro
μS :	Micro Siemens
Al:	Aluminio
$\text{Al}(\text{OH})_3$:	Hidróxido de Aluminio
ANA:	Autoridad Nacional del Agua
ANOVA:	Análisis de Varianza
C:	Concentración del coagulante
$\text{Ca}(\text{OH})_2$:	Hidróxido de calcio
D :	Constante dieléctrica del líquido
D:	Dosis del coagulante
DBO:	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO:	Demanda Química de Oxígeno
ECA:	Estándares de Calidad Ambiental
EPS:	Empresa Prestadora de Servicio
H_2O :	Agua
H_2SO_4 :	Ácido Sulfúrico
ICP:	Acoplamiento inductivo de plasma
Hm:	Hectómetro
K:	Numero de variables.
Kg:	Kilogramo
L:	Litro
LMP:	Límite Máximo Permisible
M:	Molar
mg:	Miligramo
mL:	Mililitros
N:	Numero de experimentos.
NaOH:	Hidróxido de sodio
OMS:	Organización Mundial de la Salud



ORP:	Potencial redox de oxígeno
PAC:	Policloruro de aluminio
pH:	Potencial de hidrogeno.
PTAP:	Planta de Tratamiento de Agua Potable
Pt-Co:	Platino-Cobalto
Pz:	Potencial Zeta
Q.P:	Químicamente Puro
RPM:	Revoluciones por minuto.
S.A.:	Sociedad Anónima
ST:	Solidos totales
STD:	Total de sólidos disueltos
STS:	Total de sólidos suspendidos
UNESCO:	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
UNT:	Nephelometric Turbidity Unit
V:	Volumen del coagulante
UTM:	Universal Transverse Mercator
WTS:	Lodos de tratamiento de agua
V.I.F.:	Factor de inflación de varianza
GI:	Grados libertad
MAE:	Error medio absoluto
DW:	Durbin-Watson



RESUMEN

La industria de potabilización de agua consume grandes cantidades de productos químicos, principalmente con contenido de aluminio que son agregados al proceso de coagulación- floculación. La recuperación de aluminio a partir de efluentes, provenientes de los lodos generados en la planta de potabilización de agua representan una amenaza medioambiental debido a los grandes volúmenes de lodo generados por este proceso; estos lodos contienen alta concentración de aluminio residual que son vertidos al río Coata. Las propiedades físico químicas de estos lodos superan los Límites de los Estándares de Calidad Ambiental como STD con 2460 mg/L y aluminio residual de 66973 mg/Kg. Como una alternativa a estos procesos, en este trabajo se estudió la posibilidad de recuperar aluminio aplicando el método de acidificación con ácido sulfúrico concentrado a partir de los lodos generados en el proceso de potabilización de la empresa SEDA JULIACA S.A. para ello se efectuó ensayos de jarra (Jar – Test PHIPPS & BIRD STIRRER de 2000 mL) donde se manipularon el pH (2 – 4), velocidad de agitación (40 RPM – 100 RPM) y tiempo de agitación (30 minutos – 60 minutos). Obteniendo como resultado una recuperación de 1399 mg Al/L en condiciones de pH 2, una mezcla de 30 minutos y 100 RPM, siendo esta la recuperación más alta que se obtuvo equivalente a un 78.86%. En cuanto a la capacidad para la reutilización de solución como coagulante recuperado en este proceso, también se efectuó ensayos de jarra (Jar – Test PHIPPS & BIRD STIRRER de 2000 mL), utilizando la muestra con la más alta concentración de recuperación, obteniendo de 1.95 UNT de una muestra inicial de 3.21 UNT, lo que demuestra que es factible reutilizar el aluminio recuperado.

Palabras Clave: Lodos de potabilización, Manejo ambiental, Recuperación ácida, Recuperación de aluminio, Test de jarras.



ABSTRACT

The water treatment industry consumes large amounts of chemicals, mainly containing aluminum, which are added to the coagulation-flocculation process. The aluminum recovery from effluents, originating from the sludge generated in the water treatment plant, represents an environmental threat due to the large volumes of sludge generated by this process; this sludge contains a high concentration of residual aluminum that is discharged into the Coata River. The physical-chemical properties of this sludge exceed the Limits of the Environmental Quality Standards such as STD with 2460 mg/L and residual aluminum of 66973 mg/Kg. As an alternative to these processes, in this work the possibility of recovering aluminum by applying the acidification method with concentrated sulfuric acid from the sludge generated in the water treatment process of SEDA JULIACA S.A. company was studied. For this purpose, jar tests were carried out (Jar – Test PHIPPS & BIRD STIRRER of 2000 mL) where the pH (2 – 4), stirring speed (40 RPM – 100 RPM) and stirring time (30 minutes – 60 minutes) were manipulated. The result was a recovery of 1399 mg Al/L under pH 2 conditions, a mixture of 30 minutes and 100 RPM, this being the highest recovery obtained equivalent to 78.86%. Regarding the capacity for reuse of solution as coagulant recovered in this process, jar tests were also carried out (Jar – Test PHIPPS & BIRD STIRRER of 2000 mL), using the sample with the highest recovery concentration, obtaining 1.95 UNT from an initial sample of 3.21 UNT, which shows that it is feasible to reuse the recovered aluminum.

Keywords: Aluminum recovery, acid recovery, water treatment sludge, jar test, environmental management.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La empresa prestadora de servicios SEDAJULIACA S.A., tiene como principal actividad la potabilización de agua, y abastecimiento al distrito de Juliaca y San Miguel, esta empresa está ubicada en la ciudad de Juliaca departamento de Puno. Para la potabilización utiliza sales de aluminio policloruro de aluminio (PAC) para el proceso de coagulación – floculación, este proceso da como resultado producción de lodos voluminosos con contenido de aluminio conocidos como WTS, que estos son vertidos al río Coata y finalmente desembocan en el Lago Titicaca sin previo tratamiento, lo que ocasiona un impacto negativo en el medio ambiente y a la salud.

El objetivo de este trabajo se ha centrado en la extracción de aluminio de los WTS generados en el proceso de coagulación – floculación de la PTAP SEDAJULIACA, utilizando el método de acidificación con ácido sulfúrico concentrado, siendo este uno de los eficaces disolventes para extraer aluminio. Donde se realizó pruebas de jarras manipulando el tiempo de agitación y velocidad de agitación. La recuperación de aluminio de los WTS es posible en más de un 50% si se lleva el pH a valores cercanos a la unidad, en donde la solución recuperada se separa y es llevado a la mezcla rápida (coagulación), en cambio el lodo residual es desechado luego de controlar el pH (Barba, et al. 2000)

El tratamiento de los WTS por acidificación, es uno de los tratamientos más comunes hoy en día. La extracción de aluminio depende básicamente en la manipulación del pH al adicionar ácido sulfúrico a los WTS, la velocidad de agitación y tiempo de agitación.



Así mismo, se estudió la capacidad de reutilización de este como coagulante; todo ello desde un punto de vista técnico.

1.1. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.1. Objetivo general

- Determinar los parámetros físico-químicos óptimos del proceso de acidificación con ácido sulfúrico para la recuperación de aluminio de los lodos generados en el proceso de potabilización de la empresa SEDA JULIACA S.A.

1.1.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los lodos residuales generados en el proceso de potabilización de la empresa SEDA JULIACA S.A.
- Determinar los parámetros óptimos de pH, velocidad de agitación y tiempo de agitación para la recuperación del aluminio.
- Determinar el porcentaje de aluminio recuperado en la acidificación agitada utilizando ácido sulfúrico concentrado y se evaluara la capacidad de este como coagulante.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Castro & Reyes (2022) en su investigación “Recuperación de sulfato de aluminio a partir de los lodos producidos en la planta potabilizadora Herminia Cabello Sánchez” estudiaron la recuperación de sulfato de aluminio durante la acidificación de lodos en la planta Herminia Cabello Sánchez en Santa Lucía. Se utilizó sulfato de aluminio reducido como coagulante para determinar su capacidad de reducción de turbidez mediante pruebas en matraz. La cantidad de aluminio en el sedimento fue de 32313,69 mg Al/kg de sedimento. Los parámetros ideales para la acidificación son pH 1,50 y tiempo de mezclado de 30 minutos a 100 rpm. El sulfato de aluminio extraído en este proceso, puede reducir la turbidez del agua cruda entre un 53% y un 70%.

Ramadan & El Sayed (2020) en su investigación “Estudio de caso de optimización de la recuperación de alumbre a partir de lodos de tratamiento de agua: planta de tratamiento de agua de Samannoud, Egipto” estudiaron la extracción de alumbre a partir de WTS de tratamiento de agua Samannoud, Egipto, por acidificación técnica utilizando ácido sulfúrico y evaluar el efecto del contenido de sólidos totales (ST) en el proceso de recuperación de lodos en alumbre. Los resultados mostraron que la mezcla óptima el tiempo de recuperación del alumbre fue de 60 minutos para el lodo de clarifloculador, mientras que 15 minutos para lodos espesadores. El valor de pH óptimo fue 1.50 para la recuperación de alumbre de diferentes tipos de lodos. En condiciones óptimas, los experimentos de acidificación mostraron la tasa de extracción de alumbre y reducción del volumen de lodo para lodo de clarifloculador fueron 83 y 91.20%, respectivamente, versus 35.90 y 45%, respectivamente, para espesantes lodo. Además, la recuperación de



alumbre y la disminución de lodos redujeron con el aumento en contenido de ST en el lodo.

Mirwan et al. (2020) en su investigación “Lixiviación de aluminio de lodos de tratamiento de agua usando ácido clorhídrico y estudio cinético” estudiaron la lixiviación de aluminio usando ácido clorhídrico. La eficiencia de lixiviación del Al aumentó del 72% al 80% a medida que la concentración de ácido clorhídrico aumentó de 1 a 4 M. La disminución del tamaño de las partículas y el aumento de la temperatura aumentaron la eficiencia de la lixiviación del Al. El modelo cinético propuesto reveló que el paso de control de la velocidad siguió una serie de dos mecanismos de lixiviación: inicialmente controlados por la difusión de la capa de producto y luego por una reacción químicamente controlada.

Kamizela & Worwag (2020) en su investigación “Procesamiento de lodos de tratamiento de aguas por biolixiviación” utilizaron la biolixiviación para lodos del tratamiento de aguas. Además de comprobar la aplicabilidad del proceso a dicho sustrato, también se determinó la influencia de las condiciones experimentales en la efectividad de la biolixiviación de metales con lodos de tratamiento de aguas, incluyendo acidificación de la muestra, adición de azufre elemental, temperatura de incubación y *Acidithiobacillus thiooxidans* - cepa aislada. La medición de la concentración de metales y, en base a ello, la determinación de la eficiencia de biolixiviación, así como el pH y el potencial redox de oxígeno (ORP), se realizó durante el experimento en los siguientes intervalos de tiempo: 3, 6, 9, 12 días. Una vez finalizado el experimento, también se preparó un balance de masa. Después del experimento, se obtuvo una alta eficiencia del proceso para el sustrato probado. La efectividad del proceso para la mayoría de los metales fue alta (Ca 96.80%, Cr 92.60%, Cu 80.60%, Fe 95.60%, Mg 91%, Mn 99.50%, Ni 89.70%, Pb 99.50%, Zn 93%). Sólo se obtuvieron valores inferiores para Al (58.60%) y Cd (68.40%).



Gamarra & Romero (2019) en su trabajo de investigación “Evaluación de la recuperación de aluminio en medio ácido de los lodos generados en una planta de tratamiento de agua potable” estudiaron la recuperación de aluminio en medio ácido mediante ensayos de prueba de jarras de los lodos generados. Dando resultados de recuperación de aluminio entre 75 y 99% y soluciones con concentraciones entre 199.63 y 235.40 mg Al/L.

Ladino & Olaya (2019) en su trabajo de investigación “Recuperación de aluminio variando la edad de los lodos de potabilización y su reutilización en el tratamiento de aguas en Casnare” investigaron sobre la capacidad de regenerar aluminio mediante extracción de metales en solución ácida, donde trata dos tipos de lodos (lodos secos y lodos frescos) originado en la planta potabilizadora de agua potable del municipio Aguasul Casanare. Excepto, en este estudio, la prueba de los recipientes se realizó con una solución de aluminio reconstituida con concentraciones más altas para un análisis de conversión y establecimiento de pH óptimo, para obtener los parámetros de turbidez y color según los valores exigidos por la normativa colombiana de agua potable. El resultado es una reducción del aluminio en el sedimento a pH 1,90 secos y frescos son 18,35 y 58,75%, respectivamente. Además, la concentración de aluminio en sedimentos secos y frescos 3900 y 2600 mg/L.

Sanga et al. (2018) en su estudio “Reciclado de alumbre de residuos de tratamiento de agua y reutilización como agente floculante para tratamiento de agua cruda” utilizaron el método de alcalinización para recuperar el alumbre presente en los lodos recolectados de la planta de tratamiento de agua de Kimisagara ubicada en la ciudad capital de Kigali, Ruanda. El alumbre recuperado se usó más de una vez y mostró una excelente eficiencia de floculación. Algunos parámetros físicos como el pH, el total de sólidos suspendidos (STS), el total de sólidos disueltos (STD), la conductividad y la turbidez se probaron



sistemáticamente y se compararon con los estándares para agua potable de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Junta de Normas de Ruanda (RSB). Los resultados mostraron que el alumbre presente en los lodos se puede recuperar y reutilizar varias veces.

Ooi et al. (2018) en su trabajo de investigación “Optimización de la recuperación de aluminio a partir de lodos de tratamiento de agua mediante metodología de superficie de respuesta” estudiaron el potencial para recuperar aluminio del lodo de tratamiento de agua mediante un proceso de lixiviación ácida. La validación experimental demostró una recuperación de $68.80 \pm 0.30\%$. adecuada en optimización de las condiciones de recuperación de aluminio para lodos de tratamiento de agua.

Jácome (2017) en su trabajo de investigación “Recuperación de sulfato de aluminio de los lodos residuales de la planta de tratamiento de agua potable de baños sector Cochapamba, Cuenca” estudió la posibilidad de recuperar sulfato de aluminio mediante acidificación con ácido sulfúrico, a partir de lodos residuales recolectados de los sedimentadores de la planta de tratamiento agua potable de baños ubicada en la provincia del Azuay Cantón Cuenca. El valor óptimo de extracción fue de 1,50 unidades y 30 minutos de mezclado, recuperando el 86% del aluminio y reduciendo el volumen de lodos en un 46%. El análisis económico muestra que el capital de inversión total es de 28.166,40 dólares. Además, hay una inversión adicional anual de 8,640 USD para comprar ácido sulfúrico, por lo que económicamente este proyecto no es viable, pero desde el punto de vista ambiental, la cantidad de lodos será menor, así mismo, la concentración de aluminio.

Núñez & Peña (2011) en su investigación “Recuperación de sulfato de aluminio a partir de lodos generados en la planta de potabilización de la empresa aguas de Cartagena



S.A. E.P.S. y estudio de la viabilidad económica de su reutilización como coagulante” estudiaron la recuperación del sulfato de aluminio por acidificación con ácido sulfúrico (25%), a partir de lodos obtenidos de los sedimentadores y lavado de filtros en la planta de tratamiento de aguas de la empresa Aguas de Cartagena S.A E.P.S., en dos épocas del año. La tasa de recuperación de aluminio en época seca es de 60.50% y en época de lluvias es de 71.50%; a pH 1.50 unidades y agitación por 30 minutos y la concentración de extracción de aluminio fue de 67 mg Al/L en época seca y 1038.90 mg Al/L en época de lluvias en las mismas condiciones.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Generalidades

2.2.1.1. El aluminio

El aluminio es un elemento que está ubicado en el grupo III de la tabla periódica, su número atómico es 13 y su peso atómico es 26.98 u.m.a. Su configuración electrónica en estado basal es $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$. El aluminio alcanza una valencia máxima de +3 y a altas temperaturas puede cambiar a la valencia de +1 o raramente a +2 (Tikhonov, 1973).. Estas últimas valencias son inestables por lo que el aluminio es trivalente en todos los compuestos estables que este forma (Tikhonov, 1973).

Además, el aluminio es uno de los elementos que se analiza con frecuencia en el estudio de suelos, lodos, sedimentos, materiales geológicos y tejidos vegetales o animales. Este elemento es un componente importante en muchos compuestos inorgánicos no carbonatados (Barnhisel & Bertsch, 1982).

2.2.1.2. Ácido sulfúrico



También conocido como aceite de vitriolo, es un compuesto químico inorgánico extremadamente corrosivo, es un líquido incoloro y viscoso en su forma pura. El ácido sulfúrico (H_2SO_4) es la materia prima de una gran cantidad de procesos industriales fertilizantes, refinación del petróleo, producción de papel y otros productos químicos (Speight, 2017).

2.2.1.3. Test de jarras

. Este estudio tiene como objetivo determinar la cantidad óptima de coagulante para el proceso de agua potable. Esta prueba simula el proceso de coagulación – floculación y sedimentación. Es de suma importancia, pues una dosis muy pequeña de coagulante impide la formación de flóculos y dosis muy altas dificulta la sedimentación debido a la formación de una gran cantidad de flóculos pequeños (Fúquene & Yate, 2018).

2.2.1.4. Efectos del aluminio en la salud

En la actualidad el aluminio tiene una amplia aplicación en las industrias como alimentaria, farmacéutica, del papel, de la construcción y en el tratamiento de agua para beber y agua residual, no obstante, no se ha dado importancia a los posibles daños a la salud originados por el consumo de este elemento (Trejo Vázquez et al., 2004). Una de las enfermedades que ha sido vinculada al consumo de este elemento es el Alzheimer y se corre el riesgo de desarrollar otros padecimientos (Trejo Vázquez et al., 2004).



2.2.2. Peligrosidad de los lodos de potabilización

En la actualidad no se ha precisado la verdadera peligrosidad de los lodos generados en la potabilización, pero debido a su mala disposición en la mayoría de los países, existe el riesgo de contaminación de las fuentes de agua con metales pesados (aluminio o hierro, que se encuentran presentes en estos lodos) (Carvalho et al., 2019).

En la mayoría de estos casos, los lodos después del proceso de potabilización se liberarán al medio ambiente sin tratamiento. Se considera que pueden degradar la calidad del agua superficial, limitando las posibilidades de esta para uso doméstico, agrícola e industrial (Fouad et al., 2021).

2.2.3. Parámetros de contaminación del efluente

2.2.3.1. Turbidez

Es el efecto óptico que ocurre al interferirse el paso de los rayos de luz que traspasan una muestra de agua, debido a partículas minerales u orgánicas suspendidas en la sustancia líquida; como por ejemplo precipitaciones diversas de óxidos, micro organismos, arcilla, carbonato de calcio precipitado, compuestos de aluminio u otros (Marín Gil, 2011).

2.2.3.2. pH

Es la cantidad de concentración del ion hidrogeno que presenta el agua, expresada como logaritmo negativo de la concentración molar del ion hidrogeno, está directamente relacionado con el porcentaje de protones presentes en el agua (Romero, 2004).



Las fluctuaciones relevantes en los valores de este parámetro, sean bajos o altos, evidencian la presencia de vertimientos de aguas residuales industriales, por lo que este parámetro sirve como indicador (Hernández Lehmann, 2015).

2.2.3.3. Sólidos Totales (STD)

Medida de la cantidad de materia orgánica o inorgánica con un tamaño mayor a 2 μm , indicador de la calidad del agua (Sigler & Bauder, 2017). Los límites estándar en Perú oscilan entre 1.000 y 1.500 mg/L dependiendo del proceso que se utiliza. según el D.S. 004-2017-MINAM.

2.2.3.4. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Es la cantidad de oxígeno expresada en mg/L que es consumida en condiciones de ensayo (20 °C, P. atm y oscuridad) por un periodo de tiempo determinado; producto de la oxidación, mediante un proceso biológico, de los componentes biodegradables presentes en el efluente; este parámetro muestra la materia orgánica presente en el efluente, señalando el oxígeno requerido para alimentar a los microorganismos y las reacciones químicas (Hernández Lehmann, 2015).

2.2.3.5. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Es el parámetro que indica la cantidad de sustancias que son capaces de ser oxidadas por medios químicos, así se encuentren disueltas o en suspensión en la muestra líquida. (Hernández Lehmann, 2015).



2.2.3.6. Materia orgánica

Es aquella que está compuesta por elementos de carbono, oxígeno e hidrógeno, y en ciertos casos de nitrógeno. Asimismo, puede estar conformada por diversos elementos como azufre, fosforo o hierro; los tipos de componentes orgánicos de las aguas residuales son las proteínas (40 – 60%), hidratos de carbono (25 – 50%), grasas y aceites (10%) (Hernández Lehmann, 2015).

2.2.3.7. Materia inorgánica

La concentración de este tipo de materia presente en los cuerpos de agua se incrementa por el contacto del agua con las diversas formaciones terrestres y por las aguas residuales que desembocan en ellos; una elevada concentración de componentes inorgánicos como los cloruros, azufre, níquel, manganeso, plomo, cromo, cadmio, zinc, cobre y hierro; influye de manera significativa en los usos de este recurso (Hernández Lehmann, 2015).

2.2.3.8. Marco normativo

Ahora bien, este párrafo describe los decretos, leyes y sanciones vigentes promulgados por diversos organismos peruanos como medidas de protección del agua.

A. Ley N°28611 – Ley General del Ambiente

Afirma que toda persona tiene derecho a vivir en un lugar saludable, asequible y adecuado donde pueda construir una casa y vivir juntos, y tiene el deber de participar en una gestión ambiental eficaz y



contribuir a la conservación del medio ambiente. sus elementos vivos. lo que incluye proteger la salud de las personas, promover la conservación de la biodiversidad y el uso sustentable de los recursos naturales, así como el desarrollo sustentable del país.

- **Artículo 8°.- Del principio de internalización de costos**

Todo individuo u organización, pública o privada, debe asumir los costos de las pérdidas y daños ambientales. Los costos de prevención, seguimiento, recuperación, remediación y compensación relacionados con la protección ambiental y los factores ambientales corren a cargo de la persona que causa el daño.

- **Artículo 10°.- Del principio de responsabilidad ambiental**

La degradación ambiental y sus componentes deben ser asumidos por quien la causa, ya sea persona natural o jurídica, pública o privada, quien está obligado a actuar para restaurarla, rehabilitarla o corregirla si no fuera posible su adecuada o superior. indemnización ambiental por los daños causados sin perjuicio de cualquier otra responsabilidad administrativa, civil o penal que pudiera derivarse.

- **Artículo 113°.- De la calidad ambiental**

Toda persona natural o jurídica, pública o privada, tiene la obligación de contribuir a la prevención, control y restauración de la calidad del medio ambiente y sus componentes.

- **Artículo 117°.- Del control de emisiones**

Esto se hace a través del LMP y otros mecanismos de gestión ambiental identificados por las organizaciones relevantes. El



incumplimiento de las restricciones establecidas será sancionado según la normativa vigente.

B. Ley N°29338 - Ley de Recursos Hídricos

Esto normaliza el uso y manejo de estos recursos, que pueden ser naturales, como canales, glaciares, lagos, ríos, y artificiales, como captación, almacenamiento, conexión de líneas, saneamiento y otros recursos (Ley de Recursos Hídricos N° 29338, 2009). Además, pretende normalizar el uso y gestión de los recursos hídricos y la intervención gubernamental en dicha gestión.

- **Artículo 122.3.- Del tratamiento de residuos líquidos**

Dispone que las empresas que exploten, produzcan, comercialicen o de otra forma generen residuos y aguas contaminadas están obligadas a tratar para reducir el nivel de contaminación hasta cumplir con los límites máximos permisibles y las normas de calidad ambiental (ECA). Otros factores se especifican en las herramientas de gestión ambiental según la normativa vigente.

- **Artículo 133°.- Condiciones para autorizar el vertimiento de aguas residuales**

La Agencia Nacional del Agua (ANA) tiene la autoridad para emitir permisos de descarga de aguas residuales siempre que las aguas residuales sean tratadas para cumplir con los límites máximos permitidos antes de ser descargadas al ambiente externo.

C. Resolución Ministerial N° 128 - 2017 - Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento

- **Según el artículo 14°**

Señala que el tratamiento mínimo que deben sufrir los lodos resultantes de la PTAP es el de deshidratación, el cual debe contener al menos un 25% de sólidos. Además, se ha señalado que esta operación debe realizarse antes del transporte y procesamiento final.

D. Límites Máximos Permisibles para efluentes vertidos a cuerpos de aguas

- **Según el artículo 32 Del Límite Máximo Permisible**

El Límite Máximo Permisible (LMP) es una medida del equilibrio de parámetros físicos, químicos y biológicos que caracterizan a las aguas en emisión o residuales, cuyo exceso puede ser perjudicial para la salud humana, la salud y el medio ambiente (Ley de Recursos Hídricos LEY No 29338, 2009).

En la Tabla 1 se tiene los LMP de descarga a un cuerpo de agua receptor emitidos por el Ministerio del Ambiente con Decreto Supremo N° 003-2010.

Tabla 1

LMP de descarga a un cuerpo

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD DE MEDIDA
DBO	100	mg/L
DQO	200	mg/L
pH	6.50 – 9	Unidad
STS	150	mg/L
Temperatura	< 35	°C
Al	5	mg/L

Fuente: Ministerio del Ambiente D.S. N° 003-2010

2.2.4. Impactos ambientales

Existe un impacto ambiental cada vez que un proceso o actividad origina una variación, beneficiosa o perjudicial, en el entorno o en cualquiera de los elementos del medio ambiente Español (2005).

2.2.4.1. Identificación de impactos ambientales

Rodríguez Díaz (2005), explica que, una vez conocidos la actividad, el medio ambiente que la rodea y la interacción entre estos, se puede iniciar el estudio de impactos, el cual permite acercarse a las actividades y sus consecuencias sin profundizar en detalles, con la finalidad de prever desde un inicio los efectos que ocasionarán las actividades realizadas sobre los parámetros medioambientales y tener una idea de cuáles son los factores más afectados.

- **Parámetros a considerar en la Identificación de Impactos Ambientales**

Cada actividad y proyecto tiene sus propios factores ambientales específicos; Por tanto, es imposible elaborar una lista única de acciones y elementos, pero en la mayoría de los casos existen parámetros comunes. En la Tabla 2 se identifican aspectos ambientales (componentes ambientales susceptibles) vinculada con la identificación de impactos ambientales que podría generarse como parte del desarrollo de actividades de un proyecto.



Tabla 2

Parámetros para la Identificación de Impactos ambientales

ASPECTO	IMPACTO
	Modificaciones en las características
Superficie terrestre y suelo	Erosión Relieve modificado Potencial agrícola
	Contaminantes (físicos, químicos y microbiológicos)
	Contaminación del agua
Agua	Falta de agua Calidad en las propiedades físicas, químicas y biológicas Proceso de eutrofización
	Remoción de cubierta vegetal
Vegetación	Variación de la vegetación Evapotranspiración
	Variación en fases de migración
	Migración de especies afectadas
Fauna	Inestabilidad en el ecosistema Aparición de epidemias y plagas Cambios en el comportamiento de especies
	Integración de algunos elementos inusuales en el paisaje natural
Paisaje	Creación de efectos visuales Ocupación de tierras
	Cambios en la gestión del suelo
Socioeconomía	Movimiento de la población (migración o inmigración) Oferta temporal de empleo Valoración inmobiliaria

Fuente: Rodríguez 2005



2.2.5. Productos químicos utilizados en la potabilización

Para el tratamiento de agua potable se utilizan coagulantes químicos como: policloruro de aluminio (PAC), sulfato de aluminio o cloruro férrico; y floculantes como poliacrilamidas y poliaminas que a pesar de aumentar la clarificación del agua producida, son muy costosos y sólo son para determinados tipos de agua; como agente desinfectante se emplea el hipoclorito de sodio en solución (Pachacama, 2020).

2.2.5.1. Policloruro de aluminio

Es un coagulante inorgánico que se emplea en el tratamiento de agua cruda y de aguas residuales para minimizar la turbidez y el color, este coagulante no afecta el pH del agua tratada, también se ha reportado que reduce la carga de fosfatos, metales pesados y virus (Abdo et al., 2020).

2.2.5.2. Sulfato de aluminio

Conocido también como alúmina y con fórmula química $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, es una sal del aluminio, que se emplea como coagulante en el tratamiento de agua. Se obtiene al hacer reaccionar un mineral aluminico como caolín o bauxita con ácido sulfúrico (Show et al., 2019).

2.2.6. Potabilización del agua

La filtración de agua implica una serie de operaciones y procesos encaminados a la obtención de un líquido apto para el consumo humano. De acuerdo con la UNESCO, “el agua limpia y el saneamiento se encuentran entre los factores más importantes para el bienestar, la salud y el desarrollo humano mundial”.



Según Cristina & Camacho (2011), “el tratamiento de aguas está regido por una serie de normas que indican o fijan los límites generales aceptables para las impurezas de las aguas que están destinadas al abastecimiento público (condiciones mínimas de calidad física, química y bacteriológica)”

La complejidad de los procesos de tratamiento de agua dependerá de las características del agua superficial que se esté tratando, por lo que el primer paso para garantizar agua potable es determinar la calidad inicial del agua del grifo, a partir de la cual se pueden determinar las medidas correctivas necesarias.

Según Mayorga & Mayorga (2016), “Las aguas naturales captadas por las plantas potabilizadoras poseen sustancias de diferentes características que deben ser removidas durante el proceso de purificación”.

2.2.7. Plantas de potabilización de agua

Según Salazar et al. (2014), Las plantas de tratamiento de agua potable son estructuras destinadas al tratamiento del agua cruda con el fin de hacerla apta para el consumo humano preservando las condiciones de salud de la población

Pedraza (2016), sostiene que una planta de tratamiento es una secuencia de operaciones o procesos unitarios convenientemente seleccionados con el fin de remover totalmente los contaminantes microbiológicos presentes en el agua cruda y, parcialmente, los físicos y químicos, hasta llevarlos límites aceptables estipulados por las normas.

2.2.8. Proceso de Coagulación – Flocculación

La coagulación es la agregación y mezclado rápido de una sustancia química que resulta en la desestabilización de la materia coloidal y de los sólidos



suspendidos, y en consecuencia una adición inicial de partículas (Reynolds & Richards, 1996).

La floculación es el proceso mediante el cual las moléculas ya desestabilizadas entran en contacto, agrandando los flocs de modo de facilitar la sedimentación, de este modo, la mezcla deberá suministrar la energía suficiente para dispersar los condicionantes (polímeros, sales de aluminio/hierro) a través del lodo y unir las partículas con contactos suaves y construir un floc más grande (Martinez & Jiménez, 2006).

En aguas residuales, los principales coagulantes usados son las sales de aluminio o hierro, la cal y los polielectrólitos. Las partículas que no precipitan están comprendidas, por lo general, en un intervalo de tamaño de 0.1 μm a 100 μm , debido a que los coloides tienen tamaños de partículas en el intervalo de 1 μm a 1 μm , una parte importante de la materia que no sedimenta es de origen coloidal (Reynolds & Richards, 1996).

Existen varios tipos de coloides que incluyen al sol (una dispersión de partículas sólidas en un líquido), la emulsión (una dispersión de pequeñas gotas líquidas en otro líquido), el humo (partículas sólidas dispersadas en un gas), y la niebla (pequeñas gotas líquidas en un gas), los humos y las nieblas también se llaman aerosoles; otro tipo de coloide es el gel; en este tanto las partículas dispersadas como la fase en la que se dispersan se extienden continuamente a través del sistema (Russell & Larena, 1988). Los principales sistemas involucrados en el tratamiento del agua y del agua residual son los soles y las emulsiones (Reynolds & Richards, 1996).

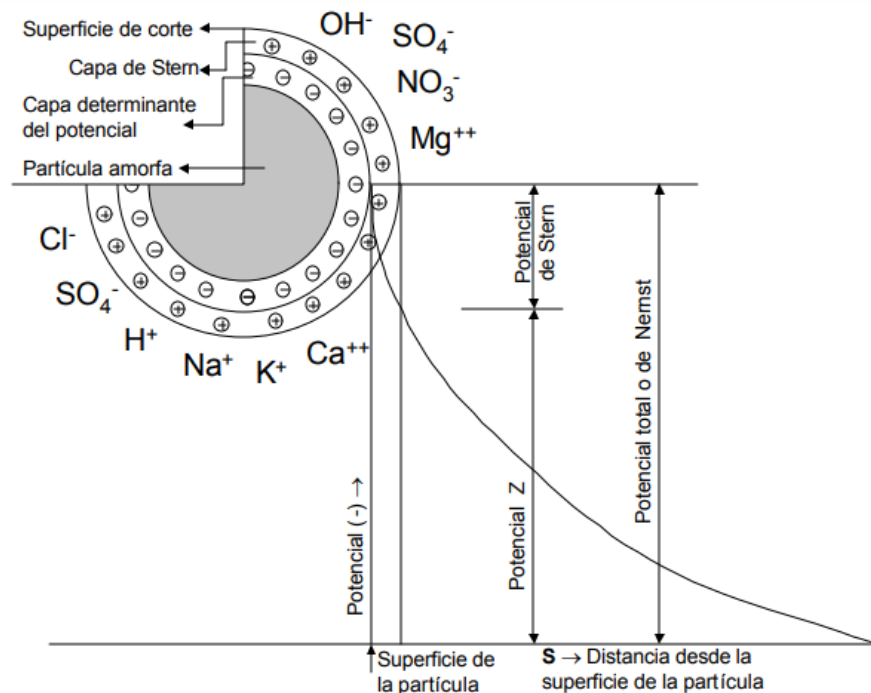


Dependiendo de su afinidad con el agua los coloides pueden ser hidrofóbicos o hidrofílicos. En la coagulación los coloides hidrofílicos tienen una reacción con el agua y los coagulantes; los hidrofóbicos no tienen reacción con el agua y la coagulación se logra predominantemente por reacciones físicas y no químicas (Romero Rojas & Jairo Alberto., 2002). Los coloides hidrofílicos conservan su estabilidad por la hidratación, pues las moléculas de agua son atraídas a la superficie de las partículas y actúan como una barrera para el contacto entre ellas, en los coloides hidrofóbicos la estabilidad es principalmente un fenómeno eléctrico, explicado por la teoría de la doble capa (Romero Rojas & Jairo Alberto., 2002).

En la Figura 1 se observa que la mayoría de los coloides están cargados negativamente de forma natural, se mantienen en suspensión por las fuerzas repulsivas. Una partícula negativa coloidal atraerá a su superficie iones de carga contraria del agua del circundante (Romero, 2002).

Figura 1

Coloide con carga negativa



Fuente: Romero, 2002.

La Figura 1 describe que, aunque los coloides individuales tienen una carga eléctrica, una suspensión coloidal, como una solución iónica, no tiene una carga eléctrica neta; para lograr la electroneutralidad, la carga sobre la partícula coloidal debe ser contrabalanceada por iones de carga contraria (contraiones) contenidas en la fase dispersa (Benfield et al., 1982; Sawyer et al., 1994)). Esta electroneutralidad resulta en una doble capa eléctrica que se compone de una capa fija (algunas veces llamada capa de Stern) de carga iónica opuesta a la de la superficie de la partícula y una capa difusa que es una mezcla de iones de cargas distintas (Sawyer et al., 1994). Por tanto, adyacente a la partícula se forma una capa estable, circundada por una capa difusa. Ambas capas representan una región cercana a la partícula donde hay un potencial electrostático debido a la partícula misma; dicho potencial es usualmente conocido como estabilidad de la suspensión



coloidal (Reynolds & Richards, 1996), o potencial de Nerst (Benefield et al., 1982). El potencial eléctrico se declina linealmente desde la superficie de la partícula hasta el final de la capa de Stern, a un valor el cual es llamado potencial de Stern (Benefield et al., 1982). Más allá de este punto, llamado capa difusa de Gouy, el potencial eléctrico se declina exponencialmente al aumentarse la distancia desde la partícula en donde se aprecia en la Figura 2 (Benefield et al., 1982).

La magnitud de esta carga sobre una partícula coloidal no se puede medir directamente; sin embargo, puede ser calculado un valor de potencial a una cierta distancia de la partícula (Benefield et al., 1982). Un método para hacerlo es usar valores medidos de la carga de superficie y la teoría de la doble capa eléctrica; un segundo método consiste en medir el movimiento coloidal en un campo eléctrico (conocido como movilidad electroforética) para calcular el potencial (Sawyer et al., 1994). Este potencial es llamado potencial Zeta, pZ , y es definido como:

$$pZ = \frac{4\pi q \delta}{D} \quad (1)$$

donde

pZ : potencial Zeta

q : carga sobre la partícula

δ : espesor de la zona de influencia de la carga de la partícula

D : constante dieléctrica del líquido

El potencial Zeta es el potencial que existe en el plano de corte entre la masa de líquido y la envoltura de agua que se mueve con la partícula coloidal; la

localización exacta de este corte de plano es desconocido, pero generalmente se considera que se localiza en la capa difusa, a alguna distancia más allá de la capa de Stern (Benefield et al., 1982), como se explica en la Figura 1.

Por tal razón, es posible interpretar el potencial Zeta como la medida, en milivolts, del potencial eléctrico entre la capa fija y la capa exterior de iones de carga contraria que cercan el coloide (Romero Rojas & Jairo Alberto., 2002).

Efectos de la formación de flóculos durante la coagulación:

- Reducir el potencial zeta hasta el punto en que las fuerzas de Van der Waals y la mezcla hacen que las partículas se peguen.
- Las partículas se unen mediante puentes entre grupos reactivos del coloide.
- El atrapamiento de partículas por los flóculos formados (Reynolds & Richards, 1996).

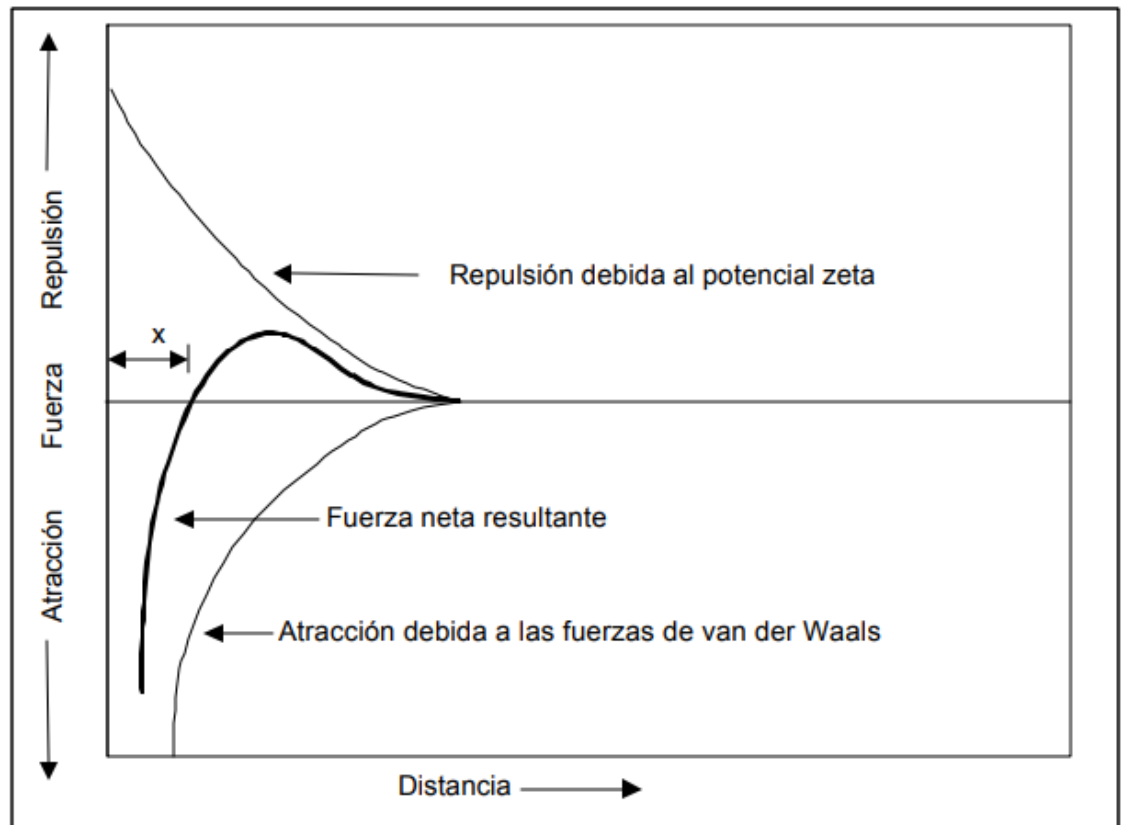
La Figura 2 muestra las fuerzas interparticulares en función de la distancia. Las fuerzas repulsivas son debidas al potencial Zeta, y las fuerzas atractivas se deben a las fuerzas de van der Waals que actúan sobre las partículas; la fuerza resultante es atractiva hasta una distancia muy cercana al origen, a partir de este punto la fuerza neta resultante es de repulsión (Reynolds & Richards, 1996).

Al adicionar un coagulante, éste se disocia y los iones resultantes y forman complejos hidróxido–metálicos polivalentes, con cargas positivas muy altas y son absorbidos a la superficie negativa del coloide. De esto resulta la disminución del potencial Zeta a un nivel donde los coloides son desestabilizados, siendo así, que los coloides desestabilizados se juntan debido a las fuerzas de Van der Waals y a la agitación moderada; la agitación es muy significativo pues esta ayuda a la

desestabilización de los coloides y también a la floculación (Reynolds & Richards, 1996).

Figura 2

Fuerzas interpartículas en función de la distancia



Fuente: Reynolds y Richards, 1996.

2.2.9. Lodos de potabilización

Es el resultado del proceso que genera la etapa de coagulación-floculación, que posteriormente son llevados a los sedimentadores. Están compuestos principalmente por sólidos retirados del agua, el coagulante (aluminio o hierro) usado en la eliminación de turbiedad, manganeso, arsénico, fierro, microorganismos y otros componentes capaces de precipitar (Gerardo, 2012).

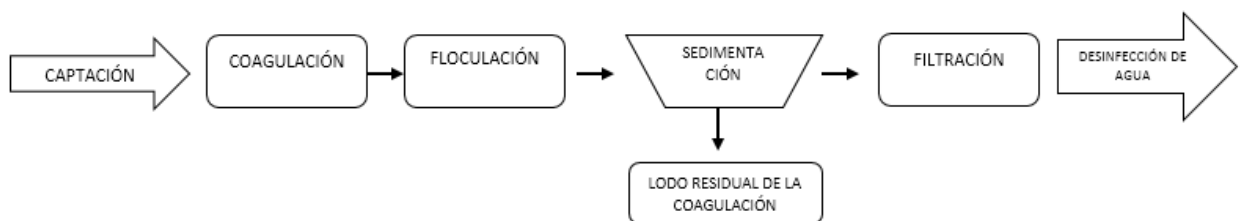
Los lodos sedimentados tienen un mayor contenido de humedad (97% a 99,5%) y un menor contenido de sólidos. La apariencia de estos lodos puede variar desde marrón claro a negro dependiendo de las características fisicoquímicas de la fuente de agua de la planta y de las materias primas químicas utilizadas en el tratamiento.

Los sólidos que contiene son voluminosos y livianos, lo cual permite su sedimentación de manera eficiente, sin embargo, lo que es difícil de lograr es su deshidratación, por esta última característica estas aguas son catalogadas como difíciles de tratar (Ahumada, 2012).

En la Figura 3 describe el proceso de la generación de lodos residuales después del proceso de coagulación – floculación en el tratamiento de potabilización de agua.

Figura 3

Esquema de la generación de aguas residuales de coagulación



2.2.10. Características de lodo aluminoso

Es el residuo de textura acuosa y húmeda en el que se aglutinan los sólidos asentados en el agua, esto considerado un fluido no Newtoniano, en cuya composición predominan el agua (más del 90%), partículas inorgánicas (arcilla o arena), hidróxido de aluminio, coloides, materia inorgánica y orgánica retirada del



agua de ingreso, residuos de insumos químicos agregados en el sistema de tratamiento; el conocimiento de sus características permite determinar su tratamiento y disposición final, así como también la recuperación del coagulante, las características más relevantes de los lodos son: turbiedad, sólidos totales, aluminio, hierro, pH, alcalinidad (Soediono, 1989).

2.2.11. Acondicionamiento de los lodos

Previo a la deshidratación es necesario un tratamiento físico o químico que logre la remoción de agua. El mejor sistema de acondicionamiento usa compuestos químicos inorgánicos y polímeros orgánicos (Tenesaca Sigua, 2007).

2.2.12. Reducción del volumen de los lodos

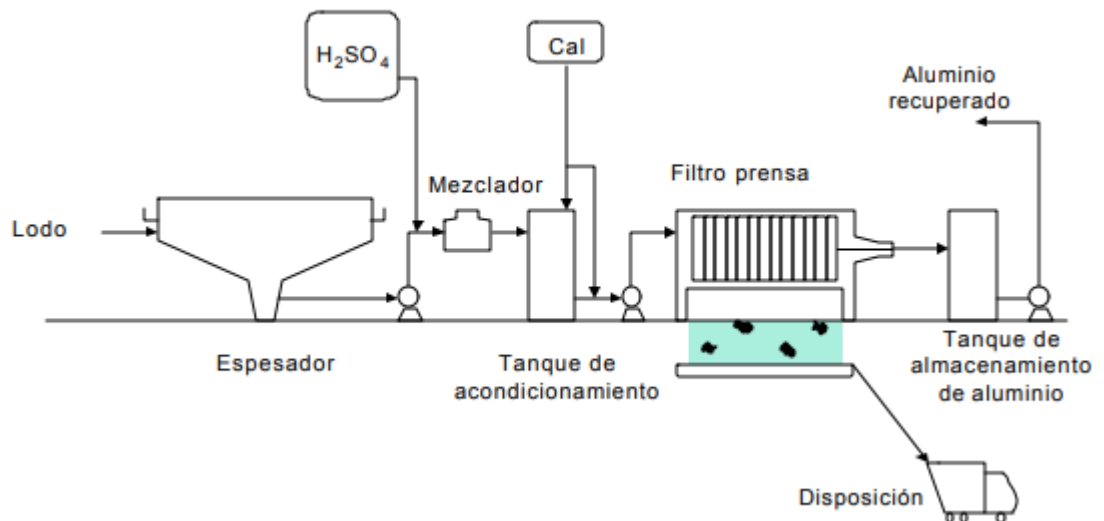
El principal objetivo de la reducción de volumen de los lodos es obtener un lodo con una concentración de sólidos que facilite su manejo y disposición, el siguiente diagrama muestra algunas alternativas que reducen el volumen de los lodos (A. Soediono, 1989).

2.2.13. Diagrama de flujo del proceso

Mediante el diagrama de la Figura 4, Fulton, (1974) detalla un proceso de recuperación no selectivo en plantas potabilizadoras, en donde el lodo es concentrado para simplificar su manejo subsecuente y conseguir una concentración suficiente de aluminio, idealmente la concentración del lodo debe ser mayor al 2.0 por ciento en peso, las soluciones poco concentradas impiden de forma considerable el proceso de coagulación, incluso, soluciones menores al 1.0% se consideran inapropiados para la coagulación (Fulton, 1974).

Figura 4

Proceso de recuperación no selectiva del sulfato de aluminio



Fuente: Fulton, 1974

Posteriormente, el lodo concentrado es puesto en contacto con ácido sulfúrico para producir sulfato de aluminio en solución por medio de un mezclador estático, pues la reacción del hidróxido del aluminio con el ácido es casi instantánea, de tal modo, conviene adicionar ácido en exceso con el propósito de provocar la hidrolización de ciertas especies orgánicas en el lodo y bajar el pH de la mezcla, a pH bajos se desarrollan las propiedades de sedimentación y filtración de los sólidos remanentes, que deben ser retirados para producir aluminio capaz de ser reusado, en general, a un pH de 2 las propiedades de sedimentación del lodo son excelentes, en algunos tipos de lodo los valores altos de pH pueden mejorar las características del lodo y brindar ventajas al filtrar el aluminio (Fulton, 1974).

Finalmente, la materia suspendida remanente se separa de la solución de aluminio, esta separación puede ser realizada mediante un filtro prensa o por sedimentación (Fulton, 1974). La acidificación de lodos biológicos con ácido sulfúrico aumenta sus características de desaguado por filtración (WPCF, 1988).



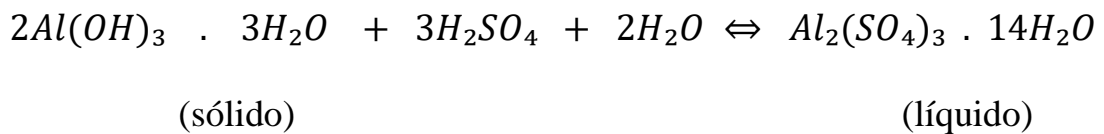
En la sedimentación, el aluminio se recupera directamente del efluente clarificado mientras que los lodos acidificados se neutralizan con cal, para posteriormente ser desaguados por medio de un filtro prensa, debido a que los lodos contienen cierta cantidad de agua y por tanto aluminio en solución, la recuperación del metal por este proceso es del 60 al 80 por ciento (Fulton, 1974).

Si en vez de usar sedimentación se desaguan los lodos directamente con un filtro prensa se recupera cerca del 100 por ciento del aluminio. Sin embargo, las tasas altas de recuperación de aluminio son poco prácticas, pues es necesario limitar la cantidad de impurezas que se recobran conjuntamente con el aluminio (Fulton, 1974).

2.2.14. Técnicas de recuperación de aluminio

2.2.14.1. Extracción ácida

La extracción del aluminio por el método de acidificación es ampliamente practicado en diversas plantas de tratamiento de agua potable, por ejemplo, en la planta potabilizadora de Durham, D.C. se han reportado eficiencia de recuperación superiores al 70%, con una reducción del 40% el volumen de lodo generado y los costos asociados al proceso de disposición se disminuyen en 28% (Bishop et al., 1987). Varios estudios señalan que las concentraciones de aluminio recuperado de lodos de plantas potabilizadoras varían entre 360 y 3700 mg/L (SenGupta & Prakash, 1994), es decir soluciones diluidas de aproximadamente 2% en peso (Bishop et al., 1991). La reacción propuesta para explicar el mecanismo de la disolución del aluminio es:



de donde se deduce que es necesario adicionar 1.5 moles de ácido sulfúrico por cada mol de aluminio recuperado (5.44 g de H₂SO₄/g de Al), sin embargo, los requerimientos de ácido por el lodo son resultado del pH al que se realiza la extracción del Al³⁺, pues la disolución completa del Al(OH)₃ ocurre a un pH de 2 (Cornwell & Zoltek, 1977). Por tal razón, el valor del pH de extracción varía entre 1 y 3, con lo que la eficiencia en la recuperación de aluminio puede ser de 70% a 90% (Chen et al., 1976; Chu, 1999). Para valores de pH entre 1.20 y 4 se disuelve del 40 al 70% (White & Matthews, 1982), pues entre más cercano sea el pH a 4 la disolución del Al(OH)₃ disminuye.

En lodos de varias potabilizadoras la cantidad añadida de H₂SO₄ necesaria para alcanzar disoluciones de Al³⁺ del 60 al 90% fue muy cercana a la estequiométrica (Cornwell & Susan, 1979); sin embargo, la relación mol de H₂SO₄/mol de Al, utilizada preferentemente en diversos ensayos es de 2 (Bishop et al., 1987);(Bishop et al., 1991); (Cornwell & Zoltek, 1977). Aunque, se han necesitado relaciones de hasta 25 moles de H₂SO₄ / mol de Al para disolver el 90% del Al³⁺ debido a cantidades altas de carbonatos en las diversas matrices de lodos (Cornwell & Susan, 1979). Por tal razón, no es aconsejable basar la cantidad de ácido añadido en la recuperación de aluminio, pues el lodo tiene una capacidad amortiguadora inherente que puede afectar los requerimientos de ácido.

2.2.14.2.Extracción alcalina



La extracción del aluminio por método alcalino es más selectiva que la ácida, pues las sales de hierro y de manganeso son poco solubles en estas condiciones (menos del 2%) y la recuperación de aluminio es superior al 95%, no obstante, la concentración del carbón orgánico disuelto aumenta a partir de un valor de 6, lo que significa que es una desventaja si el aluminio recuperado es usado nuevamente como coagulante (SenGupta & Prakash, 1994).

Por tal motivo, Masschelein et al., (1985), en trabajos con lodos de potabilizadoras, aplicaron el uso de NaOH en un intervalo óptimo de pH entre 11.40 y 11.80 a razón de 1.75 moles/mol de Al^{3+} , con lo que consiguieron hasta un 80% de la eficiencia de recuperación; también experimentaron con $Ca(OH)_2$ en un intervalo óptimo de pH entre 11.20 y 11.60, con una relación molar $Ca(OH)_2/ Al^{3+}$ entre 7 y 8 y una eficiencia de recuperación del 25%, en ambos casos el reciclamiento del coagulante en el tratamiento se reportó como aceptable.

2.2.14.3. Uso del aluminio recuperado como coagulante

Para determinar la calidad del recuperado se analiza sus características físicas y químicas en laboratorio, se ha determinado que las características del recuperado igualan a las de los coagulantes del mercado (Soediono, 1989). Su evaluación está basada mediante los siguientes parámetros: Concentración, Color, Turbiedad, pH y Hierro (Bishop, 1987); realizó pruebas de aluminio comercial y aluminio recuperado, teniendo como resultado que el uso de aluminio recuperado tubo un buen desempeño basándose en los estándares finales de calidad de agua; el



hierro y manganeso se presentaron en altas concentraciones sin embargo fueron eliminados en el transcurso del tratamiento. En general la calidad del agua fue similar en ambos casos. Slechta & Culp, (2015) afirmaron que el uso de coagulante recuperado es similar al de los coagulantes comerciales después de 10 ciclos de extracción.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La presente investigación se realizó en la planta de tratamiento de agua potable SEDAJULIACA S.A., ubicado en la Av. Tambopata S/N. a media cuadra de la segunda Circunvalación, cuyas coordenadas UTM son: Este: 381144.00, Norte 8289534.00 y con una altitud de 3825 m.s.n.m. como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3

Lugar de ejecución

Departamento:	Puno
Provincia:	San Román
Distrito:	Juliaca
Entidad:	Entidad Prestadora de Servicios SEDAJULIACA S.A.

Fuente: Elaboración propia

3.2. EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS

EQUIPOS

- ICP de masas Turbidímetro (HACH 2100N)
- Equipo para análisis de conductividad, salinidad y solidos disueltos totales.
(HACH 150 CO)
- Equipo para medición de pH (OAKTON pH 2700)
- Agitador magnético (SLENDOR)
- Equipo de prueba de jarras (PHIPPS & BIRD STIRRER)

MATERIALES



- Probetas (2000 mL)
- Vasos de Precipitación (50 mL, 100 mL y 2000 mL)
- Pipeta (2 mL, 5 mL)
- Propipeta (tipo bombilla de 3 válvulas)
- Piceta
- Baldes de plástico (10 L)
- Mascarillas
- Embudos de vidrio
- Guantes de nitrilo
- Plumones acrílicos
- Lodos de la PTAP SEDA JULIACA

REACTIVOS

- Solución estéril para limpieza de material de vidrio
- Ácido Sulfúrico Q.P.
- Agua destilada

3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Medina (1998), el diseño factorial de experimentos es una técnica estadística que permite planificar eficientemente la experimentación de modo que con un número mínimo de ensayos se logre determinar la significancia de cada una de las variables independientes evaluadas, el efecto de sus interacciones y se obtiene un modelo matemático empírico, que constituye la base para un proceso posterior de optimización.

El paquete estadístico que se ha utilizado en el desarrollo del modelo matemático por experimentación y estadística es Statgraphics Centurión XVI. Por lo tanto: El número total de experimentos a llevarse a cabo viene definido por la relación:



$$N = 2^k \quad (2)$$

Donde:

N: Número de experimentos.

k: Número de variables.

3.3.1. Matriz de diseño

Medina (1998), en base a las variables propuestas se abarcan tres variables independientes y una variable dependiente. El diseño a utilizar es la factorial $2^3 = 8$, entonces el número de pruebas que se realizará experimentalmente es de 8 repeticiones de las cuales se consigue el modelo matemático para poder establecer la optimización del método y concluido esto se realiza también un ensayo por triplicado del modelo óptimo obtenido, para asegurar la reproducibilidad del experimento.

Numero de variables	3
N° de pruebas	8

3.3.1.1. Identificación de variables

En la Tabla 4 se identifican las siguientes variables.



Tabla 4

Variables según niveles

	Variables	Unidad	Nivel -	Nivel +
Z1	pH	Escalar	2	4
Z2	Velocidad de agitación	RPM	40	100
Z3	Tiempo de agitación	Min	30	60

Fuente: Elaboración propia

Variables dependientes

- Recuperación de aluminio

Variables independientes

- pH
- Velocidad de agitación
- Tiempo de agitación



Tabla 5

Matriz de diseño experimental

CODIFICACIÓN DE VARIABLES						
N°	Z1	Z2	Z3	X1	X2	X3
1	4	40	30	1	-1	-1
2	2	40	30	-1	-1	-1
3	4	40	60	1	-1	1
4	2	40	60	-1	-1	1
5	4	100	30	1	1	-1
6	2	100	30	-1	1	-1
7	4	100	60	1	1	1
8	2	100	60	-1	1	1

Fuente: Elaboración propia

3.4. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Para la realización de esta investigación primeramente se coordinó con la Gerencia de Operaciones de la EPS SEDA JULIACA S.A. y con los trabajadores que laboran en el área de producción y calidad, seguidamente, se presenta los métodos utilizados en esta investigación de acuerdo con los objetivos planteados.



3.4.1. Caracterización de lodos residuales generados en el proceso de potabilización de la empresa SEDAJULIACA

3.4.1.1. Toma de muestra

La toma de muestra se realizó desde los sedimentadores de la PTAP SEDAJULIACA en el mes de Setiembre, con ayuda del personal designado para el mantenimiento de la planta potabilizadora.

a) Procedimiento

Con el permiso respectivo, se realizó a cabo la toma de muestra en 03 baldes de 10 litros de diferentes puntos del sedimentador, donde se almacenaron, posteriormente estas muestras se homogenizan manualmente y se llevan al laboratorio de la EPS SEDAJULIACA, para su caracterización y ensayos de tratabilidad.

3.4.1.2. Caracterización de los lodos

En esta investigación se utilizaron los WTS generados en los sedimentadores de la PTAP SEDAJULIACA, la cual se utiliza en el proceso de potabilización policloruro de aluminio como coagulante. Las cuales fueron llevadas al laboratorio de la PTAP SEDAJULIACA, donde fueron caracterizados a través de los análisis físicos los siguientes parámetros: pH, sólidos totales disueltos, conductividad eléctrica, temperatura. Para la caracterización química se llevó a laboratorio CERPER S.A. donde se determinó la cantidad de aluminio.



a) **Caracterización física**

- **pH:** Es importante contar con un método para medir el pH del agua cruda y tratada para que el verdadero pH indique la alcalinidad o acidez de la solución.

PROCEDIMIENTO:

- Encender el equipo (OAKTON pH 2700)
- Calibrar con soluciones estándar: 4, 7 y 10 de pH
- Verter 50 mL de la muestra a analizar en un vaso de precipitado de 100 mL.
- Introducir el electrodo del potenciómetro en el vaso precipitado
- Esperar a que el equipo estabilice.
- Anotar el valor indicado en el equipo.

RANGOS DE pH

Estándar de Calidad Ambiental: 6.50 – 9 Unidades de pH

- **Sólidos Totales Disueltos:** Con el procedimiento de medición directa, la determinación de sólidos totales disueltos mide específicamente el total de sólidos filtrables (sales y residuos orgánicos). Los sólidos disueltos pueden afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua o un efluente de varias formas. Aguas con un alto contenido de sólidos totales disueltos, son por lo general de mal agrado para el paladar y pueden inducir una reacción fisiológica adversa en el consumidor.

PROCEDIMIENTO

- Encender el equipo (HACH 150 CO)



- Verter 50 mL de la muestra a analizar en un vaso de precipitado de 100 mL.
- Colocar el electrodo en el vaso de precipitado.
- Esperar a que el equipo estabilice.
- Anotar el valor indicado en el equipo.

RANGOS DE SOLIDOS TOTALES DISUELTOS

Estándar de Calidad Ambiental: 500 (mg/L)

- **Conductividad Eléctrica:** En el procedimiento de medición directa, las unidades de conductividad eléctrica de examen son en micro Siemens/cm. En la práctica se mide la conductividad con electrodos de diferente tamaño, rectangulares o cilíndricos, por lo que al hacer la medición, en lugar de la conductividad se mide la conductancia, la cual se multiplicó por la constante (k) de cada celda en particular, se transforma en la conductividad en S/cm.

PROCEDIMIENTO

- Encender el equipo (HACH 150 CO)
- Verter 50 mL de la muestra a analizar en un vaso de precipitado de 100 mL.
- Colocar el electrodo del conductímetro.
- Esperar a que el equipo estabilice.
- Anotar el valor indicado en el equipo.

RANGOS DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Estándar de Calidad Ambiental: 1000 (μ S/cm)



- **Temperatura:** En el método de medición directa, las unidades de la temperatura son en °C, el sensor utilizado para la compensación automática de temperatura, normalmente no necesita una calibración, pero si la lectura de la temperatura es sospechosa de dar valores erróneos, puede calibrarse por comparación con un sistema certificado de temperatura.

PROCEDIMIENTO

- Encender el equipo (HACH 150 CO)
- Verter 50 mL de la muestra en un vaso de precipitado.
- Colocar el electrodo del conductímetro.
- Esperar a que el equipo estabilice.
- Anotar el valor indicado en el equipo.

RANGO DE TEMPERATURA

Estándar de Calidad Ambiental: $\Delta 3$ °C

$\Delta 3$: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

b) Caracterización química

- **Aluminio residual:** Para esta caracterización, se tomó 1 L de muestra y se llevó a laboratorio CERPER S.A. donde aplicaron los métodos:

Metales totales por ICP-OES: Determinación de elementos seleccionados mediante espectrometría de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES)



Metales por ICP-MS: Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (digestión ácida de sedimentos, lodos, suelos y aceites asistida por microondas)

RANGO DE ALUMINIO RESIDUAL

Estándar de Calidad Ambiental: 5 (mg/L)

3.4.2. Determinación de los parámetros óptimos de pH, velocidad de agitación y tiempo de agitación para la recuperación de aluminio

3.4.2.1. Ensayos de tratabilidad

Por medio de los ensayos de tratabilidad se consiguió recuperar aluminio presente en los lodos, correlacionando con variables como velocidad de agitación, tiempo de agitación, pH y dosis óptima de ácido, con el objetivo de reducir el volumen del lodo y evaluar la posibilidad para su reutilización.

PROCEDIMIENTO:

Para la evaluación de recuperación de aluminio se utilizó el equipo de prueba de jarras (PHIPPS & BIRD STIRRER), que tiene un sistema de agitación con regulador de velocidades, donde se realizaron pruebas simultaneas tomando 08 muestras en vaso de precipitado de 2 litros. Para cada ensayo, se añadió ácido sulfúrico concentrado hasta obtener un pH de 2 y 4, con una velocidad de agitación de 40 y 100 RPM y tiempos de agitación de 30 y 60 minutos.

Concluido el tiempo de agitación de las muestras, se dejó decantar por un lapso de 120 minutos. Se tomaron las muestras del sobrenadante para su respectivo estudio y estipulación del porcentaje de aluminio



recuperado a distintos valores de pH. Estas muestras fueron llevadas a laboratorio CERPER S.A. para la determinación de aluminio recuperado.

3.4.3. Determinación de porcentaje de aluminio recuperado en la acidificación agitada utilizando ácido sulfúrico concentrado y evaluación la capacidad de este como coagulante

3.4.3.1. Porcentaje de aluminio recuperado en la acidificación agitada

Concluido el periodo de 120 minutos de decantación se procedió a tomar las muestras del sobrenadante siendo el mismo el coagulante recuperado. Se tomaron muestras de 100 mL de aluminio recuperado de cada prueba realizada. Posteriormente se envió a laboratorio CERPER S.A. para analizar la cantidad de aluminio recuperado por el método de espectrometría y determinar el porcentaje de recuperación a partir de la muestra inicial (lodo).

3.4.3.2. Evaluación como coagulante a partir del aluminio recuperado

a) Caracterización del coagulante recuperado

La caracterización de las muestras tomadas del sobrenadante fue similar a la de lodo residual, ya que se llevó a cabo en el mismo laboratorio, equipos y en mismas condiciones, los parámetros realizados fueron:

- pH
- Color
- Turbiedad
- Solidos totales disueltos



- Temperatura.

b) Pruebas con coagulante recuperado

Primeramente, se tomó muestra de agua cruda con condiciones iniciales (previamente caracterizado) y se realizó una prueba de jarras (PHIPPS & BIRD STIRRER) con el policloruro de aluminio comercial (1%), para que nos brinde las condiciones iniciales para el uso del coagulante recuperado.

Seguidamente, se toma la muestra de Al recuperado (2%), y teniendo un blanco de comparación, se realiza pruebas con el coagulante recuperado utilizando el mismo equipo de Test Jar.

Para tener conocimiento sobre la adición de coagulante a cada jarra se usa la siguiente formula:

$$V * D = v * C \quad (3)$$

Donde:

V: Volumen total (mL)

D: Dosis del coagulante (mg/L)

v: Volumen del coagulante (mL)

C: Concentración del coagulante (mg/L)

Para determinar la cantidad necesaria de coagulante a adicionar a cada jarra despejamos de la fórmula:

$$v = \frac{V * D}{C} \quad (4)$$

Culminadas las pruebas de jarras se procede a tomar muestras de cada ensayo y se analizan los siguientes parámetros:

- pH



- Turbidez
- Color

Finalmente se elige el ensayo con mejores resultados, siendo esta la cantidad de coagulante recuperado óptima para tratamiento de agua cruda.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este capítulo presenta, analiza e interpreta los resultados obtenidos mediante la realización de pruebas experimentales, así como el diseño de experimentos, por ello se propone el uso de parámetros y se crea un modelo matemático con el objetivo de describir satisfactoriamente el proceso actual llevado a cabo de acuerdo con los objetivos planteados. y posteriormente entregar las conclusiones que confirman la hipótesis propuesta.

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LODOS RESIDUALES GENERADOS EN EL PROCESO DE POTABILIZACIÓN DE LA EMPRESA EPS SEDAJULIACA S.A.

4.1.1. Caracterización física de los lodos

La caracterización se llevó a cabo a través del análisis físico de los lodos generados en el proceso de potabilización contenidas en el sedimentador de la EPS SEDAJULIACA S.A. La muestra fue llevada a los laboratorios de la EPS SEDAJULIACA S.A. La investigación se hizo el mes de septiembre, obteniendo resultados de pH de 7.85 unidades, sólidos totales disueltos de 2460 mg/L, salinidad de 0.20% y una temperatura de 13.90 °C, como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6*Caracterización de muestra inicial de lodos.*

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
pH	UND	7.85
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	2460
Conductividad	μS/cm	220
Salinidad	%	0.20
Temperatura	°C	13.90

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 6 muestran valores iniciales de la muestra tomada, así mismo, indican que los parámetros de pH, conductividad y temperatura están en el rango de los Límites de los Estándares de calidad Ambiental, sin embargo, el parámetro de sólidos totales disueltos excede los Límites de Estándar de Calidad Ambiental, puesto que el máximo valor es de 500 mg/L.

4.1.2. Caracterización química de los lodos

La caracterización química sobre el contenido de aluminio residual presente en los lodos de potabilización, la muestra fue llevada a laboratorios CERPER S.A. aplicando la metodología de espectrometría por ICP-OES y ICP-MS obteniendo resultados de aluminio residual de 66973 mg/Kg equivalente a 1774 mg/L como indica la Tabla 7.

Tabla 7

Contenido de Aluminio en lodos.

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
Aluminio (Al)	mg/Kg	66973
Aluminio (Al)	mg/L	1774

Fuente: Laboratorio CERPER S.A. N° 2-025-07/23

La Tabla 7 muestran el aluminio residual inicial en la muestra tomada. Estos resultados muestran exceso de aluminio residual con 66973 mg/Kg, donde se aprecia que estos valores representan un foco de contaminación, debido a que estos lodos exceden los Límites de Estándares de Calidad Ambiental, puesto que el máximo valor es de 5 mg/L. En la investigación de Castro & Reyes (2022) los resultados que obtuvieron fueron de 33313.69 mg/Kg. También, Ooi et al. (2018) en la caracterización de su lodo obtuvo 170600 mg/Kg, lo que muestra que, en los lodos generados en una planta de tratamiento de agua, contienen un alto contenido de aluminio residual, y estos lodos en la PTAP SEDAJULIACA son vertidos directamente al Rio Coata sin ningún tratamiento, lo que atenta con la vida acuática de este rio, consumidores aledaños, ganado y plantas, que se encuentran en las riberas de este rio.

4.2. PARÁMETROS ÓPTIMOS DE PH, VELOCIDAD DE AGITACIÓN Y TIEMPO DE AGITACIÓN PARA LA RECUPERACIÓN DE ALUMINIO (Al) UTILIZANDO ÁCIDO SULFÚRICO POR EL MÉTODO DE ACIDIFICACIÓN.

Con la finalidad de determinar los mejores valores de pH, velocidad de agitación y tiempo de agitación para la recuperación de aluminio. Se realizaron ocho (8) pruebas a



distintos pH (2 y 4 unidades) velocidad de agitación (40 y 100 RPM) y tiempo de mezcla (30 y 60 minutos). Tras someter las pruebas a un Test-Jar para las condiciones iniciales de los lodos de la PTAP SEDAJULIACA. En la primera prueba se obtuvo una recuperación de 2.65 mg/L con un pH de 4, velocidad de agitación de 40 RPM y tiempo de agitación de 30 minutos. En la segunda prueba se obtuvo una recuperación de 1120 mg/L con un pH de 2, velocidad de agitación de 40 RPM y tiempo de agitación de 30 minutos. En la tercera prueba se obtuvo una recuperación de 3.52 mg/L con un pH de 4, velocidad de agitación de 40 RPM y tiempo de agitación de 60 minutos. En la cuarta prueba se obtuvo una recuperación de 1039 mg/L con un pH de 2, velocidad de agitación de 40 RPM y tiempo de agitación de 60 minutos. En la quinta prueba se obtuvo una recuperación de 8.77 mg/L con un pH de 4, velocidad de agitación de 100 RPM y tiempo de agitación de 30 minutos. En la sexta prueba se obtuvo una recuperación de 1399 mg/L con un pH de 2, velocidad de agitación de 100 RPM y tiempo de agitación de 30 minutos. En la séptima prueba se obtuvo una recuperación de 4.71 mg/L con un pH de 4, velocidad de agitación de 100 RPM y tiempo de agitación de 60 minutos. En la octava prueba se obtuvo una recuperación de 1178 mg/L con un pH de 2, velocidad de agitación de 100 RPM y tiempo de agitación de 60 minutos, como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8

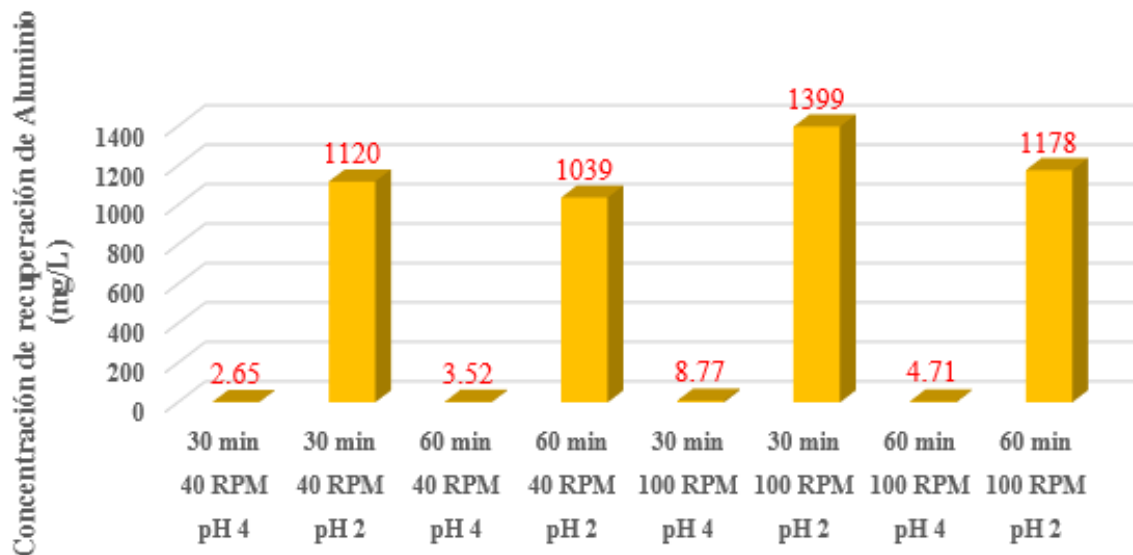
Resultados de las pruebas de recuperación de Al a diferente pH

Numero de Prueba	Combinación de Niveles			
	pH (UND) (X1)	Velocidad de agitación (RPM) (X2)	Tiempo de agitación (min) (X3)	Recuperación Al (mg/L) (Y)
1	4	40	30	2.65
2	2	40	30	1120
3	4	40	60	3.52
4	2	40	60	1039
5	4	100	30	8.77
6	2	100	30	1399
7	4	100	60	4.71
8	2	100	60	1178

Fuente: Elaboración propia

Figura 5

Concentración de Aluminio recuperado a diferente tiempo de agitación, diferente velocidad de agitación y diferente pH



En la Tabla 8 y Figura N° 5 se puede observar que en la sexta prueba se recuperó una mayor cantidad de aluminio residual con 1399 mg/L siendo estos los parámetros óptimos: en un pH óptimo de 2 unidades, en una velocidad de agitación óptimo de 100 RPM y un tiempo de mezcla óptimo de 30 minutos.

Estos resultados muestran similitud con lo reportado de Nuñez & Peña (2011), debido a que en su investigación obtuvieron una recuperación de 1038.90 mg/L de aluminio residual, con un pH óptimo de 1.50 unidades, en un tiempo de 30 minutos. También, Gamarra & Romero (2019) obtuvieron un resultado de 235.40 mg/L de aluminio residual con un pH óptimo de 2 unidades, en un tiempo de 45 minutos y una velocidad de agitación de 100 RPM. De la misma manera Ladino & Olaya (2019) obtuvieron una recuperación de 2600 mg/L de aluminio residual con un pH de 1.90 unidades. De esta manera se demuestra que las concentraciones de recuperación dependen



directamente del pH. Mientras más bajo es el pH, mayor será la recuperación en la concentración del aluminio.

4.3. PORCENTAJE DE ALUMINIO RECUPERADO DESPUÉS DE LA ACIDIFICACIÓN Y SU EVALUACIÓN DE ESTE COMO COAGULANTE

4.3.1. Porcentaje de aluminio recuperado después de la acidificación

En la Tabla 9 se puede apreciar el porcentaje de aluminio recuperado alcanzado en las ocho pruebas que se realizó. Este porcentaje fue hallado a partir de la caracterización inicial del aluminio residual presente en el lodo que fue de 1774 mg/L (Tabla 7). Teniendo un porcentaje de recuperación de aluminio en la primera prueba de 0.15%. Un porcentaje de recuperación de aluminio en la segunda prueba de 63.13%. Un porcentaje de recuperación de aluminio en la tercera prueba de 0.20%. Un porcentaje de recuperación de aluminio en la cuarta prueba de 58.57%. Un porcentaje de recuperación de aluminio en la quinta prueba de 0.49%. Un porcentaje de recuperación de aluminio en la sexta prueba de 78.86%. Un porcentaje de recuperación de aluminio en la séptima prueba de 0.26%. Un porcentaje de recuperación de aluminio en la octava prueba de 66.40%.



Tabla 9

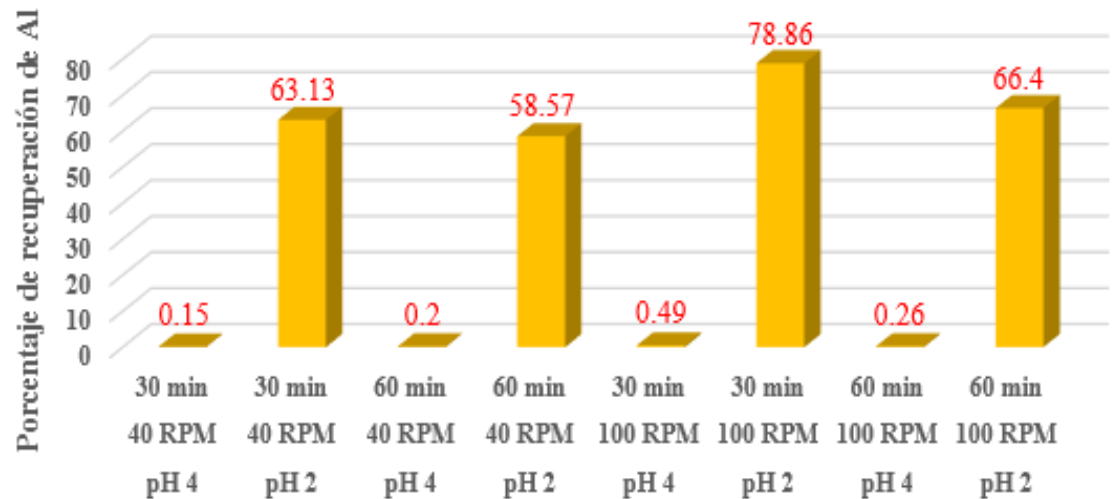
Porcentaje de recuperación de aluminio a diferente pH

Número de Prueba	Al recuperado (mg/L)	Al recuperado (%)
1	2.65	0.15
2	1120	63.13
3	3.52	0.20
4	1039	58.57
5	8.77	0.49
6	1399	78.86
7	4.71	0.26
8	1178	66.40

Fuente: Elaboración propia

Figura 6

Porcentaje de Aluminio recuperado a diferente tiempo de agitación, diferente velocidad de agitación y diferente pH



En la Tabla 9 y Figura N° 6 se observa el porcentaje de aluminio recuperado, donde la recuperación menor fue en la prueba 1 con un porcentaje de 0.15%. Así mismo, la máxima recuperación se dio en la prueba 6 con un porcentaje de 78.86%.

Estos resultados muestran similitud con lo reportado de Nuñez & Peña (2011), debido a que en su investigación obtuvieron una recuperación de 71.50% de aluminio residual, con un pH óptimo de 1.50 unidades. También, Jácome (2017) obtuvo un resultado de 86% en recuperación aluminio residual con un pH óptimo de 2 unidades. De la misma manera, Gamarra & Romero (2019) obtuvieron un resultado de 99% en recuperación de aluminio residual con un pH óptimo de 2 unidades. Así mismo, Ooi et al. (2018) obtuvo un resultado de 86% en recuperación aluminio residual. De igual forma, Ladino & Olaya (2019) obtuvieron una recuperación de 58.75% en recuperación de aluminio residual con



un pH de 1.90 unidades. De esta manera se demuestra que la recuperación de aluminio supera el 50% en medio ácido.

4.3.2. Evaluación de Aluminio recuperado como coagulante

a) Caracterización del aluminio recuperado

Conociendo el ensayo con mayor concentración de aluminio recuperado, se hizo una caracterización física a los siguientes parámetros, obteniendo resultados: turbiedad con 13 UNT, color 15 Pt-Co, sólidos totales disueltos 660 mg/L, conductividad 220 μ S/cm, salinidad 0.20% y temperatura de 13.90 °C, como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10

pH 2 unidades y tiempo de agitación 30 minutos

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
Aluminio (Al)	mg/L	1399
Turbiedad	UNT	13
Color	Pt-Co	15
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	660
Conductividad	μ S/cm	220
Salinidad	%	0.20
Temperatura	°C	13.90

Fuente: Elaboración propia.

Se hizo esta caracterización con la finalidad para poder compararlo con el coagulante que se utiliza en la PTAP SEDAJULIACA y observar si afecta cuando se mezcla con el agua cruda.

b) Ensayos con el Aluminio recuperado

Caracterización de agua cruda

Se ha caracterizado el agua cruda obteniendo resultados de turbiedad 3.21 UNT, pH 7.72 Unid., color 5 Pt.Co, sólidos totales disueltos 320 mg/L, conductividad, 220 μ S/cm, salinidad 0.10% y temperatura 11.70 °C, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 11

Condiciones iniciales de agua cruda

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
Turbiedad	UNT	3.21
pH	Unid.	7.72
Color	Pt-Co	5
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	320
Conductividad	μ S/cm	220
Salinidad	%	0.10
Temperatura	°C	11.70

Fuente: Elaboración propia.

Se ha caracterizado el agua cruda con la finalidad de evaluar el coagulante que usa la PTAP SEDAJULIACA y el aluminio recuperado a partir de las mismas condiciones iniciales.

Prueba de Jar Test con el coagulante usado en PTAP

SEDAJULIACA



Se hicieron seis (06) pruebas con 2000 mL de agua cruda cada una previamente caracterizada, la concentración de coagulante utilizado en las pruebas de la PTAP SEDA JULIACA es de 1%, el volumen añadido en la primera prueba es de 2.40 mL, en la segunda prueba 2.80 mL, en la tercera prueba 3.20 mL, en la cuarta prueba 3.60 mL, en la quinta prueba 4 mL y en la sexta prueba 4.40 mL, para determinar la dosis se aplicó la fórmula (4):

$$D = \frac{v * C}{V}$$

Reemplazamos para la primera prueba:

$$D = \frac{2.40 \text{ mL} * 10000 \text{ mg/L}}{2000 \text{ mL}}$$

$$D = 12 \text{ mg/L}$$

Reemplazamos para la segunda prueba:

$$D = \frac{2.80 \text{ mL} * 10000 \text{ mg/L}}{2000 \text{ mL}}$$

$$D = 14 \text{ mg/L}$$

Reemplazamos para la tercera prueba:

$$D = \frac{3.20 \text{ mL} * 10000 \text{ mg/L}}{2000 \text{ mL}}$$

$$D = 16 \text{ mg/L}$$

Reemplazamos para la cuarta prueba:



$$D = \frac{3.60 \text{ mL} * 10000 \text{ mg/L}}{2000 \text{ mL}}$$

$$D = 18 \text{ mg/L}$$

Reemplazamos para la quinta prueba:

$$D = \frac{4 \text{ mL} * 10000 \text{ mg/L}}{2000 \text{ mL}}$$

$$D = 20 \text{ mg/L}$$

Reemplazamos para la sexta prueba:

$$D = \frac{4.40 \text{ mL} * 10000 \text{ mg/L}}{2000 \text{ mL}}$$

$$D = 22 \text{ mg/L}$$

Tabla 12

Pruebas de Jar Test con el coagulante usado en PTAP SEDAJULIACA

Número de Prueba	Cantidad de muestra (mL) = V	Coagulante (mg/L) = D	Concentración Coagulante 1% (mg/L) = C	Coagulante Adicionado (mL) = v
1	2000	12	10000	2.40
2	2000	14	10000	2.80
3	2000	16	10000	3.20
4	2000	18	10000	3.60
5	2000	20	10000	4
6	2000	22	10000	4.40

Fuente: Elaboración propia.



Prueba de Jar Test con el aluminio recuperado

Se hicieron seis (06) pruebas con 2000 mL de agua cruda cada una previamente caracterizada, con el aluminio recuperado, para estos ensayos se utilizó una concentración de 2%, el volumen añadido en la primera prueba es de 1.20 mL, en la segunda prueba 1.40 mL, en la tercera prueba 1.60 mL, en la cuarta prueba 1.80 mL, en la quinta prueba 2 mL y en la segunda prueba 2.20 mL, para determinar la dosis se aplicó la fórmula (4):

$$D = \frac{v * C}{V}$$

Reemplazamos para la primera prueba:

$$D = \frac{1.20 \text{ mL} * 20000 \text{ mg/L}}{2000 \text{ mL}}$$

$$D = 12 \text{ mg/L}$$

Reemplazamos para la segunda prueba:

$$D = \frac{1.40 \text{ mL} * 20000 \text{ mg/L}}{2000 \text{ mL}}$$

$$D = 14 \text{ mg/L}$$

Reemplazamos para la tercera prueba:

$$D = \frac{1.60 \text{ mL} * 20000 \text{ mg/L}}{2000 \text{ mL}}$$

$$D = 16 \text{ mg/L}$$

Reemplazamos para la cuarta prueba:



$$D = \frac{1.80 \text{ mL} * 20000 \text{ mg/L}}{2000 \text{ mL}}$$

$$D = 18 \text{ mg/L}$$

Reemplazamos para la quinta prueba:

$$D = \frac{2 \text{ mL} * 20000 \text{ mg/L}}{2000 \text{ mL}}$$

$$D = 20 \text{ mg/L}$$

Reemplazamos para la sexta prueba:

$$D = \frac{2.20 \text{ mL} * 20000 \text{ mg/L}}{2000 \text{ mL}}$$

$$D = 22 \text{ mg/L}$$

Tabla 13

Pruebas de Jar Test con el coagulante recuperado

Número de Prueba	Cantidad de muestra (mL) = V	Coagulante (mg/L) = D	Concentración Coagulante 2% (mg/L) = C	Coagulante Adicionado (mL) = v
1	2000	12	20000	1.20
2	2000	14	20000	1.40
3	2000	16	20000	1.60
4	2000	18	20000	1.80
5	2000	20	20000	2
6	2000	22	20000	2.20

Fuente: Elaboración propia.



En la Tabla 12 y Tabla 13 se realizaron pruebas con una muestra inicial de 2000 mL para todas las jarras, también se aplicaron diferentes concentraciones, para la Tablas 12 con 1% y para la Tabla 13 con 2%. Todas ellas se realizaron a una mezcla rápida de cinco segundos a 240 RPM y enseguida a 40 RPM durante 15 minutos. se esperó para la formación de floc's, finalmente se realizó la sedimentación durante 15 minutos, para su posterior análisis físico químico. (Anexo C)

Resultados obtenidos después de las pruebas de Jar Test

Realizados todos los ensayos se muestran los siguientes resultados (Tabla 14, Tabla 15) y se hace una comparación.

En los resultados de coagulante usado en PTAP SEDA JULIACA se obtiene en la primera prueba una turbidez de 1.45 UNT con un pH de 8.07, en la segunda prueba una turbidez de 1.57 UNT con un pH de 8.08, en la tercera prueba una turbidez de 1.14 UNT con un pH de 8.05, en la cuarta prueba una turbidez de 1.38 UNT con un pH de 8.14, en la quinta prueba una turbidez de 1.28 UNT con un pH de 8.01 y en la sexta prueba una turbidez de 1.70 UNT con un pH de 7.92, todo ello reflejado en la Tabla 14.

En los resultados de aluminio recuperado utilizado como coagulante se obtiene en la primera prueba una turbidez de 2.34 UNT con un pH de 7.98, en la segunda prueba una turbidez de 2.16 UNT con un pH de 7.95, en la tercera prueba una turbidez de 1.95 UNT con un pH de 8.02, en la cuarta prueba una turbidez de 2.08 UNT con un pH de 7.89, en la quinta prueba una turbidez de 2.12 UNT con un pH de 7.86 y en la sexta



prueba una turbidez de 2.40 UNT con un pH de 7.92, todo ello reflejado en la Tabla 15.

Tabla 14

Resultados pruebas de Jar Test usado en PTAP SEDAJULIACA

Número de Prueba	Coagulante Adicionado (mL) = v	Turbidez (UNT)	pH (Unid)
1	2.40	1.45	8.07
2	2.80	1.57	8.08
3	3.20	1.14	8.05
4	3.60	1.38	8.14
5	4	1.28	8.01
6	4.40	1.70	7.92

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15

Resultados pruebas de Jar Test del coagulante recuperado

Número de Prueba	Coagulante Adicionado (mL) = v	Turbidez (UNT)	pH (Unid)
1	1.20	2.34	7.98
2	1.40	2.16	7.95
3	1.60	1.95	8.02
4	1.80	2.08	7.89
5	2	2.12	7.86
6	2.20	2.40	7.92

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 14 nos muestra que la jarra N° 3 presenta una mejor remoción de turbidez con 1.14 UNT y pH de 8.05, así mismo, en la Tabla 15 nos muestra que la jarra N° 3 presenta una mejor remoción de turbidez con 1.95 UNT y pH 8.02.

La Tabla 15 nos indica que el aluminio recuperado se puede utilizar como coagulante, debido a que reduce la turbiedad.

DATOS EXPERIMENTALES PARA DETERMINAR EL MODELO MATEMÁTICO - ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Este modelo matemático resume los resultados de los ajustes del diseño factorial - modelos estadísticos relacionados con el reciclaje de aluminio. Tabla de análisis de variación distribución de la variabilidad entre la reciclabilidad del aluminio entre los valores de respuesta observados.



Tabla 16

Efectos estimados para respuesta (mg Al/L)

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
promedio	594.46	5.97	
A: pH	-1179.09	11.94	1
B: RPM	106.33	11.94	1
C: t(min)	-76.30	11.94	1
AB	-102.67	11.94	1
AC	74.70	11.94	1
BC	-36.23	11.94	1
Bloque	0	11.94	1

Fuente: Elaboración propia utilizando Statgraphics Centurión

Errores estándar basados en el error total con 8 g.l.

El Tabla 16 muestra las estimaciones para cada efecto e interacción estimados. También se muestran los errores estándar de cada efecto, una medida de su error de muestreo. Tenga en cuenta también que el factor de inflación de varianza máxima (V.I.F.) es igual a 1. Generalmente se interpreta que factores de 10 o más indican una confusión grave entre los efectos.



Tabla 17

Análisis de varianza para respuesta (mg Al/L)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: pH	5.56	1	5.56	9754.03	0.0000
B: RPM	45222.10	1	45222.10	79.32	0.0000
C: t (min)	23285.20	1	23285.20	40.84	0.0002
AB	42166.60	1	42166.60	73.96	0.0000
AC	22321.90	1	22321.90	39.15	0.0002
BC	5251.18	1	5251.18	9.21	0.0162
bloques	0	1	0	0	1
Error total	4560.98	8	570.12		
Total (corr.)	5.70	15			

Fuente: Elaboración propia utilizando Statgraphics Centurión

R-cuadrada = 99.92 porciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99.85 porciento

Error estándar del est. = 23.88

Error absoluto medio = 16.88

Estadístico Durbin-Watson = 2.75 (P=0.84)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.44



En la Tabla 17, la variabilidad de la respuesta (mg Al/L) se desglosa en partes separadas para cada efecto. Luego se prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su raíz cuadrática media con una estimación del error experimental. En este caso, 6 efectos tienen valores de P inferiores a 0,05, lo que indica que son significativamente diferentes de cero en un nivel de confianza del 95%.

R-cuadrado muestra que el modelo ajustado explica el 99,92% de la variabilidad en la RESPUESTA (mg Al/L). El R cuadrado ajustado del estudio fue del 99,85%. El error estándar en este estudio muestra que la desviación estándar del residual es 23,88. El error absoluto medio (MAE) de 16,88 es el valor medio del residual. Se utilizó la estadística de Durbin-Watson (DW) de 2,75 para probar los residuos y determinar si existía una correlación significativa según el orden en que se presentaron los datos en el estudio. Dado que el valor de P es superior al 5%, no hay evidencia de autocorrelación serial en los residuos al nivel de significancia del 5%

Tabla 18*Coef. de regresión para respuesta (mg Al/L)*

Coeficiente	Estimado
Constante	2203.48
A: pH	-581.81
B: RPM	8.72
C: t(min)	-7.19
AB	-1.71
AC	2.49
BC	-0.04

Fuente: Elaboración propia utilizando Statgraphics Centurión

La Tabla 18 despliega la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo matemático ajustado es:

$$\text{RESPUESTA (mg Al/L)} = 2203.48 - 581.81 \cdot \text{pH} + 8.72 \cdot \text{RPM} - 7.19 \cdot \text{t(min)} - 1.71 \cdot \text{pH} \cdot \text{RPM} + 2.49 \cdot \text{pH} \cdot \text{t(min)} - 0.04 \cdot \text{RPM} \cdot \text{t(min)}$$
 en donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales.

Optimizar Respuesta

Meta: maximizar RESPUESTA (mg Al / L)

Valor óptimo = 1382.12

Tabla 19

Optimizar respuesta

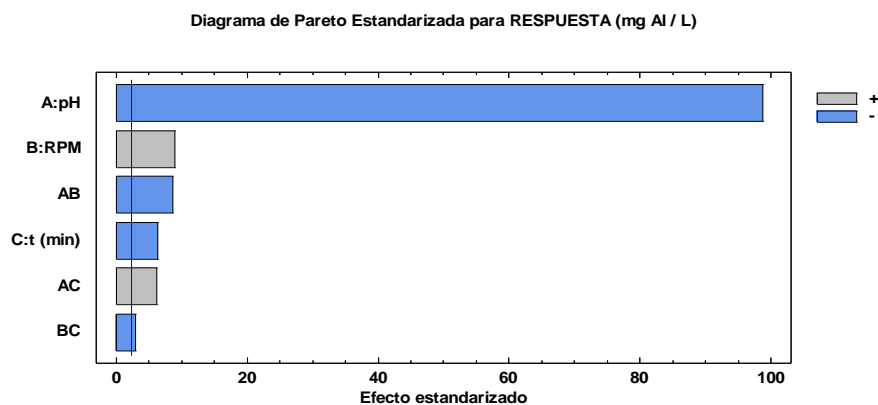
Factor	Bajo	Alto	Óptimo
pH	2	4	2
RPM	40	100	100
t (min)	30	60	30

Fuente: Elaboración propia utilizando Statgraphics Centurión

La Tabla 19, se aprecia las combinaciones de los factores, realizando la optimización de la recuperación de Aluminio (mg Al/L), sobre las variables del proceso, se obtiene un valor óptimo de 1382.12 mg Al/L.

Figura 7

Diagrama de Pareto para respuesta (mg Al/L)



La Figura 7 se preparó a partir de los datos de la Tabla 8, mostrando cada efecto calculado y la interacción entre las variables, pH y tiempo. La variable de respuesta más importante es el pH, cualquier cambio afectará la variable de respuesta (mg Al/L). en mayor medida.

La línea azul representa variaciones del sistema.

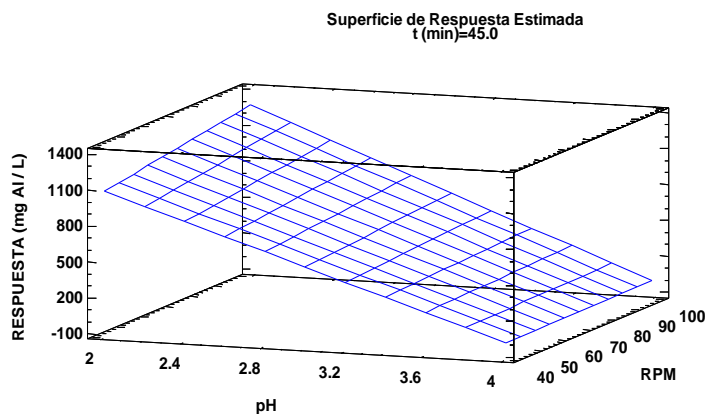
Los colores indican representatividad de las variables y sus combinaciones.

La línea azul indica el margen sobre el que varía el sistema

Los colores indican cuan representativos son las variables y sus combinaciones.

Figura 8

Superficie de respuesta estimada



En la Figura 8 se aprecia la superficie de respuesta expresada en mg Al/L, donde los valores más altos de recuperación de aluminio se encuentran en la parte superior izquierda de la gráfica, donde los valores de recuperación son con un pH de 2 unidades y una velocidad de 100 RPM. De igual manera, se observa que la menor recuperación es con un pH de 4. Donde se concluye que para una mayor recuperación se debe manipular el pH.



V. CONCLUSIONES

- Se ha realizado la caracterización física obteniendo un pH de 7.89, sólidos totales disueltos 2460 mg/L. Para la caracterización química, se envió a laboratorios externos (CERPER S.A.) obteniendo una concentración de aluminio de 66973 mg/Kg. Estos lodos son vertidos de manera directa al río Coata, lo cual representa un problema ambiental debido a que el Limite en los Estándares de Calidad Ambiental para descarga de efluente en cuerpos de agua dulce es de 5 mg Al/L. según la ley general de Aguas D.L. N° 17752, Resolución Ministerial N° 128-2017 - Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento y el Decreto Supremo 003-2017-MINAM.
- Se realizaron ocho pruebas manipulando el pH, velocidad de agitación y tiempo de agitación, los resultados de estas pruebas muestran las condiciones óptimas de recuperación que son pH 2 unidades, velocidad de agitación 100 RPM y tiempo de agitación 30 min, recuperando en estas condiciones 1399 mg/L. Además, el proceso evidenció que el pH es la variable más relevante al momento de la recuperación de aluminio, también se observó, el tiempo y la velocidad no son factores determinantes en la recuperación.
- El porcentaje de recuperación en las condiciones óptimas (pH 2 unidades, Tiempo de agitación 30 minutos) fue de 78.86%. Además, se apreció el comportamiento del aluminio recuperado utilizado como coagulante, obteniendo resultados favorables para su reutilización.



VI. RECOMENDACIONES

- Es necesario realizar estudios para saber la concentración en el transcurso del Rio Coata, con el objetivo de hacer una evaluación a los consumidores de esta agua (pobladores aledaños, ganado y plantas), que se encuentran en las riberas del rio y determinar el grado de contaminación en la zona.
- El Gobierno Regional de Puno, y otras entidades involucradas con el consumo del agua, deben establecer programas de control, para evitar la liberación de estos contaminantes en el río.
- Se recomienda realizar estudios de tipo económicos analizando el costo beneficio que se obtendría si se recupera el aluminio como coagulante en la recirculación del proceso



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdo, S. M., Mahmoud, R. H., Youssef, M., & El-Naggar, M. E. (2020). Cationic Starch and Polyaluminum Chloride as Coagulants for River Nile Water Treatment. *Groundwater for Sustainable Development*, 10, 100331. <https://doi.org/10.1016/J.GSD.2020.100331>
- Adam Sigler; Jim Bauder. (2017). *Alcalinidad, pH y Sólidos Disueltos*.
- Ahumada, G. (2012). *Procesos de Tratamiento de Aguas*. Universidad de Chile. https://www.u-cursos.cl/ingenieria/CI5106/datos_ramo/similares
- Barnhisel, R., & Bertsch, P. M. (1982). *Aluminum*. 275–300. <https://doi.org/10.2134/AGRONMONOGR9.2.2ED.C16>
- Benefield, L. D., Judkins, J. F., & Weand, B. L. (1982). Process chemistry for water and wastewater treatment. In *Prentice-Hall*. https://books.google.com/books/about/Process_Chemistry_for_Water_and_Wastewat.html?id=HwFSAAAAMAAJ
- Bishop, M. M., Cornwell, D. A., Rolan, A. T., Bailey, T. L., Bishop, M. M., Cornwell, D. A., Rolan, A. T., & Bailey, T. L. (1991). Mechanical Dewatering of Alum Solids and Acidified Solids: An Evaluation. *Journal - American Water Works Association*, 83(9), 50–55. <https://doi.org/10.1002/J.1551-8833.1991.TB07213.X>
- Bishop, M. M., Rolan, A. T., Bailey, T. L., & Cornwell, D. A. (1987). Testing of Alum Recovery for Solids Reduction and Reuse. *Journal - American Water Works Association*, 79(6), 76–83. <https://doi.org/10.1002/J.1551-8833.1987.TB02860.X>
- Carvalho, G. S., Zhou, J. L., Li, W., & Long, G. (2019). Progress in manufacture and properties of construction materials incorporating water treatment sludge: A review. In *Resources, Conservation and Recycling* (Vol. 145, pp. 148–159). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.02.032>
- Castro, V. G., & Reyes, J. D. (2022). *Recuperación de sulfato de aluminio a partir de los lodos producidos en la planta potabilizadora Herminia Cabello*



- Sánchez. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/60236/1/BINGQ-IQ-22P30.pdf>
- Chen, B., King, P., & Randall, C. (1976). *Alum Recovery From Representative Water-Treatment-Plant Sludges*. Journal AWWA. <https://www.jstor.org/stable/41268700>
- Chu, W. (1999). Lead metal removal by recycled alum sludge. *Water Research*, 33(13), 3019–3025. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(99\)00010-X](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00010-X)
- Cornwell D., & Zoltek J. (1977). *Recycling of Alum Used for Phosphorus Removal in Domestic Wastewater Treatment on JSTOR*. Journal WPCF. <https://www.jstor.org/stable/25039319>
- Cornwell, D. A., & Susan, J. A. (1979). Characteristics of Acid-Treated Alum Sludges. *Journal - American Water Works Association*, 71(10), 604–608. <https://doi.org/10.1002/J.1551-8833.1979.TB04425.X>
- Cristina, N., & Camacho, C. (2011). *Tratamiento de agua para consumo humano*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, (Vol. 29, pp 153-170). Disponible en: [[https://www.redalyc.org/articulo.oa?id= DB Redalyc](https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=DB%20Redalyc)],
- Eduardo, P. (2020). *Utilización de productos para Potabilización de Agua*. *Conocimiento: Revista científico-profesional*. 5, 1378–1389. <https://doi.org/10.23857/pc.v5i8.1669>
- Fouad, M. M., El-Gendy, A. S., Khalil, M. M. H., & Razek, T. M. A. (2021). Aluminum sulfate regeneration from surface water treatment waste in Cairo, Egypt. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(43), 61450–61459. <https://doi.org/10.1007/S11356-021-15140-6/METRICS>
- Fulton, G. P. (1974). RECOVER ALUM TO REDUCE WASTE-DISPOSAL COSTS. *Journal / American Water Works Association*, 66(5), 312–318. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1974.tb02033.x>
- Fúquene, D. M., & Yate, A. V. (2018). *Ensayo de jarras para el control del proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales ECAPMA*



Working Paper, 1(1), 1-7.
<https://doi.org/10.22490/ECAPMA.2771>

Gamarra, L. G., & Romero, J. C. (2019). *Evaluación de la recuperación de aluminio en medio ácido de los lodos generados en una planta de tratamiento de agua potable.*

https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5409/T010_72259047_T.pdf?sequence=1

Hernández Lehmann, A. (2015). *Manual de diseño de estaciones depuradoras de aguas residuales.* Madrid: Ibergarceta Publicaciones S.L.

Ignacio Español Echániz. (2005). *Herramientas para la gestión ambiental.* www.probides.org.uy

Jácome, J. G. (2017). *Recuperación de sulfato de aluminio de los lodos residuales de la planta de tratamiento de agua potable de baños sector Cochapamba, Cuenca.* <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28485>

Kamizela, T., & Worwag, M. (2020). PROCESAMIENTO DE LODOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS POR BIOLIXIVIACIÓN. *Energies*, 13(24). <https://doi.org/10.3390/en13246539>

Ladino, Y. M. P., & Olaya, M. del R. D. (2019). Recuperación de aluminio variando la edad de los lodos de potabilización y su reutilización en el tratamiento de aguas en Casanare. *Ingenio Magno*, 93–100. <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingeniomagno/article/view/1902>

Ley de Recursos Hídricos LEY N° 29338. (2009).

Luz E. Barba; E. Mesa; M. Rosero. (2000). *RECUPERACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO DE LODOS GENERADOS DURANTE EL PROCESO DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA.* https://www.researchgate.net/publication/260183405_RECUPERACION_DE_SULFATO_DE_ALUMINIO_DE_LODOS_GENERADOS_DURANTE_EL_PROCESO_DE_POTABILIZACION_DEL_AGUA



- Marín Gil, C. (2011). *Determinación de la dosis optima de lodos aluminosos para ser utilizada en el proceso de coagulación en aguas residuales provenientes del sector sur de la comuna del café - Parque industrial*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. <https://hdl.handle.net/11059/2556>
- Masschelein, W. J., Devleminck, R., & Genot, J. (1985). The feasibility of coagulant recycling by alkaline reaction of aluminium hydroxide sludges. *Water Research*, 19(11), 1363–1368. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(85\)90302-1](https://doi.org/10.1016/0043-1354(85)90302-1)
- Mayorga, O., & Mayorga, J. (2016). Proposal for the treatment of drinking water in small communities. Case: Santa Rosa-La Hechicera sector (Mérida, Venezuela). In *Revista Ingeniería UC* (Vol. 23, Issue 3).
- Mirwan, A., Putra, M. D., Liu, J. C., Susianto, Altway, A., & Handogo, R. (2020). LIXIVIACIÓN DE ALUMINIO DE LODOS DE TRATAMIENTO DE AGUA USANDO ÁCIDO CLORHÍDRICO Y ESTUDIO CINÉTICO. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(20), 25553–25562. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08922-x>
- Núñez, J. R., & Peña, M. (2011). *Recuperación de sulfato de aluminio a partir de lodos generados en la planta de potabilización de la empresa aguas de Cartagena S.A E.S.P y estudio de la viabilidad económica de su reutilización como coagulante*. <https://repositorio.unicartagena.edu.co/handle/11227/125>
- Ooi, T. Y., Yong, E. L., Din, M. F. M., Rezania, S., Aminudin, E., Chelliapan, S., Abdul Rahman, A., & Park, J. (2018). Optimization of aluminium recovery from water treatment sludge using Response Surface Methodology. *Journal of Environmental Management*, 228, 13–19. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.09.008>
- Ortíz Pedraza, H. C.. (2016). *Evaluación de las patologías en plantas potabilizadoras de la ciudad de Santa Clara. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas*



- Ramadan, H., & El Sayed, A. E. A. (2020). *Optimization of alum recovery from water treatment sludge case study: Samannoud water treatment plant, Egypt*.
<https://doi.org/10.1111/wej.12481>
- Reynolds, & Richards. (1996). *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering (2nd Edition)*. USA: International Thompson Publishing.
4(628.162 R333u Ej. 1). <http://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/11630>
- Rodríguez Díaz, H. Alfonso. (2005). *Estudios de impacto ambiental: guía metodológica*.
- Romero Rojas, & Jairo Alberto. (2002). *Calidad del agua*.
- Romero, J. A. (2004). *Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño*. 779–787.
https://books.google.com/books/about/Tratamiento_de_aguas_residuales.html?id=a94mHAAACAAJ
- Russell, J. B., & Larena, A. (1988). *Química General*.
- Salazar, C., Paola, Y., Gutierrez, R., & Bryan, G. (2014). *USO DE LODOS GENERADOS EN LOS DECANTADORES DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE COMO MATERIA PRIMA PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS DE CONSTRUCCIÓN: Arequipa, Universidad Nacional de San Agustín*.
- Sanga, P., Iradukunda, Y., & Munyemana, J. C. (2018). RECICLADO DE ALUMBRE DE RESIDUOS DE TRATAMIENTO DE AGUA Y REUTILIZACIÓN COMO AGENTE FLOCULANTE PARA TRATAMIENTO DE AGUA CRUDA. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 06(12), 216–226.
<https://doi.org/10.4236/gep.2018.612018>
- Sawyer Clair, Perry McCarty Perry, & Parkin Gene. (1994). *Chemistry for Environmental Engineering*. McGraw-Hill Inc., 4.
https://www.academia.edu/43182326/Chemistry_for_Environmental_Engineering_and_Science_by_Clair_Sawyer_Perry_McCarty_Gene_Parkin



- SenGupta, A., & Prakhar Prakash. (1994). *Process for selective coagulant recovery from water treatment plant sludge*. 5.
- Show, K. Y., Yan, Y. G., & Lee, D. J. (2019). Algal biomass harvesting and drying. In *Biomass, Biofuels, Biochemicals: Biofuels from Algae, Second Edition* (pp. 135–166). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64192-2.00007-X>
- Slechta Alfred, & Culp, G. (2015). *Water Reclamation Studies at the South Tahoe Public Utility District on JSTOR*. Journal (Water Pollution Control Federation). <https://www.jstor.org/stable/25035929>
- Soediono, A. (1989). IDENTIFICACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE USO AMBIENTAL DE LOS LODOS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS LA LLANA-CAMPO. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53–160.
- Soediono, B. (1989). ESTUDIO PILOTO PARA REDUCIR EL VOLUMEN DE LODOS DE PLANTAS POTABILIZADORAS. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53–160.
- Soediono. (1989). TRATABILIDAD DE LOS LODOS PRODUCIDOS EN LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53–160.
- Speight, J. G. (2017). Industrial Inorganic Chemistry. *Environmental Inorganic Chemistry for Engineers*, 111–169. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-849891-0.00003-5>
- Tenesaca Sigua, R. J. (2007). Obtención de la curva de calibración para la dosificación del coagulante y determinación de los parámetros de operación de la Planta de Agua Potable de la parroquia Baños. Cuenca. *Universidad de Cuenca*, 27–57. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/8345>
- Trejo Vázquez, R., Com, D., Virginia, I., & Montoya, H. (2004). *Riesgos a la salud por presencia del aluminio en el agua potable*. <http://www.nutritionfoundationofindia.org/ARCH>



White, A. R., & Matthews, N. C. (1982). *Process for recovering and recycling coagulant present in water treatment sludges*. Appl. N° 351, 503. Patent 4, 448, 696. Estados Unidos de América.

WPCF. (1988). *Sludge Conditioning*. WPCF . Estados Unidos de América (p. 133).

ANEXOS

ANEXO 1. Evidencias fotográficas

Figura 9

Lodos generados en la PTAP SEDAJULIACA



Figura 10

Recolección de muestra



Figura 11

pH alcanzados en diferentes muestras



Figura 12

Test a diferente velocidad de agitación





ANEXO 2. Reportes de laboratorio de los ensayos realizados.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL – DA
CON REGISTRO N° LE 003



INFORME DE ENSAYO N° 2-02507/23

Página 1/6

DATOS DEL CLIENTE	
Solicitado por	: APAZA HUMPIRI BLADIMIR JORGE
Domicilio legal	: JR. JULI 355 – JULIACA – SAN ROMAN – PUNO
DATOS DE LA MUESTRA	
Producto declarado ^(A)	: AGUA DE PROCESO
Lugar de Muestreo ^(A)	: LODO
Fecha de Muestreo ^(A)	: 2023-09-19
Procedencia	: Muestra proporcionada por el solicitante
Cantidad recibida	: 08 muestras x 0,12 Litros 01 muestras x 0,25 Kilogramos
Presentación y condición de recepción	: En frascos de plástico, vidrio ámbar, refrigerados y preservados
Identificación y descripción ^(A)	: Según se indica.
Fecha de recepción	: 2023-09-20
Fecha de inicio del ensayo	: 2023-09-27
Fecha de término del ensayo	: 2023-10-02
Ensayo realizado en	: Laboratorio Metales Callao / Ambiental Arequipa
Identificado con	: HS 23007421 (EXMA-12776-2023)
Validez del documento	: Este documento es válido solo para muestra descrita

Puntos de muestreo ^(A)	Proyecto ^(A) :		Descripción de la Estación de Monitoreo	Observaciones
	Coordenadas UTM WGS 84			
	ESTE	NORTE		
M-1	-----	-----	-----	-----
M-2	-----	-----	-----	-----
M-3	-----	-----	-----	-----
M-4	-----	-----	-----	-----
M-5	-----	-----	-----	-----
M-6	-----	-----	-----	-----
M-7	-----	-----	-----	-----
M-8	-----	-----	-----	-----
LODO	-----	-----	-----	-----

^(A) Datos proporcionados por el solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar la validez de los resultados

“Este documento ha sido emitido con firma digital”

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

“ EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL – DA
CON REGISTRO N° LE 003



INFORME DE ENSAYO N° 2-02507/23

Página 2/6

RESULTADOS

Parámetro	Limite de Detección	Unidad	Estación de Muestreo	M-1	M-2	M-3	M-4
			Fecha y Hora de Muestreo	2023-09-19 16:00	2023-09-19 16:00	2023-09-19 16:00	2023-09-19 16:00
			Tipo de Muestra	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso
			Resultados	Resultados	Resultados	Resultados	
Metales Totales por ICP-OES (Callao)							
Aluminio (Al)	0,005	mg/L	2,65	1 120	3,52	1 039	
Antimonio (Sb)	0,005	mg/L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	
Arsénico (As)	0,006	mg/L	0,277	1,43	0,246	1,25	
Azufre (S)	0,007	mg/L	366	2 154	379	2 019	
Bario (Ba)	0,001	mg/L	0,073	0,195	0,0855	0,36	
Berilio (Be)	0,001	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
Bismuto (Bi)	0,005	mg/L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	
Boro (B)	0,005	mg/L	1,555	3,2	1,602	2,77	
Cadmio (Cd)	0,001	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
Calcio (Ca)	0,05	mg/L	330	537	344	488	
Cobalto (Co)	0,001	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
Cobre (Cu)	0,001	mg/L	0,0275	0,345	0,0625	0,305	
Cromo (Cr)	0,001	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	0,06	
Estaño (Sn)	0,002	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	
Estroncio (Sr)	0,001	mg/L	3,94	6,58	4,13	5,97	
Fósforo (P)	0,02	mg/L	<0,02	13,5	<0,02	11,8	
Galio (Ga)	0,008	mg/L	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	
Hierro (Fe)	0,002	mg/L	92	268	91,8	241	
Indio (In)	0,015	mg/L	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	
Litio (Li)	0,003	mg/L	0,274	0,44	0,29	0,4	
Magnesio (Mg)	0,007	mg/L	21,05	29,75	22,29	27,04	
Manganeso (Mn)	0,001	mg/L	39,7	60	41,8	53,9	
Molibdeno (Mo)	0,001	mg/L	0,07	0,185	0,025	0,215	
Níquel (Ni)	0,001	mg/L	0,0595	0,55	0,067	0,485	
Plata (Ag)	0,002	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	
Plomo (Pb)	0,002	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	
Potasio (K)	0,09	mg/L	15,82	16,54	16,97	14,22	
Selenio (Se)	0,006	mg/L	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	
Silicio (Si)	0,005	mg/L	35,6	343	36,6	297	
Sodio (Na)	0,03	mg/L	116	149,1	121,4	133,9	
(*) Talio (Tl) (Validado)	0,003	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	
Titanio (Ti)	0,001	mg/L	0,008	0,08	<0,001	0,11	
Tungsteno (W)	0,004	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	
Vanadio (V)	0,001	mg/L	0,013	0,505	0,0135	0,465	
Zinc (Zn)	0,001	mg/L	0,196	1,115	0,18	1,23	
Zirconio (Zr)	0,001	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

“Este documento ha sido emitido con firma digital”

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD



INFORME DE ENSAYO N° 2-02507/23

Página 3/6

RESULTADOS (Continuación)

Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Estación de Muestreo	M-5	M-6	M-7	M-8
			Fecha y Hora de Muestreo	2023-09-19 16:00	2023-09-19 16:00	2023-09-19 16:00	2023-09-19 16:00
			Tipo de Muestra	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso
Resultados	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados		
Metales Totales por ICP-OES (Callao)							
Aluminio (Al)	0,005	mg/L	8,77	1 399	4,71	1 178	
Antimonio (Sb)	0,005	mg/L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	
Arsénico (As)	0,006	mg/L	0,347	1,88	0,408	1,81	
Azufre (S)	0,007	mg/L	396	2 748	447	2 317	
Bario (Ba)	0,001	mg/L	0,0845	0,27	0,0895	0,34	
Berilio (Be)	0,001	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
Bismuto (Bi)	0,005	mg/L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	
Boro (B)	0,005	mg/L	1,677	3,56	1,847	3,02	
Cadmio (Cd)	0,001	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
Calcio (Ca)	0,05	mg/L	351	662	394	576	
Cobalto (Co)	0,001	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
Cobre (Cu)	0,001	mg/L	0,0635	0,75	0,045	0,68	
Cromo (Cr)	0,001	mg/L	<0,001	0,105	<0,001	0,065	
Estaño (Sn)	0,002	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	
Estroncio (Sr)	0,001	mg/L	4,1	7,78	4,64	6,85	
Fósforo (P)	0,02	mg/L	<0,02	21,9	<0,02	14	
Galio (Ga)	0,008	mg/L	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	
Hierro (Fe)	0,002	mg/L	110	311	118	273	
Indio (In)	0,015	mg/L	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	
Litio (Li)	0,003	mg/L	0,287	0,51	0,319	0,44	
Magnesio (Mg)	0,007	mg/L	21,67	35,22	24,18	29,74	
Manganeso (Mn)	0,001	mg/L	41,6	69,8	46	61,9	
Molibdeno (Mo)	0,001	mg/L	0,0335	<0,001	0,027	0,28	
Níquel (Ni)	0,001	mg/L	0,08	0,665	0,078	0,62	
Plata (Ag)	0,002	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	
Plomo (Pb)	0,002	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	
Potasio (K)	0,09	mg/L	16,29	19,54	18,52	14,59	
Selenio (Se)	0,006	mg/L	0,06	<0,006	0,082	<0,006	
Silicio (Si)	0,005	mg/L	45	413	43	374	
Sodio (Na)	0,03	mg/L	116,9	170,2	132,4	143,6	
(*) Talio (Tl) (Validado)	0,003	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	
Titanio (Ti)	0,001	mg/L	<0,001	0,18	<0,001	<0,001	
Tungsteno (W)	0,004	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	
Vanadio (V)	0,001	mg/L	0,018	0,59	0,016	0,515	
Zinc (Zn)	0,001	mg/L	0,262	1,97	0,291	1,67	
Zirconio (Zr)	0,001	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD



INFORME DE ENSAYO N° 2-02507/23

Página 4/6

RESULTADOS (Continuación)

		Estación de Muestreo	LODO
		Fecha y Hora de Muestreo	2023-09-16 10:00
		Tipo de Muestra	Lodos
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados
Metales por ICP-MS			
Aluminio (Al)	0,005	mg/L	1 774
Antimonio (Sb)	0,005	mg/L	<0,005
Arsénico (As)	0,006	mg/L	2,25
Bario (Ba)	0,001	mg/L	3,14
Berilio (Be)	0,001	mg/L	5,63
Cadmio (Cd)	0,001	mg/L	0,42
Calcio (Ca)	0,05	mg/L	2 252
Cobalto (Co)	0,005	mg/L	4,61
Cobre (Cu)	0,001	mg/L	584
Cromo (Cr)	0,001	mg/L	1,19
Hierro (Fe)	0,002	mg/L	5 478
Magnesio (Mg)	0,007	mg/L	864
Manganeso (Mn)	0,001	mg/L	195
Molibdeno (Mo)	0,001	mg/L	<0,005
Níquel (Ni)	0,001	mg/L	1,73
Plata (Ag)	0,002	mg/L	0,16
Plomo (Pb)	0,002	mg/L	<0,003
Potasio (K)	0,09	mg/L	453
Selenio (Se)	0,006	mg/L	<0,006
Sodio (Na)	0,03	mg/L	549
(*) Talio (Tl) (Validado)	0,003	mg/L	<0,003
Vanadio (V)	0,001	mg/L	9,18
Zinc (Zn)	0,001	mg/L	8,40

“Este documento ha sido emitido con firma digital”

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com



INFORME DE ENSAYO N° 2-02507/23

Página 5/6

RESULTADOS (Continuación)

Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Estación de Muestreo	LODO
				Fecha y Hora de Muestreo	2023-09-16 10:00
				Tipo de Muestra	Lodos
Metales por ICP-MS					
Aluminio (Al)	2	mg/Kg	66 973		
Antimonio (Sb)	0,04	mg/Kg	<0,04		
Arsénico (As)	0,02	mg/Kg	648		
Bario (Ba)	0,04	mg/Kg	311		
Berilio (Be)	0,01	mg/Kg	0,491		
Cadmio (Cd)	0,02	mg/Kg	1,76		
Calcio (Ca)	10,0	mg/Kg	42 352		
Cobalto (Co)	0,02	mg/Kg	10,6		
Cobre (Cu)	0,02	mg/Kg	2 458		
Cromo (Cr)	0,2	mg/Kg	15,0		
Hierro (Fe)	0,05	mg/Kg	27 664		
Magnesio (Mg)	1,0	mg/Kg	3 330		
Manganeso (Mn)	0,03	mg/Kg	3 740		
Mercurio (Hg)	0,03	mg/Kg	0,956		
Níquel (Ni)	0,01	mg/Kg	18,2		
Plata (Ag)	0,02	mg/Kg	1,03		
Plomo (Pb)	0,02	mg/Kg	55,4		
Potasio (K)	10	mg/Kg	1 435		
Selenio (Se)	0,03	mg/Kg	0,449		
Sodio (Na)	2,0	mg/Kg	3 954		
Talio (Tl)	0,02	mg/Kg	0,848		
Vanadio (V)	0,02	mg/Kg	51,1		
Zinc (Zn)	0,02	mg/Kg	430		

“Este documento ha sido emitido con firma digital”

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

“ EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL – DA
CON REGISTRO N° LE 003



INFORME DE ENSAYO N° 2-02507/23

Página 6/6

MÉTODOS

Metales Totales por ICP-OES: ISO 11885. 2007. Water quality – Determination of selected elements by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES)

Metales por ICP-MS: EPA Method 6020B (Preparación de muestra: EPA Method 3051A, 2007). 2014. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils)

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Arequipa, 17 de octubre de 2023

Firmado Digitalmente
CERTIFICACIONES DEL PERÚ S.A.

Lic. Eddie Mendoza Mamani
C.C.P. N° 774
JEFE DEL LABORATORIO AREQUIPA

“ EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD

“Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC”

“Este documento ha sido emitido con firma digital”

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

ANEXO 3. Reportes de laboratorio de los Jar test

IPS SIDA JULIACA S.A.

CENTRO OPERACIONAL
Ruta de Puno a Juliaca - Calle 11 y 12
Calle 10 de Agosto 1000

PRUEBA DE JARRAS "JAR TEST"
DOSIS OPTIMA DE Polisacárido de Almidón de Yuca PARA REMOCION DE Turbidez

ELABORADO POR: BERNARDINO JOSÉ APAZA HUMIRI PRUEBA DE JARRAS

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
REPOSITORIO INSTITUCIONAL

DATOS DE LA MUESTRA DE AGUA CRUDA

Procedencia:	<u>CANTACAY (C.O. SACATA)</u>
Turbiedad (NTU):	<u>3.21</u>
Temperatura (°C):	<u>11.3</u>
STU (mg/L):	<u>999</u>
Conductividad (µmhos):	<u>738</u>
Solididad (%)	<u>0.3</u>
Arsenic (mg/L):	

DATOS DEL COAGULANTE

Coagulante:	<u>POLISACARIDO DE AMIDON</u>
Tipos (I):	<u>POLISACARIDO</u>
Lote:	<u>762124</u>
Envasado:	<u>CLAYBAGO</u>
Densidad (g/mL):	
pH:	
ADDP (%):	

DATOS DE DILUCION

Volumen de Coagulante (mL):	
Volumen de Coagulante (g):	<u>100 mL</u>
Volumen de la Muestra (mL):	<u>1000</u>
Concentración de Dosis (mg/L):	
Densidad Indicial en laboratorio (g/mL):	

HOJA DE LA PRUEBA: 14:39

JARRA Nº	AGUA CRUDA		DILUICION		MEZCLA MUESTRA		DENSIFICACION DE FUECO		VOLUCION DE JARRAS		AGUA DEBARRIADA		CALIFICACION DE BARRIADA		AGUA DE TRABAJO	
	Car (ECT en PPG)	Turbiedad (NTU)	Temperatura (°C)	Concentración (mg/L)	Temperatura (°C)	Concentración (mg/L)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)
1	7.72	3.21	11.3	240	11.3	240	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3
2	7.72	3.21	11.3	240	11.3	240	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3
3	7.72	3.21	11.3	240	11.3	240	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3
4	7.72	3.21	11.3	240	11.3	240	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3
5	7.72	3.21	11.3	240	11.3	240	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3

OBSERVACIONES:
 Dosis de la muestra de la muestra de agua 11.3
 En los tres jarros de 2000 mL de agua cruda se añadió el coagulante de polisacárido de almidón y después se agitó a 40 RPM durante 15 minutos para la formación de flocos. Posteriormente se dejó reposar para que sedimentara durante 15 minutos se formó el sobrenadante para su caracterización.

CONCLUSIONES:
 La dosis óptima corresponde a la jarra no 3. que presenta una turbidez de 1.14 NTU. luego de 1.2 filtrados obteniendo una turbidez final de 0.698

INDICE DE WILCOX
 La Prueba Wilcoxon muestra la siguiente
 La Prueba Wilcoxon muestra la siguiente
 La Prueba Wilcoxon muestra la siguiente
 La Prueba Wilcoxon muestra la siguiente
 La Prueba Wilcoxon muestra la siguiente
 La Prueba Wilcoxon muestra la siguiente
 La Prueba Wilcoxon muestra la siguiente
 La Prueba Wilcoxon muestra la siguiente

Juliaca, 30 de Octubre del 2023

ANÁLISIS DE CALIDAD
Laboratorio de Control y Calidad

PRUEBA DE JARRAS "JAR TEST"
PARA REMOCIÓN DE TURBIDEDAD

PRUEBA DE JARRAS

ELABORADO POR:

DATOS DE LA MUESTRA DE AGUA CRUDA	
Procedencia:	SEDALULIACA 6.0 6.0 A 7.0
Temperatura (°C):	3.21
PH:	7.3
Conductividad (µmhos/cm):	99.9
Turbidez (NTU):	73.8
Alcalinidad (°N):	0.3

DATOS DEL COAGULANTE	
Composición:	ALUMINIO RECLAMADO
Forma:	
Estado:	
Densidad (g/ml):	
PH:	
ADICIÓN:	

DATOS DE DILUCIÓN	
Volumen de Coagulante (ml):	
Volumen de Agua (ml):	
Concentración de Sólidos (mg/L):	
Densidad (g/ml):	
Alcalinidad (°N):	

TIPO DE LA PRUEBA:

JARRA N°	AGUA CRUDA		SOLUCIÓN		VOLÚMEN DE JARRAS		FLUCTUACIÓN		ESTABILIZACIÓN		CALIFICACIÓN DEL RESULTADO
	Color (ECU m. POC)	Turbidez (NTU)	Composición (mg/L)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	
1	7.72	72	1.2	12	7.72	7.98	2.34	7.53	0.914	0.914	7.53
2	7.72	74	1.4	14	3.745	7.95	2.16				
3	7.72	16	1.6	16	3.35	8.02	1.95				
4	7.72	18	1.8	18	2.948	7.89	2.08				
5	7.72	2.0	2.0	2.0	2.64	7.86	2.12				
6	7.72	2.2	2.2	2.2	2.24	7.92	2.40				

OBSERVACIONES:
En las seis jarras de 2000 ml de agua cruda se añadió el aluminio recuperado y se este evaluando si este es capaz de comportarse como coagulante. Se le agregó en diferentes concentraciones, se hizo una mezcla rápida de 5 segundos a 240 RPM y en seguida a 40 RPM durante 15 minutos para la formación de flocos. Posteriormente se cedió para que lentamente elusente elusente 15 minutos. Se tomó el sobrenadante para su caracterización.
Temperatura de la muestra: 3.21°C

CONCLUSIONES:
La dosis óptima corresponde a la jarra N° 3 que presenta una turbidez de 1.95 NTU. Posteriormente se ha filtrado obteniendo una turbidez final de 0.914

INSTRUMENTOS (1) Medidor de turbidez
(2) Medidor de pH
(3) Medidor de temperatura

Juliaca, 30 de Octubre del 2023



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo BLADIMIR JORGE APAZA HUMPAI
identificado con DNI 74175194 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERÍA QUÍMICA

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
" RECUPERACIÓN DE ALUMINIO (Al) A PARTIR DE LOS LODOS GENERADOS
EN LA PLANTA POTABILIZADORA DE LA EMPRESA GEORJULIACA S.A. POR
ACIDIFICACIÓN CON ÁCIDO SULFÚRICO (H₂SO₄) "

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 05 de DICIEMBRE del 20 24


FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo BLADIMIR JORGE AYAZA HUMARI identificado con DNI 74775194 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA QUÍMICA
informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"RECUPERACIÓN DE ALUMINIO (Al) A PARTIR DE LOS LODOS GENERADOS EN LA PLANTA POTABILIZADORA DE LA EMPRESA SEPA SULLIACA S.A. POR ACIDIFICACIÓN CON ÁCIDO SULFÚRICO (H₂SO₄)"

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.


En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 05 de DICIEMBRE del 20 24


FIRMA (obligatoria)



Huella