

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Uso de coagulantes químicos (sulfato férrico, cloruro férrico y policloruro de aluminio) en el tratamiento de efluentes de camal en el altiplano peruano

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autores:

Cristian Alex Huaman Huisa

Luz Noelia Sosa Quispe

Asesor:

Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera

Juliaca, julio de 2025

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“USO DE COAGULANTES QUÍMICOS (SULFATO FÉRRICO, CLORURO FÉRRICO Y POLICLORURO DE ALUMINIO) EN EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE CAMAL EN EL ALTIPLANO PERUANO”** del autor **Cristian Alex Huaman Huisa** y **Luz Noelia Sosa Quispe**, tiene un índice de similitud de 5% verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca, a los 24 días del mes de julio del año 2025.



Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera

Asesor



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiari, a 11 día(s) del mes de Julio del año 2025 siendo las 11:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del (de la) presidente(a):

Ing. Enrique Mamani Buela el (la) secretario(a): Msc. Miguel Angel Salcedo
Enriquez y los demás miembros: Dr. Jorge Juvenal Bravo
Hualta Dr. Mateo Alejandro Salinas Mora y el (la) asesor(a) Dr. Juan Eduardo Tigo Rivera

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado:
"Uso de coagulantes químicos (sulfato férrico, cloruro férrico y polialuminio de aluminio) en el tratamiento de efluentes de canal en el altiplano peruano"

del(los) bachiller(es): a) Christian Alex Huaman Huica
 b) Luz Noelia Sosa Quipe
 c)

conducente a la obtención del título profesional de:
Ingeniero Ambiental
(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller (a): Christian Alex Huaman Huica

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>17</u>	<u>B+</u>	<u>Muy Bueno</u>	<u>Sobresaliente</u>

Bachiller (b): Luz Noelia Sosa Quipe

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>17</u>	<u>B+</u>	<u>Muy Bueno</u>	<u>Sobresaliente</u>

Bachiller (c):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

[Firma]
Presidente/a

[Firma]
Asesor/a

[Firma]
Miembro

[Firma]
Secretario/a

[Firma]
Miembro

[Firma]
Bachiller (a)

[Firma]
Bachiller (b)

[Firma]
Bachiller (c)

Uso de coagulantes químicos (sulfato férrico, cloruro férrico y policloruro de aluminio) en el tratamiento de efluentes de camal en el altiplano peruano

Cristian Alex Huaman Huisa¹, Luz Noelia Sosa Quispe²

*Universidad Peruana Unión, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, EP. Ingeniería Ambiental,
Juliaca, Perú*

RESUMEN

Se investigó la eficacia de tres coagulantes inorgánicos—policloruro de aluminio, sulfato férrico y cloruro férrico para el tratamiento del efluente de un camal municipal ubicado a los 3 856 m.s.n.m. del altiplano peruano. El efluente crudo presentó pH 8.1, temperatura 18.7 °C, turbidez 98.5 UNT, conductividad 6.82 mS/cm y DQO 1 033 mg/l. Se aplicó la prueba de jarras con dosis de 0.5–4.5 g/l y se midieron los parámetros anteriores, analizándose los datos mediante ANOVA y prueba de Duncan al 5 %. El PAC mostró el desempeño más equilibrado: a 1.5–3.0 g/l mantuvo el pH entre 8.23–8.93, la temperatura 17.8 °C y la conductividad 6.49 mS/cm, redujo la turbidez a 3,30 UNT y la DQO a 116.82 mg/l (89 % de remoción). El sulfato férrico logró una DQO mínima de 105.03 mg/l (1,5 g/l) con turbidez moderada, pero su ventana operativa fue estrecha: a 3 g/l el pH descendió a 4.67, exigiendo neutralización posterior. El cloruro férrico alcanzó la turbidez más baja (2.91 UNT a 1.5 g/l), aunque elevó la conductividad hasta 9.65 mS/cm y sólo redujo la DQO a 193.17 mg/l, con pH tan bajo como 4.17. Comparados con los Límites Máximos Permisibles de Perú (D.S. 00049-2025-MINAM), México (NOM-001-2021) y Colombia (Res. 631-2015) pH 6-9, DQO ≤ 180-300 mg/l, temperatura 35 °C—únicamente el tratamiento con PAC cumplió holgadamente todos los requisitos sin correcciones adicionales. El PAC se consolida como la alternativa más eficaz y operativamente segura para la depuración primaria de efluentes de camales en entornos altoandinos, al combinar alta remoción de carga orgánica y turbidez con estabilidad fisicoquímica y pleno cumplimiento normativo, reduciendo así la huella ambiental y los costos de operación.

Palabras clave: *sulfato férrico, cloruro férrico, policloruro de aluminio, efluente del camal, parámetros fisicoquímicos.*

Use of chemical coagulants (ferric sulfate, ferric chloride and polyaluminium chloride) in the treatment of slaughterhouse effluents in the Peruvian highlands

ABSTRACT

The effectiveness of three inorganic coagulants—polyaluminum chloride (PAC), ferric sulfate, and ferric chloride—was evaluated for the treatment of effluent from a municipal slaughterhouse located at 3.856 meters above sea level in the Peruvian highlands. The raw effluent presented a pH of 8.1, temperature of 18.7 °C, turbidity of 98.5 NTU, electrical conductivity of 6.82 mS/cm, and a chemical oxygen demand (COD) of 1.033 mg/l. A jar test was conducted using dosages ranging from 0.5 to 4.5 g/l, and the above parameters were measured. Data were analyzed using ANOVA and Duncan test at a 5% significance level. PAC showed the most balanced performance: at 1.5–3.0 g/l, it maintained the pH between 8.23–8.93, temperature below 17.8 °C, and conductivity \leq 6.49 mS/cm, while reducing turbidity to 3.30 NTU and COD to 116.82 mg/l (89% removal). Ferric sulfate achieved a minimum COD of 105.03 mg/l (at 1.5 g/l) with moderate turbidity, but its operational window was narrow: at 3 g/l, the pH dropped to 4.67, requiring subsequent neutralization. Ferric chloride achieved the lowest turbidity (2.91 NTU at 1.5 g/l), although it raised conductivity to 9.65 mS/cm and only reduced COD to 193.17 mg/l, with pH as low as 4.17. When compared to the Maximum Permissible Limits established by Peru (D.S. 00049-2025-MINAM), Mexico (NOM-001-2021), and Colombia (Resolution 631-2015) pH 6–9, COD 180–300 mg/l, temperature 35 °C—only the treatment with PAC fully met all requirements without the need for additional corrections. PAC is thus consolidated as the most effective and operationally safe alternative for primary treatment of slaughterhouse effluents in high-Andean environments, as it combines high organic load and turbidity removal with physicochemical stability and full regulatory compliance, thereby reducing both environmental impact and operating costs.

Keywords: *ferric sulfate, ferric chloride, poly aluminum chloride, slaughterhouse effluent, physicochemical parameters.*