

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Ambiental



TESIS

**Influencia del sulfato de aluminio y el cloruro férrico como
coadyuvantes del hidróxido de calcio para el tratamiento de agua
ácida de la relavera Quiulacocha – Cerro de Pasco**

Para obtener el título profesional de Ingeniero Ambiental

Elaborado por

John Kevin Capcha Vertiz

 [0009-0006-6722-6604](https://orcid.org/0009-0006-6722-6604)

Asesor

Ing. Cesar Augusto Rodriguez Villanueva

 [0009-0008-3658-6898](https://orcid.org/0009-0008-3658-6898)

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	Capcha Vertiz [1]
Referencia/Reference	[1] J. Capcha Vertiz, “Influencia <i>del sulfato de aluminio y el cloruro férrico como coadyuvantes del hidróxido de calcio para el tratamiento de agua acida de la relavera Quiulacocha – Cerro de Pasco</i> ” [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Capcha, 2025)
Referencia/Reference	Capcha, John. (2025). <i>Influencia del sulfato de aluminio y el cloruro férrico como coadyuvantes del hidróxido de calcio para el tratamiento de agua acida de la relavera Quiulacocha – Cerro de Pasco</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

Esta tesis está dedicada a mis padres, quienes siempre han sido mi fuente de inspiración y apoyo inquebrantable. Su amor, paciencia y sacrificio han sido fundamentales en mi camino hacia la culminación de este proyecto. También dedico este trabajo a mis hermanos menores y mi novia, que han estado a mi lado durante esta travesía académica, brindándome ánimo y aliento incondicional.

Agradecimientos

Agradezco a mi asesor de tesis, MSc. Cesar Rodríguez por su orientación y dedicación en cada etapa de este proceso. También expreso mi agradecimiento al ingeniero Lucio Rojas por brindarme su apoyo en el trabajo de laboratorio.

No puedo pasar por alto agradecer a Activos Mineros por proporcionar los recursos necesarios y el ambiente propicio para llevar a cabo esta investigación.

Finalmente, mi agradecimiento más profundo va hacia mis padres, hermanos y novia, quienes me dieron todo el apoyo emocional y motivación constante. Su confianza en mí fue mi mayor impulso.

Este trabajo es el resultado de un esfuerzo colectivo, y estoy agradecido por cada persona que ha contribuido de alguna manera en este viaje.

Resumen

El presente trabajo de investigación titulado tiene como objetivo determinar el nivel de influencia del sulfato de aluminio y el cloruro férrico como coadyuvantes del hidróxido de calcio para el tratamiento de agua ácida de la presa de relaves Quiulacocha – Cerro de Pasco. La metodología de investigación fue de enfoque básico, teniendo en cuenta el tipo cuantitativo experimental, se ha tomado en cuenta un diseño experimental balanceado con 2 tratamientos y 4 dosificaciones de cada coagulante (10 mg/l, 20 mg/l, 30 mg/l y 40 mg/l) en 5 diferentes niveles de pH (7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5) del tratamiento de aguas acidas generadas en la relavera Quiulacocha.

Los resultados de la muestra de agua acida indican una elevada concentración de metales que superan los parámetros incluidos en los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas establecidos en la D.S N° 010-2010-MINAM y con el D.S. N° 004-2017-MINAM que define los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría-3. En las pruebas realizadas se determinó que la dosis optima de cloruro férrico y sulfato de aluminio en el tratamiento de las aguas ácidas de la relavera de Pasco fue de 20mg/l para ambos casos.

El análisis estadístico empleado fue a través de la prueba de T-Student, el cual concluye que existe diferencias significativas en las medias para el tratamiento de aguas ácidas, es decir, se ha logrado reducir significativamente la concentración de metales cadmio, cobre, magnesio, manganeso, plomo y zinc a niveles de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5; aluminio, arsénico, hierro a niveles de pH de 7.5, 8.0 y 8.5 (con excepción del aluminio que solo aplica para pH de 7.5 y 8.0 cuando se utiliza sulfato de aluminio); hierro disuelto a niveles de pH de 7.5; y no tiene influencia significativa en los parámetros berilio, boro, cobalto, cromo, litio, níquel, mercurio, selenio.

Palabras clave - Tratamiento de agua, agua ácida, Relavera Quiulacocha, sulfato de aluminio, cloruro férrico, Estandartes de calidad ambiental para agua (ECA agua), Limites máximo permisibles (LMP)

Abstract

The present research aims to determine the level of influence of aluminum sulfate and ferric chloride as calcium hydroxide adjuvants for the treatment of acidic water from the Quiulacocha – Cerro de Pasco tailings dam. The research methodology was a basic approach, taking into account the quantitative experimental type, a balanced experimental design has been taken into account with 2 treatments and 4 dosages of each coagulant (10 mg/l, 20 mg/l, 30 mg/l and 40 mg/l) at 5 different pH levels (7.5, 8.0, 8.5, 9.0 and 9.5) from the treatment of acidic water generated at the Quiulacocha tailings. The results of the acid water sample indicate a high concentration of metals that exceed the parameters included in the Maximum Permissible Limits for the discharge of liquid effluents from mining-metallurgical activities established in D.S N° 010-2010-MINAM and with D.S. N° 004-2017-MINAM, which defines the National Environmental Quality Standards for Water in Category-3. In the tests carried out, it was determined that the optimal dose of ferric chloride and aluminum sulfate in the treatment of acidic waters from the Pasco tailings dam was 20 mg/l for both cases.

The statistical analysis employed was through the T-Student test, which concludes that there are significant differences in the means for the treatment of acidic waters. That is to say, a significant reduction in the concentration of metals such as cadmium, copper, magnesium, manganese, lead, and zinc has been achieved at pH levels of 7.5, 8.0, 8.5, 9.0, and 9.5 respectively. Aluminum, arsenic, and iron were reduced significantly at pH levels of 7.5, 8.0, and 8.5 (except for aluminum, which only applies to pH of 7.5 and 8.0 when aluminum sulfate is used); dissolved iron at pH levels of 7.5; and it does not have a significant influence on the parameters beryllium, boron, cobalt, chromium, lithium, nickel, mercury, selenium.

Keywords - Water treatment, acidic water, Quiulacocha tailings pond, aluminum sulfate, ferric chloride, Environmental Quality Standards for Water (ECA water), Maximum Permissible Limits (MPL).

Tabla de contenido

	Pág.
Resumen	v
Abstract	vi
Introducción	xxii
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo.....	1
1.1. Generalidades	1
1.2. Descripción del problema de investigación	2
1.2.1. Realidad problemática	2
1.2.2. Formulación del problema	4
1.2.3. Justificación e importancia.....	4
1.3. Objetivos	5
1.3.1. Objetivo general.....	6
1.3.2. Objetivos específicos.....	6
1.4. Hipótesis.....	6
1.4.1. Hipótesis general.....	6
1.5. Antecedentes investigativos	6
1.5.1. Antecedentes nacionales	7
1.5.2. Antecedentes internacionales	10
1.6. Variables e Indicadores	12
1.6.1. Variable independiente.....	12
1.6.2. Variable dependiente.....	12
1.7. Operacionalidad de las variables:	13
Capítulo II. Marco teórico y conceptual.....	14
2.1. Marco teórico.....	14
2.1.1. El agua	14
2.1.2. Contaminación del Agua	14
2.1.3. Contaminación del agua por metales pesados	15
2.1.4. Aguas ácidas	16
2.1.5. Caracterización de las aguas ácidas de mina	17
2.1.6. Reacciones químicas y biológicas.....	18
2.1.7. Etapas de formación de aguas ácidas	21

2.1.8.	Factores que intervienen en la formación de aguas ácidas	22
2.1.9.	Problemática de las Aguas Acidas de Mina	23
2.1.10.	Los pasivos ambientales mineros (PAM).....	24
2.1.11.	Relavera Quiulacocha.....	24
2.1.12.	Tratamiento de aguas ácidas	25
2.1.13.	Coagulación	26
2.1.14.	Compresión de la Doble Capa	27
2.1.15.	Absorción y Neutralización de Cargas.....	27
2.1.16.	Atrapamiento de Partículas dentro de un Precipitado	27
2.1.17.	Adsorción y Puente Cargas.....	28
2.1.18.	Coagulantes.....	28
2.1.19.	Factores que Influyen en la Coagulación	29
2.1.20.	Influencia del pH	29
2.1.21.	Influencia de la Temperatura del Agua	29
2.1.22.	Influencia de la Dosis del Coagulante.....	30
2.1.23.	Influencia de Mezcla	30
2.1.24.	Sulfato de Aluminio.....	33
2.1.25.	Sales de hierro.....	35
2.1.26.	Sulfato ferroso.....	35
2.1.27.	Cloruro férrico	36
2.1.28.	Ventajas y desventajas de coagulantes comerciales	36
2.1.29.	pH óptimo de coagulación	37
2.1.30.	Fases de la coagulación	38
2.1.31.	Floculación	39
2.1.32.	Tipos de Floculación	40
2.1.33.	Floculantes	40
2.1.34.	Prueba de jarras	41
2.2.	Marco Legal	42
2.2.1.	Constitución Política del Perú	42
2.2.2.	Ley General del Ambiente	43
2.2.3.	Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos.....	44
2.2.4.	D.S. N° 010-2010-MINAM,	44

2.2.5. Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales.....	45
2.2.6. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua	45
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación	46
3.1. Metodología de la investigación	46
3.1.1. Enfoque de investigación	46
3.1.2. Tipo de investigación.....	46
3.1.3. Diseño.....	46
3.1.4. Alcance de la investigación	46
3.1.5. Temporalidad	46
3.1.6. Población y muestra.....	46
3.1.6.1. Población.....	46
3.1.6.2. Muestra	47
3.1.7. Unidad de análisis	47
3.1.8. Procesamiento de datos.....	47
3.1.9. Procedimiento metodológico.....	47
3.1.9.1. Toma de muestra	48
3.1.9.2. Análisis para determinar la calidad de agua	48
3.1.9.3. Procedimiento para la determinación de la dosis optima de floculante	48
3.1.9.4. Comparación de eficiencia y análisis estadístico	50
3.2. Resultados	51
3.2.1. Resultados del análisis de metales totales y disueltos del agua acida.....	51
3.2.2. Determinación de la dosis optima de coagulante.....	53
3.2.2.1. Dosificación de Cloruro Férrico	53
3.2.2.2. Dosificación de Sulfato de Aluminio.....	56
3.2.3. Porcentaje de remoción de metales dosificando y sin dosificar el coagulante	59
3.2.3.1. Cloruro férrico (20mg/l)	59
3.2.3.2. Sulfato de aluminio (20mg/l)	59
Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados	60
4.1. Evaluación de la calidad del agua de la relavera Quiulacocha.....	60
4.2. Determinación de la dosis óptima de coagulante.....	63
4.2.1. Cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio	63

4.2.2. Sulfato de Aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio	77
4.3. Comparación de los porcentajes de remoción de metales y análisis estadístico	91
4.3.1. Dosificando cloruro férrico.....	92
4.3.2. Dosificando sulfato de aluminio.....	147
4.4. Análisis de costos	207
Conclusiones	209
Recomendaciones	211
Referencias Bibliográficas	212
Anexos.....	217

Lista de Tablas

	Pág
Tabla 1: Matriz de operatividad	13
Tabla 2: Tipos de coagulantes metálicos	31
Tabla 3: Clasificación de los polielectrolitos, adaptado de Teoría de la coagulación del agua.	32
Tabla 4: Composición de sales de sulfato de aluminio	33
Tabla 5: <i>Ventajas y desventajas de diferentes coagulantes inorgánicos</i>	36
Tabla 6: Resumen de pH óptimo para algunos coagulantes	37
Tabla 7: Concentración del hidróxido de calcio para cada nivel de pH.....	49
Tabla 8: dosificación de coagulantes de cloruro férrico y sulfato de aluminio.....	49
Tabla 9: Diseño de concentración optima de floculante de 5.0 mg/l.....	50
Tabla 10: Resultados de la concentración de metales del agua acida – relavera Quiulacocha.....	52
Tabla 11: Resultados de concentración de metales del agua acida - dosificando cloruro férrico en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5	54
Tabla 12: Resultados de concentración de metales del agua acida - dosificando sulfato de aluminio en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5.....	57
Tabla 13: Porcentaje de remoción de metales usando cloruro férrico – 7.5 pH, 8.0 pH, 8.5 pH, 9.0 pH, 9.5 pH	78
Tabla 14: Porcentaje de remoción de metales usando Sulfato de Aluminio – 7.5 pH, 8.0 pH, 8.5 pH, 9.0 pH, 9.5 pH.....	90
Tabla 15: Resultados de concentración de metales usando Cloruro férrico (mg/l) – 7.5 pH, 8.0 pH, 8.5 pH, 9.0 pH, 9.5 pH	92
Tabla 16: Porcentaje de remoción (%) de metales usando Sulfato de Aluminio (mg/l) – 7.5 pH, 8.0 pH, 8.5 pH, 9.0 pH, 9.5 pH	93
Tabla 17: Prueba de normalidad de Aluminio en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 – Cloruro Férrico.....	95

Tabla 18: Prueba de muestras emparejadas dosificando Cloruro Férrico para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Aluminio	96
Tabla 19: Prueba de normalidad de Arsénico en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5	98
Tabla 20: Prueba de muestras emparejadas dosificando Cloruro Férrico para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Arsénico.....	99
Tabla 21: Prueba de normalidad de Bario en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5....	102
Tabla 22: Prueba de muestras emparejadas dosificando Cloruro Férrico para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Bario	103
Tabla 23: Prueba de normalidad de Berilio en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5..	105
Tabla 24: Prueba de normalidad de Boro en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5	107
Tabla 25: Prueba de normalidad de Cadmio en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5	109
Tabla 26: Prueba de muestras emparejadas dosificando Cloruro Férrico para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Cadmio	110
Tabla 27: Prueba de normalidad de Cobalto en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5	112
Tabla 28: Prueba de muestras emparejadas dosificando Cloruro Férrico para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Cobalto	113
Tabla 29; Prueba de normalidad de Cobre en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 ..	115
Tabla 30: Prueba de muestras emparejadas dosificando Cloruro Férrico para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Cobre.....	116
Tabla 31: Prueba de normalidad de Cromo en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 .	118
Tabla 32: Prueba de muestras emparejadas dosificando Cloruro Férrico para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Cromo.....	119
Tabla 33: Prueba de normalidad de Hierro en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 ..	121
Tabla 34: Prueba de muestras emparejadas dosificando Cloruro Férrico para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Hierro.....	122
Tabla 35: Prueba de normalidad de Litio en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5	124
Tabla 36: Prueba de muestras emparejadas dosificando Cloruro Férrico para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Litio	125

Tabla 37: Prueba de normalidad de Magnesio en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5	127
Tabla 38: Prueba de muestras emparejadas dosificando Cloruro Férrico para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Magnesio	128
Tabla 39: Prueba de normalidad de Manganeso en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5	130
Tabla 40: Prueba de muestras emparejadas dosificando Cloruro Férrico para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Manganeso	131
Tabla 41: Prueba de normalidad de Mercurio en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5	133
Tabla 42: Prueba de normalidad de Níquel en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5..	135
Tabla 43: Prueba de normalidad de Plomo en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5..	137
Tabla 44: Prueba de muestras emparejadas dosificando Cloruro Férrico para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Plomo.....	138
Tabla 45: Prueba de normalidad de Selenio en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5	140
Tabla 46: Prueba de normalidad de Zinc en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5	142
Tabla 47: Prueba de muestras emparejadas dosificando Cloruro Férrico para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Zinc.....	143
Tabla 48: Prueba de normalidad de Hierro disuelto en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5	145
Tabla 49: Prueba de muestras emparejadas dosificando Cloruro Férrico para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Hierro	146
Tabla 50: Resultados de concentración de metales usando Cloruro Férrico (mg/l) – 7.5 pH, 8.0 pH, 8.5 pH, 9.0 pH, 9.5 pH	147
Tabla 51: Porcentaje (%) de remoción de metales usando Cloruro Férrico – 7.5 pH, 8.0 pH, 8.5 pH, 9.0 pH, 9.5 pH.....	149
Tabla 52: Prueba de normalidad de Aluminio en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5	151

Tabla 53: Prueba de muestras emparejadas dosificando Sulfato de Aluminio para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Aluminio	152
Tabla 54: Prueba de normalidad de Arsénico en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5	154
Tabla 55: Prueba de muestras emparejadas dosificando Sulfato de Aluminio para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Arsénico	155
Tabla 56: Prueba de normalidad de Bario en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5....	158
Tabla 57: Prueba de muestras emparejadas dosificando Sulfato de Aluminio para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Bario	159
Tabla 58: Prueba de normalidad de Berilio en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5..	161
Tabla 59: Prueba de normalidad de Boro en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5	163
Tabla 60: Prueba de normalidad de Cadmio en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5	165
Tabla 61: Prueba de muestras emparejadas dosificando Sulfato de Aluminio para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Cadmio	166
Tabla 62: Prueba de normalidad de Cobalto en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5	168
Tabla 63: Prueba de muestras emparejadas dosificando Sulfato de Aluminio para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Cobalto	169
Tabla 64: Prueba de normalidad de Cobre en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 ..	171
Tabla 65: Prueba de muestras emparejadas dosificando Sulfato de Aluminio para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Cobre	172
Tabla 66: Prueba de normalidad de Cromo en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 .	174
Tabla 67: Prueba de muestras emparejadas dosificando Sulfato de Aluminio para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Cromo	175
Tabla 68: Prueba de normalidad de Hierro en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 ..	177
Tabla 69: Prueba de muestras emparejadas dosificando Sulfato de Aluminio para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Hierro	178
Tabla 70: Prueba de normalidad de Litio en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5	181

Tabla 71: Prueba de muestras emparejadas dosificando Sulfato de Aluminio para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Litio	182
Tabla 72: Prueba de normalidad de Magnesio en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5	184
Tabla 73: Prueba de muestras emparejadas dosificando Sulfato de Aluminio para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Magnesio	185
Tabla 74: Prueba de normalidad de Manganeso en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5	187
Tabla 75: Prueba de muestras emparejadas dosificando Sulfato de Aluminio para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Manganeso	188
Tabla 76: Prueba de normalidad de Mercurio en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5	190
Tabla 77: Prueba de normalidad de Níquel en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5..	192
Tabla 78: Prueba de normalidad de Plomo en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5..	194
Tabla 79: Prueba de muestras emparejadas dosificando Sulfato de Aluminio para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Plomo.....	195
Tabla 80: Prueba de normalidad de Selenio en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5	197
Tabla 81: Prueba de normalidad de Zinc en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5	199
Tabla 82: Prueba de muestras emparejadas dosificando Sulfato de Aluminio para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Zinc	200
Tabla 83: Prueba de normalidad de Hierro disuelto en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5	202
Tabla 84: Prueba de muestras emparejadas dosificando Sulfato de Aluminio para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Hierro disuelto	203
Tabla 85: Precios unitarios de insumos Químicos.....	207
Tabla 86: Precio m3 de agua tratada dosificando sulfato de aluminio a 7.5 pH.....	207
Tabla 87: Precio m3 de agua tratada dosificando cloruro férrico a 7.5 pH.....	207
Tabla 88: Precio m3 de agua tratada sin dosificación de coagulante a 9.5 pH.....	208

Lista de Figuras

	Pág
Figura 1: Oxidación de la pirita.....	19
Figura 2: Etapas de generación de drenaje ácido	22
Figura 3: Esquemática de los factores que afectan la oxidación de los sulfuros	23
Figura 4: Sectores de la Relavera Quiulacocha	25
Figura 5: Coagulación	26
Figura 6: Fases de la coagulación.....	38
Figura 7: Proceso de coagulación química.....	41
Figura 8: Relavera Quiulacocha. Distrito del Simón Bolívar	47
Figura 9: Ubicación del punto de muestreo	52
Figura 10: Concentración de metales (mg/l) – Ba, Be, Cd, Co, Cr, Hg, Ni, Pb y Se	60
Figura 11: Concentración de metales (mg/l) – He, Mg, Mn, Zn y He disuelto	61
Figura 12: Concentración de metales (mg/l) – Al, As, B, Cu y Li	62
Figura 13: Porcentaje de remoción (%) dosificando Cloruro Férrico - Aluminio Total (Al).....	63
Figura 14: Porcentaje de remoción (%) dosificando Cloruro Férrico - Arsénico Total (As)	64
Figura 15: Porcentaje de remoción (%) dosificando Cloruro Férrico - Bario Total (As) .	65
Figura 16: Porcentaje de remoción (%) dosificando Cloruro Férrico - Berilio total (Be)	65
Figura 17: Porcentaje de remoción (%) dosificando Cloruro Férrico - Boro total (Bo)...	66
Figura 18: Porcentaje de remoción (%) dosificando Cloruro Férrico - Cadmio total (Cd)	67
Figura 19: Porcentaje de remoción (%) dosificando Cloruro Férrico - Cobalto total (Cd)	67
Figura 20: Porcentaje de remoción (%) dosificando Cloruro Férrico - Cobre total (Cu)	68
Figura 21: Porcentaje de remoción (%) dosificando Cloruro Férrico - Cromo total (Cr)	68
Figura 22: Porcentaje de remoción (%) dosificando Cloruro Férrico - Hierro total (Fe).	69

Figura 23: Porcentaje de remoción (%) dosificando Cloruro Férrico - Litio total (Li)	70
Figura 24: Porcentaje de remoción (%) dosificando Cloruro Férrico - Magnesio total (Mg)	70
Figura 25: Porcentaje de remoción (%) dosificando Cloruro Férrico - Manganeso total (Mg)	71
Figura 26: Porcentaje de remoción (%) dosificando Cloruro Férrico - Níquel total (Ni) .	72
Figura 27: Porcentaje de remoción (%) dosificando Cloruro Férrico - Plomo total (Pb)	72
Figura 28: Porcentaje de remoción (%) dosificando Cloruro Férrico - Selenio total (Se).....	73
Figura 29: Porcentaje de remoción (%) dosificando Cloruro Férrico - Zinc total (Zn)....	73
Figura 30: Porcentaje de remoción (%) dosificando Cloruro Férrico – Hierro disuelto (Fe)	74
Figura 31: Porcentaje de remoción (%) dosificando Sulfato de Aluminio - Aluminio (Al).....	77
Figura 32: Porcentaje de remoción (%) dosificando Sulfato de Aluminio - Arsénico (As).....	77
Figura 33: Porcentaje de remoción (%) dosificando Sulfato de Aluminio - Bario Total (As)	78
Figura 34: Porcentaje de remoción (%) dosificando Sulfato de Aluminio - Berilio total (Be)	79
Figura 35: Porcentaje de remoción (%) dosificando Sulfato de Aluminio - Boro total (Bo)	79
Figura 36: Porcentaje de remoción (%) dosificando Sulfato de Aluminio - Cadmio (Cd)	80
Figura 37: Porcentaje de remoción (%) dosificando Sulfato de Aluminio - Cobalto (Cd)	81
Figura 38: Porcentaje de remoción (%) dosificando Sulfato de Aluminio - Cobre total (Cu)	81

Figura 39: Porcentaje de remoción (%) dosificando Sulfato de Aluminio - Cromo total (Cr)	82
Figura 40: Porcentaje de remoción (%) dosificando Sulfato de Aluminio - Hierro total (Fe)	83
Figura 41: Porcentaje de remoción (%) dosificando Sulfato de Aluminio - Litio total (Li)	83
Figura 42: Porcentaje de remoción (%) dosificando Sulfato de Aluminio - Magnesio (Mg)	84
Figura 43: Porcentaje de remoción (%) dosificando Sulfato de Aluminio - Manganeso(Mg).....	85
Figura 44: Porcentaje de remoción (%) dosificando Sulfato de Aluminio - Níquel total (Ni)	85
Figura 45: Porcentaje de remoción (%) dosificando Sulfato de Aluminio - Plomo total (Pb)	86
Figura 46: Porcentaje de remoción (%) dosificando Sulfato de Aluminio - Selenio total (Se).....	87
Figura 47: Porcentaje de remoción (%) dosificando Sulfato de Aluminio - Zinc total (Zn).....	87
Figura 48: Porcentaje de remoción (%) dosificando Sulfato de Aluminio – Hierro disuelto (Fe).....	88
Figura 49: Resultados del tratamiento dosificando Cloruro Férrico (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Aluminio total.....	94
Figura 50. Resultados del tratamiento dosificando Cloruro Férrico (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Arsénico total.....	97
Figura 51: Resultados del tratamiento dosificando Cloruro Férrico (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Bario total	101
Figura 52: Resultados del tratamiento dosificando Cloruro Férrico (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Berilio total.....	104

Figura 53: Resultados del tratamiento dosificando Cloruro Férrico (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Boro total	106
Figura 54: Resultados del tratamiento dosificando Cloruro Férrico (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 y LMP – Cadmio total	108
Figura 55: Resultados del tratamiento dosificando Cloruro Férrico (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Cobalto total	111
Figura 56: Resultados del tratamiento dosificando Cloruro Férrico (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 y LMP – Cobre total.....	114
Figura 57: Resultados del tratamiento dosificando Cloruro Férrico (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Cromo total.....	117
Figura 58: Resultados del tratamiento dosificando Cloruro Férrico (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Hierro total.....	120
Figura 59: Resultados del tratamiento dosificando Cloruro Férrico (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Litio total.....	123
Figura 60: Resultados del tratamiento dosificando Cloruro Férrico (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Magnesio total	126
Figura 61: Resultados del tratamiento dosificando Cloruro Férrico (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Manganeso total.....	129
Figura 62: Resultados del tratamiento dosificando Cloruro Férrico (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Mercurio total.....	132
Figura 63: Resultados del tratamiento dosificando Cloruro Férrico (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Niquel total	134
Figura 64: Resultados del tratamiento dosificando Cloruro Férrico (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Plomo total	136
Figura 65: Resultados del tratamiento dosificando Cloruro Férrico (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Selenio total.....	139
Figura 66: Resultados del tratamiento dosificando Cloruro Férrico (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 y LMP – Zinc total.....	141

Figura 67: Resultados del tratamiento dosificando Cloruro Férrico (20 mg/l) comparado con el LMP – Hierro disuelto	144
Figura 68: Resultados del tratamiento dosificando Sulfato de Aluminio (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Aluminio total	150
Figura 69: Resultados del tratamiento dosificando Sulfato de Aluminio (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Arsénico total	153
Figura 70: Resultados del tratamiento dosificando Sulfato de Aluminio (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Bario total	157
Figura 71: Resultados del tratamiento dosificando Sulfato de Aluminio (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Berilio total	160
Figura 72: Resultados del tratamiento dosificando Sulfato de Aluminio (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Boro total	162
Figura 73: Resultados del tratamiento dosificando Sulfato de Aluminio (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 y LMP – Cadmio total.....	164
Figura 74: Resultados del tratamiento dosificando Sulfato de Aluminio (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Cobalto total.....	167
Figura 75: Resultados del tratamiento dosificando Sulfato de Aluminio (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 y LMP – Cobre total	170
Figura 76: Resultados del tratamiento dosificando Sulfato de Aluminio (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Cromo total	173
Figura 77: Resultados del tratamiento dosificando Sulfato de Aluminio (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Hierro total	176
Figura 78: Resultados del tratamiento dosificando Sulfato de Aluminio (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Litio total	180
Figura 79: Resultados del tratamiento dosificando Sulfato de Aluminio (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Magnesio total	183
Figura 80: Resultados del tratamiento dosificando Sulfato de Aluminio (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Manganeso total	186

Figura 81: Resultados del tratamiento dosificando Sulfato de Aluminio (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Mercurio total.....	189
Figura 82: Resultados del tratamiento dosificando Sulfato de Aluminio (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Niquel total.....	191
Figura 83: Resultados del tratamiento dosificando Sulfato de Aluminio (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 y LMP – Plomo total.....	193
Figura 84: Resultados del tratamiento dosificando Sulfato de Aluminio (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Selenio total.....	196
Figura 85: Resultados del tratamiento dosificando Sulfato de Aluminio (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 y LMP – Zinc total.....	198
Figura 86: Resultados del tratamiento dosificando Sulfato de Aluminio (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Hierro disuelto.....	201

Introducción

El pasivo ambiental de Quiulacocha corresponde a depósitos antiguos e inactivos resultantes de las operaciones de la Unidad Minera Cerro de Pasco, transferida por CENTROMIN PERU S.A. a la Empresa Volcán Cía. Minera S.A.A. Estas actividades han generado impactos significativos, afectando gravemente a los componentes ambientales dentro de su área de influencia directa e indirecta, especialmente al recurso hídrico. Es fundamental encontrar soluciones viables, óptimas y respetuosas con el ambiente para abordar los problemas causados por el pasivo ambiental de las actividades mineras.

El tratamiento de aguas ácidas se ha convertido en un tema de gran interés y preocupación en la sociedad actual, ya que busca resolver la alteración del recurso hídrico debido a actividades humanas y fenómenos naturales, tanto de fuentes puntuales como no puntuales. Los parámetros físico-químicos, como pH y Conductividad Eléctrica, son esenciales en este proceso, ya que contienen materia orgánica e inorgánica, así como metales totales y disueltos. Además, dado el crecimiento de la población y la demanda cada vez mayor de agua, el tratamiento de aguas residuales se ha convertido en una prioridad vital para la sociedad.

La presente investigación se centrará en el uso del sulfato de aluminio y el cloruro férrico como coadyuvantes del hidróxido de calcio para el tratamiento de agua ácida de la relavera Quiulacocha. Esta metodología permitirá evaluar si los metales pesados son removidos con mayor eficiencia para cada una de las dosis de insumos planteadas en esta investigación, proporcionando así una estrategia potencialmente efectiva para mitigar los impactos ambientales y mejorar la calidad del recurso hídrico afectados.

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1. Generalidades

En Perú, la actividad minera es crucial, pero también genera residuos que afectan negativamente a los ecosistemas acuáticos, incluyendo ríos, lagos y mares. La gestión inadecuada de estos residuos mineros y la implementación de tecnologías efectivas de tratamiento son esenciales para reducir el impacto ambiental y proteger la salud de las comunidades cercanas a las minas. Los conflictos y denuncias relacionados con la actividad minera en Perú resaltan la necesidad de una regulación sólida y efectiva en esta industria, así como el diálogo constructivo entre empresas mineras, comunidades locales y autoridades gubernamentales para abordar los problemas ambientales.

Los problemas ambientales están intrínsecamente ligados a las actividades económicas de un país y a los procesos utilizados para explotar sus recursos, los cuales han evolucionado con el tiempo hacia actividades más complejas y estructuradas. Estas actividades, presentes en diversos sectores de producción, han generado impactos ambientales que requieren ser mitigados para cumplir con la legislación ambiental vigente. La minería, a lo largo de los siglos, ha sido fundamental para el crecimiento económico de muchas naciones, pero también ha dejado un significativo impacto ambiental. Uno de los principales problemas asociados a la minería es el drenaje ácido de mina, que ocurre cuando el agua entra en contacto con minerales sulfurosos presentes en las rocas, generando acidificación y contaminación por metales pesados.

En este contexto, el PAM de Quiulacocha representa una importante problemática en la región de Pasco, donde se requieren soluciones efectivas para mitigar los impactos ambientales generados por este pasivo minero. Este estudio de investigación se enfoca en la remoción de metales pesados presentes en el agua ácida de la relavera Quiulacocha ubicada en la coordenada UTM WGS 84 (358282.0 m Este, 8843817.0 Norte), específicamente a través del proceso de coagulación, con el objetivo

de reducir la contaminación por metales pesados y mejorar la calidad del agua para cumplir con los estándares ambientales establecidos.

1.2. Descripción del problema de investigación

1.2.1. Realidad problemática

Los problemas ambientales están relacionados con las actividades económicas que desarrolla un país y los procesos que utiliza para explotar los recursos. Estas actividades han ido evolucionando a lo largo de los años hasta transformarse en actividades más complejas y estructuradas que actualmente se realizan dentro de los diferentes sectores de producción, generando impactos ambientales que deben ser mitigados para corresponder a la legislación ambiental del país.

La minería ha desempeñado un rol importante en el crecimiento económico de muchas naciones a través de los siglos. Sin embargo, también ha tenido un impacto significativo en el medio ambiente. Uno de los problemas principales que enfrenta la minería es el drenaje ácido de mina (Lapakko, 2002).

El drenaje ácido de mina se produce cuando el agua entra en contacto con minerales sulfurosos presentes en la roca. Cuando esto sucede en presencia de oxígeno y agua, estos sulfuros se oxidan, y el principal mineral responsable de la acidez es la pirita. Este proceso de acidificación del agua contiene metales pesados como plomo, mercurio, cadmio, arsénico y cromo. (Calvo et al., 2013).

El Perú es reconocido por su importante actividad minera, pero esta actividad también genera residuos que a menudo no son tratados adecuadamente, lo que tiene un impacto negativo en los ecosistemas acuáticos, incluyendo ríos, lagos y mares. Esto se debe, en parte, a las minas abandonadas que crean pasivos ambientales, como los Depósitos de Relaves Abandonados, los cuales causan grandes impactos ambientales. Por lo tanto, se busca implementar tratamientos eficientes que sean duraderos en el tiempo, generen la menor cantidad de lodos posible y puedan adaptarse a los diferentes niveles de acidez que son característicos de cada lugar donde se encuentren los DAM.

Además, se busca evitar las fuertes multas impuestas a las empresas mineras por incumplir las regulaciones ambientales (Loayza, 2015).

Los metales pesados se han convertido en los contaminantes más tóxicos, lo que ha generado un grave problema de salud pública (Rimarachin y Huaranga, 2017). La gestión adecuada de estos desechos mineros y la implementación de tecnologías efectivas de tratamiento son esenciales para reducir el impacto negativo en el medio ambiente y la salud de las comunidades cercanas a las áreas mineras.

Es evidente que, en la actualidad, Perú enfrenta numerosos conflictos y denuncias relacionados con la actividad minera. Estos conflictos involucran a empresas mineras, comunidades locales y el gobierno peruano, y se centran en problemas ambientales que afectan a regiones como Ayacucho, Apurímac, Huancavelica, Cusco, Puno, Pasco, Arequipa, Moquegua, Tacna, entre otras.

La mayoría de las denuncias se dirigen hacia la gestión deficiente de los recursos naturales o la contaminación causada por la actividad minera. En particular, se mencionan casos de canchas de relaves abandonadas en la región de Cerro de Pasco, lo que refleja una falta de regulación efectiva en la industria minera durante las décadas de los 70 y 80 (Li, 2013).

Estos conflictos y denuncias subrayan la importancia de una regulación sólida y efectiva en la industria minera, así como la necesidad de considerar cuidadosamente el impacto ambiental y social de estas operaciones. Además, destacan la importancia de establecer un diálogo constructivo entre las empresas mineras, las comunidades locales y las autoridades gubernamentales para abordar de manera adecuada los problemas ambientales y sociales que surgen de la actividad minera en el país. La gestión sostenible de los recursos naturales y la protección del medio ambiente deben ser prioridades fundamentales en la industria minera peruana.

El Pasivo ambiental minero de Quiulacocha, corresponde a depósitos antiguos e inactivos de las operaciones de la Unidad Minera Cerro de Pasco, la cual fue transferida por CENTROMIN PERU S.A. a la Empresa Volcan Cía. Minera S.A.A. en setiembre de

1999 y retirados del PAMA para ser devuelta al estado peruano como pasivo ambiental para su remediación. Desde los primeros años del siglo pasado, se descargaron en el depósito de Quiulacocha aproximadamente 400 Ton/día de relaves de los minerales tratados de la concentradora Paragsha, desde setiembre del año 1943, año en que se inician las operaciones de la concentradora, hasta mayo de 1992, el depósito recibió el mayor volumen de relaves a razón de 1720,000 Ton anuales, fecha en que ingresa en operación el Depósito de Ocroyoc. Quiulacocha acumula 78 millones de toneladas de relaves en un área de 115 ha. (PAMA QUIULACOCHA). Las aguas acidas generadas en este pasivo, constituyen una de las problemáticas más graves de la región Pasco, por lo cual se deben plantear soluciones que puedan mitigar los impactos generados por ese pasivo ambiental Minero.

Este estudio de investigación se realizó ante esta problemática, para la remoción de los metales pesados presentes en agua acida de la relavera Quiulacocha, específicamente en el proceso de coagulación, con el objetivo de atenuar la contaminación por metales pesados, mejorar la calidad de agua y que cumplan con los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas – D.S. N° 010-2010-MINAM.

1.2.2. Formulación del problema

¿Cuál es el nivel de influencia del sulfato de aluminio y el cloruro férrico como coadyuvantes con el hidróxido de calcio para el tratamiento de agua acida de la relavera Quiulacocha – Cerro de Pasco?

1.2.3. Justificación e importancia

El pasivo ambiental Quiulacocha corresponde a depósitos antiguos e inactivos de las operaciones de la Unidad Minera Cerro de Pasco, la cual fue transferida por CENTROMIN PERU S.A. a la Empresa Volcán Cía. Minera S.A.A, cuyas operaciones han generado impactos, afectando gravemente a los componentes ambientales dentro de su área de influencia directa e indirecta, especialmente al recurso hídrico.

Es fundamental encontrar soluciones viables, óptimas y respetuosas con el ambiente para abordar los problemas causados por el pasivo ambiental de las actividades mineras. La investigación desempeña un papel crucial al ofrecer nuevas estrategias para mitigar el daño generado por estas actividades.

El tratamiento de aguas ácidas se ha convertido en un tema de gran interés y preocupación en la sociedad actual, ya que busca resolver la alteración del recurso hídrico debido a actividades humanas y fenómenos naturales, tanto de fuentes puntuales como no puntuales. Los parámetros físico-químicos, como el pH y Conductividad Eléctrica, son esenciales en este proceso, ya que contienen materia orgánica e inorgánica, así como metales totales y disueltos. Además, dado el crecimiento de la población y la demanda cada vez mayor de agua, el tratamiento de aguas residuales se ha convertido en una prioridad vital para la sociedad.

La importancia de esta investigación radica en su capacidad para generar soluciones experimentales basadas en las conclusiones obtenidas. Además, la metodología utilizada tiene el potencial de servir como insumo para investigaciones futuras. En última instancia, esta investigación contribuye a abordar un problema ambiental crítico y a buscar alternativas sostenibles para el tratamiento de aguas ácidas y la gestión de los recursos hídricos en general.

La investigación haciendo uso del sulfato de aluminio y el cloruro férrico como coadyuvantes del hidróxido de calcio para el tratamiento de agua ácida de la relavera Quiulacocha, permitirá evaluar si los metales pesados son removidos con mayor eficiencia para cada una de las dosis de insumos planteadas para esta investigación.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar el nivel de influencia del sulfato de aluminio y el cloruro férrico como coadyuvantes del hidróxido de calcio para el tratamiento de agua acida de la relavera Quiulacocha – Cerro de Pasco.

1.3.2. Objetivos específicos

- a) Evaluar de la calidad del agua acida, comparándola con los Límites Máximos Permisibles y los Estándares de calidad ambiental para agua – categoría 3, según la Legislación Peruana vigente.
- b) Determinar la dosis optima del sulfato de aluminio y el cloruro férrico, como coadyuvantes del hidróxido de calcio, para la reducción de metales disueltos y metales pesados del agua ácida considerados en los Límites Máximos Permisibles y los Estándares de calidad ambiental para agua – categoría 3.
- c) Realizar la comparación entre la eficiencia de remoción de metales dosificando sulfato de aluminio y cloruro férrico como coadyuvantes del hidróxido de calcio y la eficiencia de remoción de metales sin la dosificación de estos coagulantes.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

- H0. La dosificación de sulfato de aluminio y cloruro férrico como coadyuvantes del hidróxido de calcio no influyen significativamente en el tratamiento de las aguas ácidas de la relavera Quiulacocha.
- Ha. La dosificación de sulfato de aluminio y cloruro férrico como coadyuvantes del hidróxido de calcio influyen significativamente en el tratamiento de las aguas ácidas de la relavera Quiulacocha.

1.5. Antecedentes investigativos

La contaminación ambiental generada por las actividades netamente humanas es uno de los principales problemas que enfrenta la sociedad en general. Estas actividades han ido evolucionando a lo largo de los años hasta transformarse en

actividades más complejas y estructuradas que actualmente se realizan dentro de los diferentes sectores de producción, entre los más destacados tenemos a la agricultura, la ganadería, la manufactura, la construcción y la minería.

Esto genera preocupación sobre los problemas ambientales tales como el deterioro de la capa de ozono, el calentamiento global, menoscabo ambiental, contaminación de los diferentes componentes ambientales, especialmente el recurso hídrico, el agua.

En la actualidad existen drenajes ácidos que son una de las principales fuentes de afectación de las aguas superficiales y subterráneas en el país. El agua recolectada debe someterse a un proceso de tratamiento con el objetivo de reducir las cantidades de metales y sedimentos presentes en ella. Después de que cumpla con los límites máximos permitidos según la ley vigente, debe ser devuelta a las cuencas de origen en las mismas cantidades y calidad en las que fue recogida.

1.5.1. Antecedentes nacionales

Ayala (2018) en su tesis: "Influencia de la dosificación de Hidróxido de calcio en el tratamiento de las aguas ácidas de la quebrada Mesa de Plata Hualgayoc – 2018", Cajamarca, Perú, El propósito del estudio fue determinar cómo la utilización de hidróxido de calcio afecta el tratamiento de las aguas ácidas de la Quebrada Mesa de Plata. La metodología empleada consistió en la evaluación del flujo, pruebas de tanques, muestreo, control y la evaluación de la calidad del agua, basada en datos recopilados en el campo y en laboratorio.

Para llevar a cabo los experimentos, se utilizó hidróxido de calcio, y se varió la velocidad de agitación de la unidad de prueba en matraz a 1000, 800, 600 y 400 rpm. El resultado más efectivo se obtuvo en la Muestra 2, donde se añadieron 0,75 gramos de cal por cada 2 litros de agua. Este procedimiento permitió variar los parámetros del agua a 8,09 unidades de pH y eliminó sustancias inorgánicas, incluyendo aluminio en un 89%, arsénico en un 71%, cadmio en un 98%, hierro en un 99%, magnesio en un 87%, manganeso en un 99%, sodio en un 14%, plomo en un 89%, talio en un 60% y zinc en

un 98%, cumpliendo así con las normativas del D.S N° 004-2017 - MINAM en la Categoría 3 - Bebidas para Animales.

Aguirre y Huamán (2019) en su tesis: “Eficiencia del tratamiento del drenaje ácido de mina en la bocamina prosperidad con método químico empleando Hidróxido de calcio a nivel de laboratorio”, Cajamarca, Perú, Universidad Privada del Norte, se llevó a cabo un estudio con el fin de evaluar la eficiencia del tratamiento ácido de aguas en el río Prosperidad utilizando el método químico del hidróxido de calcio a nivel de laboratorio. El método empleado fue de carácter experimental y se utilizó cal viva como agente químico, la cual resulta del proceso de neutralización y precipitación de metales pesados en una solución de cal al 10%. Los resultados obtenidos en el experimento fueron positivos y demostraron la capacidad de producir agua potable de alta calidad, cumpliendo con las normativas establecidas en el D.S. N° 010-2010-MINAM. Uno de los hallazgos destacados fue la alta remoción de metales pesados, que superó el 95% a un pH de 10.5. Sin embargo, se señaló un inconveniente en este tratamiento debido a la presencia de iones de calcio en el precipitado resultante. Estos iones de calcio deben ser separados y recolectados en un lugar apropiado para su posterior reutilización.

Chávez C. y Salazar E. (2019) en su trabajo denominado “Eficiencia del floculante sulfato de aluminio y polifloc (policloruro de aluminio) en la remoción de metales y depuración de aguas residuales de una empresa minera en Cajamarca, 2019. Se realizó con el objetivo de evaluar la eficacia de dos floculantes, el sulfato de aluminio y el policloruro de aluminio, como alternativa en el tratamiento de aguas que contenían bajas concentraciones de cuatro metales pesados: cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn) y plomo (Pb), los cuales estaban por encima de los límites permitidos por las normativas. En total se realizaron 8 pruebas para determinar la dosis óptima.

Los resultados indican que tanto el sulfato de aluminio como el policloruro de aluminio demostraron ser efectivos, logrando una remoción del 79.73% y 87.95% respectivamente, en el tratamiento de aguas residuales. Estos floculantes permitieron reducir la turbidez del agua en un promedio de 10 Unidades Nefelométricas de Turbidez

(NTU) y mantuvieron el pH dentro de los límites establecidos por los Límites Máximos Permisibles (LMP) de acuerdo a la normativa.

La combinación de ambos reactivos resultó en una dosis óptima promedio de 25.75 mg/L de sulfato de aluminio y 0.49 mg/L de policloruro de aluminio, lo cual permitió llevar a cabo un proceso de tratamiento de aguas con buenos resultados y cumpliendo con los parámetros establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en su normativa.

Cuadros S. y Santiago A. (2020) en su trabajo denominado Reducción del zinc mediante sulfato de aluminio y superfloc a-110: nivel laboratorio. abordan la contaminación por la presencia de zinc en la laguna Pajuscocha, Se identificó un problema relacionado con la descarga de efluentes mineros en la Laguna Pajuscocha, donde el caudal promedio diario alcanzaba aproximadamente 52 litros por segundo, superando los límites máximos permisibles para efluentes mineros, que es de más de 1,5 mg/l. Para abordar esta situación, se llevaron a cabo dos acciones. En primer lugar, se determinó el pH y la concentración de zinc en el caudal de vertimiento.

Basándose en estos datos, se procedió a la segunda acción, que consistió en la formulación de 08 muestras en el laboratorio, considerando las variables de pH, el coagulante Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ y el floculante Superfloc A110. Como resultado de estos experimentos, se logró reducir la concentración de zinc en el efluente minero que se descargaba en la Laguna Pajuscocha a un nivel de 0,79 mg/l. Este resultado cumplía con los límites máximos permisibles establecidos en el Decreto Supremo N° 010 del MINAM (Ministerio del Ambiente) en 2010, que estipulaba un límite máximo de 1,5 mg/l para la concentración de zinc en efluentes mineros.

La relación entre la dosis de 6 ml de Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3$ al 0,2% y un pH básico de 8,8 fue clave para lograr esta reducción en la concentración de zinc en el efluente minero. Esta relación fue efectiva para cumplir con los estándares de la normativa peruana y evitar que la concentración de zinc en el agua excediera los límites establecidos.

Tucto R. (2019) en su tesis Optimización del consumo del floculante para el tratamiento del Aluminio y Manganeso del agua de mina Unidad Minera Orcopampa – Buenaventura, Arequipa, 2019. El estudio se planteó con varios objetivos principales. En primer lugar, buscaba optimizar el uso de floculante para el tratamiento del magnesio y aluminio presentes en el agua de mina. Además, tenía como objetivo evaluar y determinar la concentración óptima del floculante necesario para tratar el aluminio y manganeso en el agua de mina, específicamente en el efluente Nazareno de la Unidad Minera Orcopampa, operada por la Compañía de Minas Buenaventura.

Las conclusiones obtenidas a partir de las pruebas experimentales indican que se logró una alta eficiencia en la remoción de los metales presentes en el flujo tratado de la Unidad Minera Orcopampa, operada por la Compañía de Minas Buenaventura. Se observó una remoción del aluminio (Al) a una concentración de 0,05 ppm, equivalente al 99,83%. Asimismo, se logró una remoción del hierro (Fe) a una concentración de 0,05 ppm, equivalente al 99,86%. Por último, se obtuvo una remoción del manganeso (Mn) a una concentración de 0,02 ppm, equivalente al 99,55%, en un pH de 10,97.

1.5.2. Antecedentes internacionales

Remediation of heavy metal contaminated groundwater originated from abandoned mine using lime and calcium carbonate (Lee, Sung, Kim, Kang, & Leé, 2007). Se llevó a cabo una investigación para evaluar la efectividad del tratamiento con carbonato de calcio y cal en la eliminación de metales pesados presentes en aguas subterráneas contaminadas procedentes de una mina abandonada de hierro en Corea. En el estudio realizado por Lee et al. (2007), donde realizó experimentos tanto en columnas como a escala piloto para tratar el agua subterránea contaminada con metales. Los coagulantes utilizados en el proceso fueron la cal en forma de granulado ($Ca(OH)_2$) y el carbonato de calcio ($CaCO_3$).

Los resultados indican que se logró eliminar cerca del 98% de arsénico y níquel del agua contaminada. Por otro lado, cuando se empleó carbonato de calcio en el agua

contaminada, se obtuvieron porcentajes de eliminación de más del 97% para níquel y zinc, pero el porcentaje de remoción fue menor al 50% para arsénico.

En el experimento, utilizando una mezcla de cal y carbonato de calcio en una proporción de 1:1, se logró eliminar prácticamente todo el arsénico y más del 98% del níquel. En cuanto a los experimentos a escala piloto, se obtuvieron eficiencias de eliminación superiores al 96% para arsénico y cadmio en el tratamiento de aguas subterráneas de 150 litros, y la capacidad de remoción acumulada se mantuvo de manera lineal. Esto indica que los coagulantes podrían ser capaces de tratar más de 2200% el volumen de agua subterránea en comparados con la cantidad de coagulantes empleados.

Espinosa et al. (2016) en su estudio titulado "Elaboración de un plan de tratamiento del drenaje ácido de mina utilizando el proceso de lodo de alta densidad (HDS), en Temascaltepec, México", publicado en la Revista Académica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, se propusieron diseñar una planta de tratamiento para el drenaje ácido de mina (AMD) que requiriera la menor cantidad posible de dispositivos y reactivos. Su metodología consistió en evaluar las propiedades físicas y químicas del agua ácida, realizar pruebas de sedimentación en un recipiente, determinar la tasa óptima de circulación de lodo y calcular la tasa de oxidación. Los resultados obtenidos indican que es factible reducir la concentración de sólidos disueltos durante el proceso de neutralización del agua ácida de 5135 mg/L a 3320 mg/L, así como disminuir la concentración de hierro de 72,6 mg/L a 0 mg/L mediante la neutralización del AMD y la precipitación de iones de hierro en forma de hidróxido de hierro $[\text{Fe}(\text{OH})_3]$.

Estos resultados demuestran que el proceso de tratamiento implementado fue altamente efectivo en la remoción de estos metales de manera significativa, cumpliendo con los estándares de calidad requeridos. La optimización del consumo de floculante y la determinación de los valores de pH adecuados fueron factores clave en la eficiencia del proceso de tratamiento.

1.6. Variables e Indicadores

1.6.1. Variable independiente

Dosificación de coagulante sulfato de aluminio (10, 20, 30 y 40 mg/L) como coadyuvante del hidróxido de calcio teniendo en cuenta el nivel pH (7.5, 8.0, 8.5, 9.0, 9.5)

Dosificación de coagulante cloruro férrico (10, 20, 30 y 40 mg/L) como coadyuvante del hidróxido de calcio teniendo en cuenta el nivel pH (7.5, 8.0, 8.5, 9.0, 9.5)

1.6.2. Variable dependiente

Tratamiento de aguas acidas - parámetros (Al, As, Ba, Be, B, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Li, Mg, Mn, Hg, Ni, Pb, Se, Zn, Fe disuelto)

1.7. Operacionalidad de las variables:

Tabla 1: Matriz de operatividad

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Dosificación de coagulantes de sulfato de aluminio y cloruro férrico	Administración de dosis individuales de un producto como parte de un régimen de tratamientos, expresado generalmente como peso por unidad de Volumen.	Insumos de acuerdo a los requerido y en diferente dosificación, realizando 3 repeticiones por cada ensayo.	Dosis de sulfato de aluminio	10, 20, 30 y 40 mg/L - ppm
			Dosis de cloruro férrico	10, 20, 30 y 40 mg/L - ppm
Tratamiento de las aguas acidas	El tratamiento de aguas está conformado por procesos físicos, químicos y biológicos, con el objetivo de mejorar la calidad de las aguas contaminadas.	Se medirán los parámetros físico químicos antes del tratamiento a las muestras de aguas ácidas como: Concentración de metales totales y disueltos. Las muestras se tomaron en función al tiempo de residencia y a las diferentes dosis de los insumos seleccionados.	Concentración metales totales	mg/L
			Concentración metales disueltos	mg/L

Capítulo II. Marco teórico y conceptual

2.1. Marco teórico

2.1.1. El agua

El agua es un elemento esencial en la naturaleza, cubriendo aproximadamente el 75% de la superficie del planeta. Sin embargo, la mayor parte de esta agua se encuentra en los mares y océanos. Del agua dulce disponible, aproximadamente el 69% está atrapado en forma de glaciares y nieves, otro 30% se encuentra como aguas subterráneas, y solo una pequeña fracción, está en forma de ríos y lagos.

Es la sustancia más abundante en la biosfera, y se puede encontrar en estado sólido, líquido y gaseoso. Además, constituye el mayor componente de los seres vivos, ya que su peso puede variar entre el 65% y el 95% en la mayoría de las formas de vida.

El agua exhibe un comportamiento peculiar que la diferencia de otros líquidos ya que Posee características físicas y químicas únicas que son fundamentales para su importancia en la biología y la ecología. A lo largo de la evolución, los organismos se adaptaron y han desarrollado sistemas con el objetivo de aprovechar las extraordinarias propiedades del agua (Robledo y Castaño, 2012). El agua es esencial para el mantenimiento de la vida tal como la conocemos y es un recurso indispensable para la vida.

2.1.2. Contaminación del Agua

La contaminación del agua es un problema grave que ocurre cuando sustancias contaminantes se introducen sin un tratamiento idóneo para eliminar los componentes tóxicos. Esta contaminación afecta no solo a las plantas y organismos que habitan en estos cuerpos de agua, sino que también puede tener efectos devastadores en las poblaciones y las comunidades biológicas en su conjunto.

Las sustancias tóxicas que provienen de actividades industriales, agrícolas, ganaderas y domésticas, son responsables de la contaminación del agua. Como

resultado de esta contaminación, el agua deja de ser apta para el consumo humano y diversos usos como la agricultura y ganadería.

Además de la descarga de contaminantes específicos, la construcción de presas y la desviación de ríos también pueden degradar significativamente la calidad del agua. Estos proyectos pueden alterar los ecosistemas acuáticos naturales y causar problemas adicionales de contaminación.

La contaminación del agua es un problema ambiental serio que requiere medidas de prevención, regulación y tratamiento adecuadas para proteger la calidad del agua y garantizar su disponibilidad para las generaciones futuras. Es esencial promover prácticas sostenibles y responsables en todas las actividades humanas que puedan afectar la calidad del agua.

2.1.3. Contaminación del agua por metales pesados

La calidad del agua puede ser alterada tanto por actividades humanas como por procesos naturales, lo que puede tener efectos adversos en su valor tanto para los seres humanos como para la biota (conjunto de organismos vivos) que habita en los cuerpos de agua. La contaminación del agua se define en términos generales como la modificación perjudicial de sus condiciones estándares de calidad debido a la incorporación de sustancias que representan un riesgo para la salud y el bienestar de la población.

Uno de los tipos de contaminación más preocupantes es la que se deriva por altas concentraciones de metales pesados, cuyos efectos negativos pueden intensificarse debido a su persistencia y al fenómeno de biomagnificación. Estos metales pueden ingresar al medio ambiente de manera natural a través de procesos como la lixiviación de suelos y rocas, así como erupciones volcánicas. Sin embargo, también pueden ser liberados en grandes cantidades debido a actividades humanas, como la agricultura, las actividades domésticas, la industria y la minería.

La actividad minera y metalúrgica, en particular, puede dar lugar a la dispersión y la acumulación de cantidades significativas de metales pesados en el entorno si no se

manejan adecuadamente. A diferencia de otros contaminantes, los metales pesados no se degradan de manera natural en los ecosistemas acuáticos y, por lo tanto, tienden a persistir en el medio ambiente. Además, estos metales tienden a acumularse en sedimentos de ríos, lagos y mares debido a su capacidad para formar asociaciones con sustancias minerales y orgánicas a través de procesos como el intercambio iónico, la adsorción y la quelación.

Las concentraciones elevadas de metales pesados en las aguas fluviales, especialmente los asociados con sulfuros como el arsénico, cadmio, cobre, plomo, y zinc, a menudo se atribuyen a la actividad minera, lo que genera un impacto significativo en el ambiente. Por otro lado, metales no sulfurosos como el cromo, níquel y mercurio generalmente indican una contaminación antropogénica y están relacionados con descargas industriales (Branco-Murgel, 1984).

La gestión adecuada de los metales pesados y la prevención de su liberación en el medio ambiente son esenciales para proteger la calidad del agua y preservar la salud de los ecosistemas acuáticos y la salud humana.

2.1.4. Aguas ácidas

El uso del agua es un aspecto crítico en la sociedad actual, y la distribución de su consumo es relevante en los países desarrollados. Según un informe de Naciones Unidas, en estos países, el 59% del consumo total de agua se destina a fines industriales, el 30% se utiliza en la agricultura y el 11% se destina al consumo doméstico. Además, se proyecta que para el año 2025, el consumo de agua para fines industriales alcance los 1,170 km³ por año, en comparación con los 752 km³ por año registrados en 1995 (Hamilton, Q, 1999).

El concepto de aguas ácidas se refiere a soluciones sulfatadas con un alto contenido de metales. La relación entre el dióxido de carbono y el ion bicarbonato tiene un impacto directo en el pH del agua, y una relación alta indica una mayor acidez natural en el agua.

La prevención de la contaminación relacionada con actividades mineras implica diversos aspectos, como los métodos de explotación, el manejo de las fuentes de agua (tanto superficiales como subterráneas) y el tratamiento de estas aguas. Los métodos de prevención se centran en eliminar algunos de los elementos primordiales en la generación de aguas ácidas, como el sulfuro, el oxígeno o las bacterias catalizadoras. La selección de un método específico depende de las condiciones particulares de cada sitio.

Es importante destacar que las aguas ácidas pueden formarse debido a la oxidación de minerales sulfurosos como la pirita (FeS_2) en presencia de humedad y condiciones atmosféricas. Estas aguas pueden ingresar al sistema hidráulico subterráneo, contaminar acuíferos o verse como efluentes en cursos de agua superficiales, lo que representa un riesgo ambiental significativo. La gestión adecuada y la prevención de la generación de aguas ácidas son fundamentales para proteger los recursos hídricos y minimizar los impactos negativos en el medio ambiente.

2.1.5. Caracterización de las aguas ácidas de mina

La evaluación de "acidez" y "alcalinidad" constituye un elemento fundamental en la elección del tratamiento pasivo para el drenaje de mina, al indicar el potencial del agua para neutralizar ácidos o bases. La distinción entre acidez total y alcalinidad total resulta crucial, y es más preciso denominarlas como soluciones con acidez neta o alcalinidad neta.

La acidez total se vincula con la concentración de iones de hidrógeno libres, que determinan el pH de la solución. Este valor incluye, además, iones de hidrógeno generados por la oxidación e hidrólisis de metales presentes, como hierro (Fe), aluminio (Al), manganeso (Mn), zinc (Zn), entre otros. La acidez total teórica se puede calcular con el conocimiento del pH y la concentración de cada catión contribuyente a la acidez. En términos prácticos, la acidez total engloba la suma de la acidez originada por los iones de hidrógeno (H^+) y la potencial acidez derivada de los cationes metálicos (Me^{++})

presentes. El control de las aguas ácidas se ve influenciado por varios factores, entre los que se incluyen:

- Presencia de minerales sulfurosos, como la pirita (FeS_2), que pueden generar ácidos cuando se oxidan en contacto con el oxígeno y el agua.
- pH inicial de la solución, ya que las aguas con un pH bajo (ácidas) tienen un potencial significativo para generar más acidez.
- Concentración de metales en la solución, ya que la oxidación de ciertos metales puede contribuir a la generación de iones de hidrógeno.
- Factores ambientales como la temperatura y la presión, que pueden acelerar los procesos de oxidación y acidificación.

La comprensión de estos factores es esencial para diseñar sistemas de tratamiento pasivo efectivos que puedan neutralizar la acidez de las aguas ácidas y minimizar su impacto ambiental.

2.1.6. Reacciones químicas y biológicas

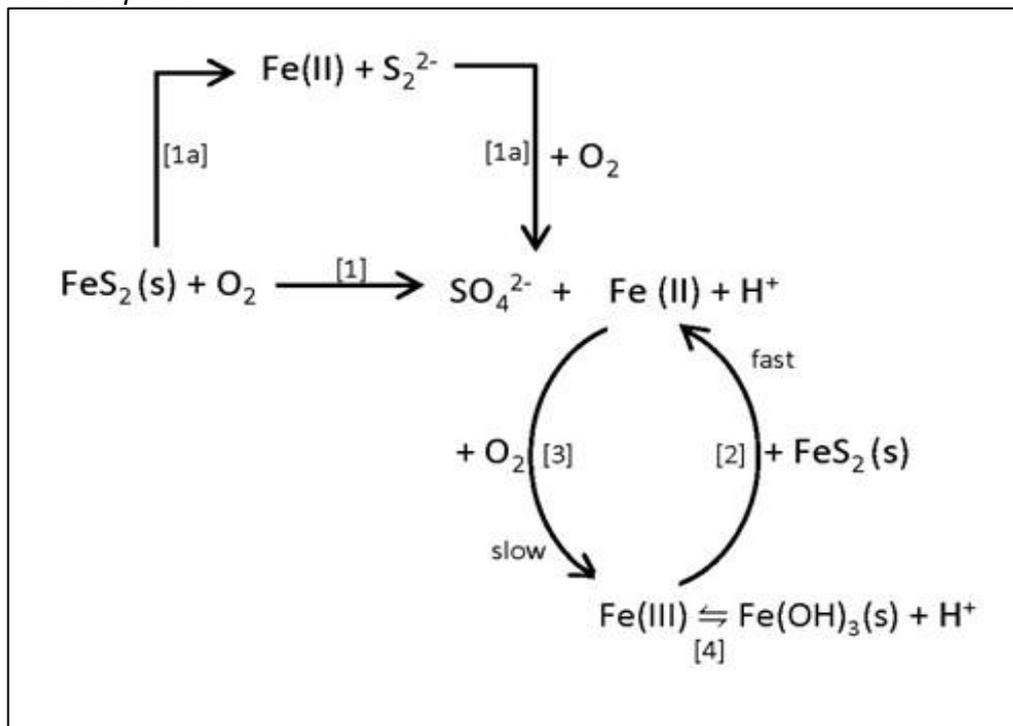
La formación de drenajes ácidos de mina está estrechamente ligada a la presencia de depósitos de sulfuros y carbón, ya que estos albergan minerales metálicos que generan acidez en el agua natural en presencia de oxígeno (Chaparro, 2015). Estas aguas ácidas suelen tener un pH bajo y elevadas concentraciones de metales disueltos (Skousen, 2002). Este proceso de acidificación del agua se vincula comúnmente con actividades mineras que incluyen la remoción de material para abrir minas, la construcción de túneles, el almacenamiento de materiales estériles y la disposición de relaves sin un control adecuado (Chaparro, 2015).

La oxidación de la pirita se destaca como una de las reacciones cruciales en la generación de aguas ácidas, considerándose uno de los minerales sulfurosos más comunes involucrados en este proceso (López et al., 2002; MEMD, 1996; Maree y du Plessis, 1994; EPA, 1983). Nordstrom y Alpers (1999) describen el proceso de oxidación de la pirita, observable en zonas de actividad minera por la facilidad que el aire puede

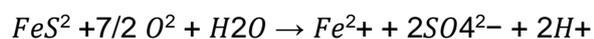
entrar en contacto con los sulfuros mediante actividades como la excavación de tajos, túneles y la exposición de pilas de material estéril y residuos (Skousen et al., 1998; Nordstrom y Alpers, 1999; USEPA, 1996 y 2000, entre otros). La generación de aguas ácidas a partir de la oxidación de la pirita es un fenómeno preocupante en la industria minera debido a su impacto ambiental negativo. Comprender las reacciones y los factores que contribuyen a este proceso es esencial para implementar estrategias de prevención y tratamiento efectivas que minimicen el riesgo de drenajes ácidos de mina y sus efectos perjudiciales en el medio ambiente.

Figura 1

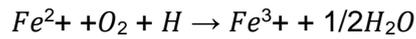
Oxidación de la pirita



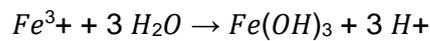
Nota: Elaboración basada en Stumm y Morgan, 1981.



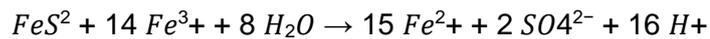
En el inicio de esta reacción, se genera sulfato ferroso e hidrógeno. La presencia de Fe^{2+} , SO_4^{2-} e H^+ conlleva un aumento en la cantidad total de sólidos disueltos y en la acidez del agua, resultando en una disminución del pH. En un entorno externo lo bastante oxidante, se producirá la oxidación de numerosos iones ferrosos a iones férricos.



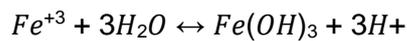
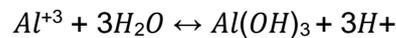
En esta fase, el pH se mantiene en un rango de 3.5 a 4.5, y el ion férrico experimenta catálisis a través de la bacteria Metallogenium. Cuando el pH desciende a valores menores a 3.5, la bacteria Thiobacillus ferrooxidans cataliza la reacción. Generalmente, en un pH comprendido entre 2.3 y 3.5, el ion férrico generado sufre oxidación e hidrólisis, dando lugar a la formación de hidróxidos $Fe(OH)_3$, los cuales precipitan con colores que varían entre rojo, naranja o amarillo, fenómeno observable comúnmente en la mayoría de las aguas ácidas.



Los cationes del ion férrico que no se precipitan en la solución y que aún permanecen en el entorno circundante tienen la capacidad de continuar oxidando la pirita, generando de nuevo iones ferrosos, sulfatos e hidrógeno.



Aunque no constituye una fuente significativa de acidez, la producción de iones de hidrógeno durante la formación de precipitados por ciertos metales debe ser considerada al evaluar las alternativas de tratamiento (Costello, 2003).



Ciertamente, en yacimientos de minerales metálicos, además de la pirita, se pueden encontrar otros minerales sulfurosos como la arsenopirita ($FeAsS$) y la calcopirita ($CuFeS_2$). Aunque estos minerales también pueden experimentar oxidación al entrar en contacto con agentes atmosféricos como el agua y el oxígeno, su capacidad para generar acidez suele ser menor en comparación con la pirita. Esto implica que, aunque pueden contribuir a la formación de aguas ácidas en ciertos casos, su impacto en la generación de acidez suele ser menos significativo que el de la pirita.

2.1.7. Etapas de formación de aguas ácidas

Erickson y Ferguson (1987) han identificado tres fases en el proceso de generación de drenaje ácido de mina, las cuales varían según el Ph. Cuando este parámetro disminuye debido a las reacciones de oxidación, diferentes reacciones de neutralización son desencadenadas por minerales que consumen ácido. La Figura 2 ilustra la evolución del pH con el tiempo (Broughton y Robertson, 1992).

La Etapa I tiende a extenderse por semanas, meses o incluso años, acorde a la capacidad de neutralización disponible. Durante esta etapa, el pH se sitúa en un rango casi neutro, y la oxidación es predominantemente de naturaleza química, impulsada por el oxígeno atmosférico. Al oxidarse los minerales sulfurados se genera sulfatos, hierro ferroso y acidez, los cuales son neutralizados por la alcalinidad de las rocas circundantes (Broughton y Robertson, 1992). Sin embargo, cuando se agotan los carbonatos, silicatos y otros minerales alcalinos, el pH empieza a descender de manera gradual. Si la generación de acidez supera la capacidad de neutralización de los minerales, el pH continuará disminuyendo, ingresando así a las Etapas II y III.

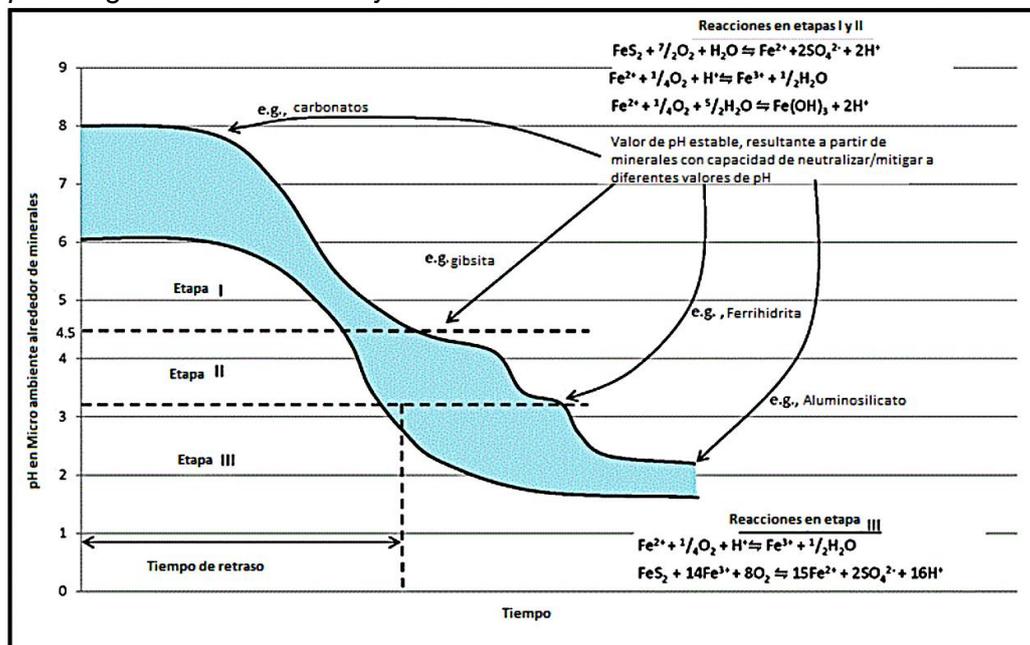
En la Etapa II, el pH desciende hasta aproximadamente 4.5, favoreciendo la proliferación de bacterias acidófilas como *Thiobacillus ferrooxidans* (Ferguson y Erickson, 1987). La actividad oxidativa de estas acelera la producción de ácido, resultando en valores de pH ácidos y niveles altos de sulfato, acidez y metales disueltos (Broughton y Robertson, 1992). Durante este proceso, se forma sulfato ferroso, el cual se oxida nuevamente y se convierte en sulfato férrico. Cuando este último interactúa con el agua, se origina ácido sulfúrico y hidróxido férrico, confiriendo un color amarillo al agua (Aduvire, 2006).

En la Etapa III, el pH desciende a valores menores a 3. Las bacterias convierten el hierro ferroso en hierro férrico. La formación de ácido en esta fase es rauda y depende de la concentración de hierro férrico (Ferguson y Erickson, 1987). Aduvire (2006) señala que cuando se produce una cantidad considerable de ácido, se deben considerar los siguientes aspectos:

- La inhibición de la bacteria *Thiobacillus ferrooxidans* puede reducir la producción de ácido en al menos un 75%.
- Si el pH del agua supera 5, la oxidación se ve inhibida.
- Si el pH del agua disminuye a valores menores de 4.5, se espera que todo el sulfuro de hierro se oxide.
- Cuando el pH disminuye a valores menores de 2.5, se llega a un equilibrio en el que la actividad bacteriana se estabiliza, alcanzando su desarrollo óptimo.

Figura 2

Etapas de generación de drenaje ácido



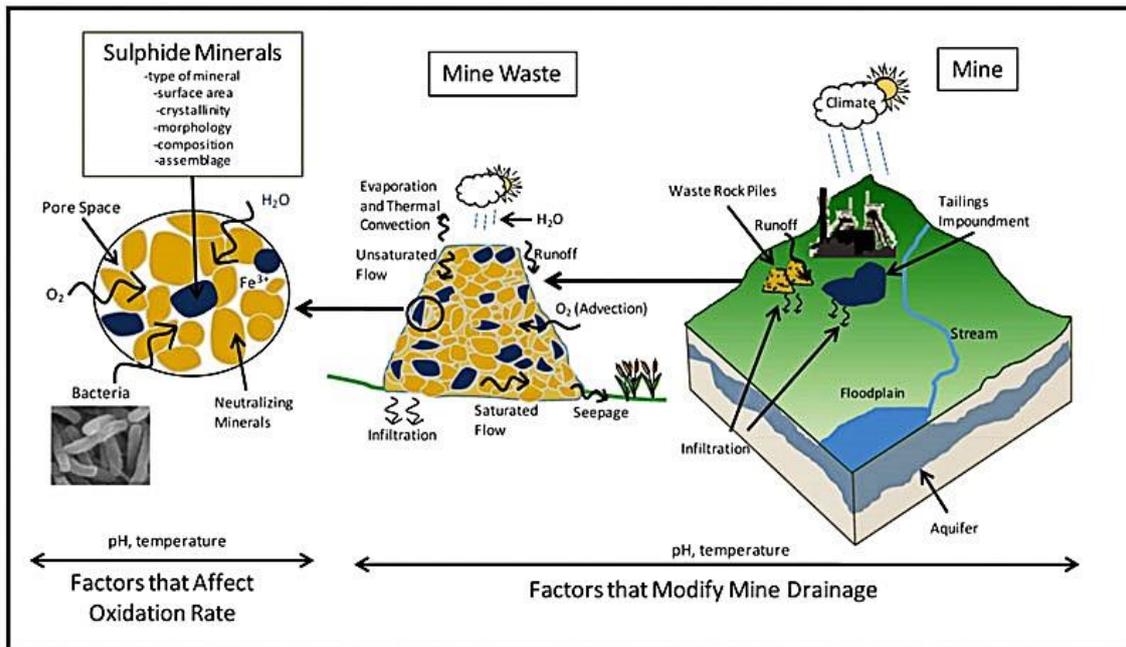
Nota: Fuente - Ferguson y Erickson (1987)

2.1.8. Factores que intervienen en la formación de aguas ácidas

Según Ayala y Vadillo (2004), diversos elementos inciden en la creación de aguas ácidas a partir de rocas que tienen pirita. Estos elementos abarcan el pH de la solución, el oxígeno disponible, la morfología de los minerales sulfurosos, la temperatura, la velocidad de evacuación de los productos de reacción, el potencial de neutralización de las rocas, la humedad y la disponibilidad de dióxido de carbono y elementos traza necesarios para la presencia de microorganismos.

Adicionalmente, el tamaño de partícula desempeña un papel crucial, ya que a mayor finura se asocia una mayor área superficial que intensifica la velocidad de oxidación. En consecuencia, un material fino y uniforme da facilidad al proceso de neutralización al permitir que los materiales alcalinos entren en contacto cercano con los minerales sulfurosos que generan ácido.

Figura 3: Esquemática de los factores que afectan la oxidación de los sulfuros



Fuente. INAP (1998)

2.1.9. Problemática de las Aguas Ácidas de Mina

Los Drenajes Ácidos de Mina (DAM) son reconocidos como uno de los problemas más graves que la minería enfrenta globalmente. Una vez que se manifiestan, controlar el proceso resulta extremadamente difícil, y su eliminación conlleva altos costos. La gestión inadecuada de los DAM puede tener consecuencias negativas significativas en el agua, generando efectos a largo plazo que podrían considerarse como el principal legado de menoscabos en la minería.

Chaparro (2015) y Kefeni et al. (2017) señalan que los efectos provocados por los DAM incluyen:

- Disminución de la calidad del agua, afectando al ecosistema acuático y volviéndola inapropiada para el consumo debido a su elevada acidez.

- Depositiones que aceleran la oxidación de hierro y sulfato, presentes en las branquias de los peces, obstaculizando su alimentación.
- Impacto en el suelo y alteración de su calidad.
- Influencia negativa en las aguas subterráneas mediante procesos de ósmosis natural.
- Perjuicio a la flora debido a la acidez y altas concentraciones de iones sulfato y cloruro, afectando su ciclo de crecimiento.
- Daño al paisaje de las zonas afectadas, requiriendo rehabilitación de dichas áreas.

2.1.10. Los pasivos ambientales mineros (PAM)

El Ministerio de Energías y Minas (MINEM) en 2004 definió los PAM como instalaciones que involucran aguas residuales, emisiones o depósitos de desechos generados por actividades mineras, y que representan un problema para el ambiente, afectando a la población, el ecosistema y la propiedad.

2.1.11. Relavera Quiulacocha

Bianchini y Grassi (2018) reportan que la Laguna Quiulacocha, ahora relavera, ubicada en el distrito de Simón Bolívar, se ha convertido en una represa de desechos mineros. Esta relavera presenta un color rojizo anaranjado debido a la alta concentración de metales, especialmente óxidos de hierro. La comunidad de Quiulacocha se encuentra a menos de 50 metros de la laguna, separada solo por una carretera, y está directamente afectada por la contaminación de este antiguo cuerpo de agua.

Los problemas ambientales causados por esta relavera son múltiples e incluyen la contaminación del aire debido a los vapores y polvos que contienen metales pesados tóxicos, así como la contaminación del suelo y del agua. Las aguas residuales mineras se infiltran en los acuíferos locales, lo que agrava aún más la situación. Esta relavera, que ha estado recibiendo desechos mineros durante casi un siglo, representa una grave amenaza debido a su proximidad a carreteras, ciudades y comunidades. Además, la falta

de barreras en las orillas de la laguna pone en peligro a las personas y la vida silvestre que puedan acercarse a esta zona peligrosa. La relavera Quiulacocha está diferenciada por dos sectores, el sector 1 o zona de playa la cual tiene un área de 88.48 ha y está ubicada en la coordenada UTM WGS 84 (360401.37 m Este, 8817348.24 Norte) cuya pendiente es uniforme y posee un nivel freático cercano a la superficie; y el sector 2 o zona húmeda con coordenada UTM WGS 84 (359644.94 m Este, 8816811.73 Norte) y área de 39.04 ha cuyas condiciones son variables y se encuentra parcialmente cubierta por un espejo de agua. Ambas áreas ubicadas al suroeste del depósito de desmontes Excelsior.

Figura 4

Sectores de la Relavera Quiulacocha



Fuente: Activos Mineros. 2022.

2.1.12. Tratamiento de aguas ácidas

Se define como un conjunto de procesos que involucra acciones físicas, químicas y biológicas diseñadas para mejorar las características de las aguas contaminadas de manera beneficiosa. Las aguas ácidas se caracterizan por tener un pH de valores bajos, una alta concentración de sólidos disueltos y un elevado contenido de metales. Estas

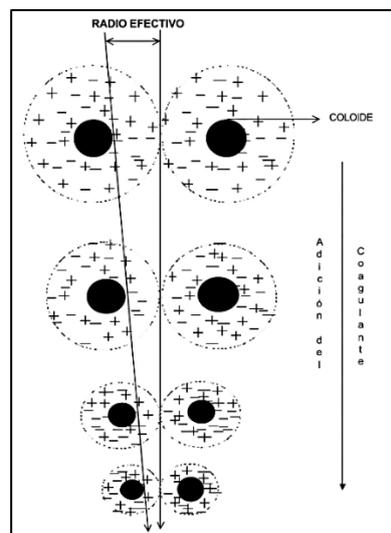
aguas ácidas experimentan diversas transformaciones químicas, físicas y biológicas que pueden dar lugar a la formación de drenajes ácidos de mina (López, E, Aduvire, O y Baretino, D, 2002, p. 45).

2.1.13. Coagulación

La coagulación implica la desestabilización química de partículas coloidales implica la eliminación de las fuerzas que mantienen estas partículas separadas. Este procedimiento se efectúa mediante la introducción de coagulantes químicos y la aplicación de agitación energética. La representación en la figura adjunta muestra cómo los compuestos químicos neutralizan las cargas eléctricas presentes en la superficie de los coloides, posibilitando que estas partículas coloidales se agrupen y formen flóculos. La coagulación se reconoce como uno de los métodos más eficaces para eliminar diversas sustancias de diferente naturaleza y peso de materia en el agua. Sin embargo, su eficacia está directamente vinculada a la dosis adecuada de coagulante. Un mal manejo de este proceso puede resultar en una rápida degradación de la calidad del agua y en costos operativos innecesarios. Por ende, es esencial ajustar de manera apropiada la cantidad de coagulante para asegurar un funcionamiento eficiente de las unidades de decantación y lograr una clarificación efectiva del agua.

Figura 5

Coagulación



Nota: Fuente - Yolanda Cárdenas (2000)

2.1.14. Compresión de la Doble Capa

Cuando dos partículas similares se acercan, sus capas difusas interactúan, originando una fuerza de repulsión. La intensidad de esta fuerza repulsiva está vinculada a la distancia entre las partículas y disminuye rápidamente con el incremento de la concentración de iones con carga opuesta a las partículas. La reducción de esta fuerza repulsiva se logra mediante la presencia de iones provenientes del coagulante. Paralelamente, se presenta una fuerza de atracción, denominada fuerzas de Van der Waals, que opera entre las partículas y que depende de la composición atómica y densidad de las partículas (Cárdenas, 2000).

2.1.15. Absorción y Neutralización de Cargas

Los coloides presentan una carga negativa en sus superficies, denominada carga primaria, que atrae iones positivos presentes en el agua circundante, formando así la primera capa adherida al coloide. El potencial eléctrico en la superficie del plano de cizallamiento se denomina potencial electrocinético o potencial ZETA, y este regula la interacción y el desplazamiento de los coloides entre sí. Según la teoría de la doble capa, la coagulación involucra la neutralización del potencial ZETA mediante la adición de coagulantes y floculantes. En este proceso, la fuerza natural derivada del movimiento browniano resulta insuficiente, por lo que se necesita energía adicional, como agitación mecánica o hidráulica, para que se produzca la coagulación.

Cuando se añade una cantidad excesiva de coagulante al agua a tratar, se puede restablecer la carga de las partículas, provocando una inversión de la carga original de las partículas.

2.1.16. Atrapamiento de Partículas dentro de un Precipitado

Cuando se introducen cantidades adecuadas de coagulantes las partículas coloidales desestabilizadas tienen la posibilidad de quedar atrapadas dentro de una estructura llamada floc. Este floc está compuesto por moléculas de $\text{Al}(\text{OH})_3$ o $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

La formación de este precipitado se ve acelerada por la presencia específica de aniones y partículas coloidales. En el proceso de creación del floc, las partículas coloidales desempeñan una función crucial al comportarse como "anillos", y puede establecer una relación inversa entre la turbidez del agua y la cantidad necesaria de coagulante. En otras palabras, cuando la concentración de partículas en suspensión es elevada, podría requerirse una menor cantidad de coagulante para lograr una desestabilización y formación efectiva del floc.

2.1.17. Adsorción y Puente Cargas

En términos generales, se ha comprobado que la opción de tratamiento más rentable se alcanza mediante el uso de un polímero aniónico cuando las partículas presentes en el agua tienen carga negativa. Este fenómeno se explica a través de la teoría del "puente". Las moléculas de polímero extremadamente largas contienen grupos químicos capaces de absorber partículas coloidales. Una molécula de polímero puede absorber una partícula coloidal en uno de sus extremos, permitiendo que otros sitios de la molécula queden libres para absorber otras partículas. Es por este motivo que se describe a las moléculas de polímero como "puentes" entre las partículas coloidales. No obstante, es crucial destacar que el uso excesivo de polímeros puede llevar a una estabilización excesiva de la suspensión debido a una carga excesiva de polímeros, lo cual debe evitarse para asegurar un tratamiento eficaz.

2.1.18. Coagulantes

Son sustancias químicas que, al ser añadidas al agua, pueden provocar una reacción química con los elementos químicos, generando un precipitado voluminoso y absorbente. Este precipitado generalmente consiste en el hidróxido metálico del coagulante empleado.

En el tratamiento del agua, las sales de aluminio y hierro son los coagulantes más frecuentemente empleados. Al agregar estas sales al agua, se inician una serie de reacciones químicas. Durante estas reacciones, los productos de hidrólisis resultantes son más eficaces que los iones individuales. Dichas sales reaccionan con la alcalinidad

presente en el agua, dando lugar a la formación de hidróxidos de aluminio o hierro, los cuales son insolubles y originan precipitados en el agua. Estos precipitados contribuyen a atrapar y desestabilizar las partículas coloidales en el agua, facilitando su eliminación en el proceso de coagulación y floculación.

2.1.19. Factores que Influyen en la Coagulación

A continuación, se mencionan los factores que tienen influencia en el proceso de coagulación:

- pH.
- Turbidez.
- Sales disueltas.
- Temperatura.
- Condiciones de Mezcla.
- Sistemas de aplicación de los coagulantes.

2.1.20. Influencia del pH

El pH, expresado como $-\log\{H^+\}$, cuantifica la actividad del ion hidrógeno en una solución. Al llevar a cabo el proceso de coagulación, el pH se convierte en la variable de mayor relevancia. Existe un rango óptimo de pH para cada tipo de agua, donde la coagulación ocurre de manera eficiente. Este intervalo está determinado por la naturaleza de los iones presentes y la alcalinidad del agua. El rango de pH adecuado en el proceso de coagulación depende del tipo de coagulante utilizado y de las características del agua que se está tratando. Si la coagulación se lleva a cabo fuera del rango de pH óptimo, puede ser necesario aumentar la cantidad de coagulante utilizada, lo que resulta en una dosis más alta para lograr una desestabilización efectiva de las partículas coloidales y la formación de floculantes adecuados. Es importante mantener el pH dentro del rango recomendado para optimizar la eficiencia del proceso de coagulación.

2.1.21. Influencia de la Temperatura del Agua

Los cambios en la temperatura pueden influir en el proceso de coagulación. Incluso una pequeña variación de 1°C puede generar corrientes de densidad debido a

alteraciones en la densidad del agua, lo que afecta la velocidad de movimiento de las partículas en suspensión y puede ralentizar la coagulación. Por otro lado, temperaturas muy altas también pueden ser desfavorables, ya que pueden reducir la eficacia de los coagulantes y floculantes utilizados. Además, una disminución de la temperatura del agua en una unidad de decantación puede aumentar su viscosidad, dificultando la sedimentación adecuada de los flóculos formados en la coagulación. Por lo tanto, es importante mantener la temperatura del agua en un rango adecuado para garantizar una coagulación eficiente.

2.1.22. Influencia de la Dosis del Coagulante

La dosis de coagulante utilizada desempeña un papel crucial en la eficiencia del proceso de coagulación, así:

- Una cantidad insuficiente de coagulante no logra neutralizar por completo la carga de las partículas, lo que resulta en la formación limitada de microflóculos y, como consecuencia, en la presencia de una alta turbidez residual en el agua tratada.
- Por otro lado, el uso de una cantidad excesiva de este producto puede llevar a la inversión de la carga de las partículas y a la formación de microflóculos de tamaño muy pequeño. Estos microflóculos tienden a sedimentar a velocidades muy lentas, lo que también resulta en una alta turbidez residual en el agua tratada.

Para determinar la selección del coagulante adecuado y la cantidad óptima a aplicar, se realizan pruebas de jarra, que permiten ajustar y optimizar el proceso de coagulación.

2.1.23. Influencia de Mezcla

El grado de agitación durante la adición del coagulante es un factor crítico que determina la completitud de la coagulación. La agitación debe ser uniforme y vigorosa para garantizar una dispersión efectiva del coagulante y la reacción química adecuada.

El proceso de coagulación y floculación implica dos etapas de mezcla. En la primera etapa, conocida como mezcla rápida, se realiza una agitación enérgica y de corta

duración (generalmente no más de 60 segundos). El objetivo de esta etapa es dispersar completamente el coagulante en el volumen de agua a tratar. En la siguiente etapa, la mezcla es más lenta y tiene como objetivo generar los micro flóculos.

La mezcla rápida es esencial para asegurar la dispersión adecuada de los productos químicos en la zona de turbulencia. Una mezcla rápida inadecuada puede resultar en una mayor cantidad de productos químicos requeridos para lograr la coagulación efectiva.

Existen dos tipos principales de coagulantes: los polielectrolitos o coagulantes auxiliares y los coagulantes metálicos. Los coagulantes metálicos, como los compuestos de hierro y aluminio, tienen la capacidad de formar flóculos y, por lo tanto, pueden utilizarse en el proceso de coagulación. Los coagulantes metálicos se pueden clasificar en diferentes subgrupos, como se resume en la tabla 2:

Tabla 2

Tipos de coagulantes metálicos

Coagulante metálico	Tipo
Aluminio	Sulfato de aluminio, cloruro de aluminio, aluminato de sodio, clorhidrato de aluminio, policloruro de aluminio, sulfato de cloruro de polialuminio, silicato de cloruro de polialuminio, y formas de cloruro de polialuminio con polímeros inorgánicos.
Hierro	sulfato férrico, sulfato ferroso, cloruro férrico, sulfato de cloruro férrico, sulfato poliférrico, y sales de hierro con polímeros orgánicos.

Nota: Tipos de coagulantes metálicos, adaptado de Análisis de la influencia de dos materias primas coagulantes en el aluminio residual del agua tratada por Murillo Diana. 2011

Los coagulantes metálicos son ampliamente utilizados en el tratamiento de aguas debido a su accesibilidad y costos reducidos. Son eficaces para formar complejos con diversas cargas, y la manipulación del pH del sistema permite controlar la naturaleza de estos complejos.

Además de los coagulantes metálicos, se encuentran las ayudantes de coagulación o polielectrolitos. Estas sustancias no generan floculación por sí solas cuando se aplican de forma independiente, pero mejoran los resultados obtenidos con

los coagulantes simples. Los polielectrolitos son compuestos conformados por uniones covalentes de monómeros que poseen cadenas poliméricas con diferentes grados de polimerización. Estos monómeros pueden formar polímeros con al menos dos grupos funcionales activos para mantener su configuración original. Si estas cadenas poliméricas cuentan con varios grupos funcionales activos, se les denomina polielectrolitos.

Es fundamental señalar que la rapidez de sedimentación de las partículas no solo depende de los coagulantes utilizados, sino también del peso de las mismas. Los coagulantes polielectrolitos se emplean en dosis bajas pero eficientes, facilitando la sedimentación de grandes cantidades de sólidos sedimentables. A pesar de sus mayores costos de adquisición, la baja dosificación beneficia el proceso de tratamiento del agua. Investigaciones llevadas a cabo en el Centro de Ingeniería Sanitaria Robert B. Taft en Cincinnati, respaldan la eficacia de estos coagulantes polielectrolitos en el tratamiento de aguas.

Los ayudantes de coagulación o coagulantes polielectrolitos se pueden clasificar según su origen o carga, como se resume en la tabla siguiente.

Tabla 3

Clasificación de los polielectrolitos, adaptado de Teoría de la coagulación del agua

Origen	Carga
Polímeros naturales	Iónicos
	Catiónicos
	Aniónicos
Polímeros sintéticos	Aniónicos

Nota: Elaboración propia basada en Arboleda J. 1992.

Una diferencia clave entre los coagulantes metálicos y los polielectrolitos radica en la estructura de sus cadenas poliméricas. Los coagulantes metálicos tienen cadenas poliméricas ya formadas cuando se agregan al agua, mientras que los polielectrolitos inician la polimerización una vez que se introducen en el agua. Después de la

polimerización, sigue la etapa de absorción por parte de los coloides presentes en la fase acuosa.

Además de estos dos tipos de coagulantes, también existen polímeros naturales. Estos polímeros se derivan de reacciones bioquímicas naturales que ocurren en animales y plantas, como proteínas, carbohidratos y polisacáridos (como el almidón y los glucósidos). Los polímeros naturales han sido utilizados como coagulantes empíricos por ancestros y tribus indígenas para aclarar el agua. Aunque han recibido menos atención en términos de investigación en comparación con otros coagulantes, se ha compilado información sobre varios polímeros naturales con propiedades coagulantes o floculantes en la literatura científica.

Estos polímeros naturales representan una interesante área de estudio en la búsqueda de alternativas más sostenibles y efectivas para el tratamiento del agua, aunque aún se necesitan más investigaciones para confirmar su eficacia en comparación con otros métodos de depuración.

2.1.24. Sulfato de Aluminio

El uso extendido del sulfato de aluminio como coagulante se debe a su eficacia en el proceso de coagulación y floculación del agua. Este compuesto se obtiene mayormente mediante la evaporación del agua durante la digestión de minerales de bauxita con ácido sulfúrico. Se generan dos variedades de sulfato de aluminio, identificadas como sulfato de aluminio tipo A y sulfato de aluminio tipo B. Estas variedades difieren en su composición, la cual se presenta en detalle en la siguiente tabla.

Tabla 4

Composición de sales de sulfato de aluminio

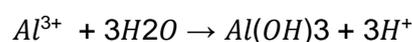
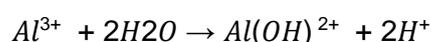
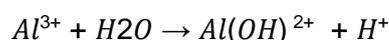
Concepto	Composición del Sulfato de aluminio tipo A	Composición del Sulfato de aluminio tipo B
Al ₂ O ₃ mínimo	17%	1.6%
Hierro como Fe ₂ O ₃ max	0.75%	1.6%
Materia insoluble, máx	0.50%	5.0%

Nota: Elaboración propia basada varios autores como Campos 1980, Ridwan 2011, Arboleda 1992.

El hidróxido de aluminio generado en esta reacción es de naturaleza coloidal, ya que tiene la capacidad de adsorber iones positivos presentes en la solución, lo que resulta en la formación de un sol con carga positiva. Este sol coloidal neutraliza la carga de las partículas coloidales cargadas negativamente y facilita su aglomeración. Posteriormente, se produce un exceso de hidróxido de aluminio en solución, que precipita y se elimina mediante la interacción con iones sulfato y otros iones negativos presentes en el agua, como se describe a continuación.



Los cationes metálicos de aluminio experimentan reacciones al entrar en contacto con el agua, dando lugar a la formación de iones e hidrógeno. Estos iones pueden permanecer en estado libre o combinarse con otros cationes. En el caso del aluminio, se producen las siguientes reacciones:



Los iones sulfato son absorbidos por las partículas coloidales cargadas negativamente, lo que conduce a la neutralización de la carga y, por lo tanto, a la coagulación y precipitación de estas partículas. Para evitar la formación de sustancias no deseadas, es importante distribuir de manera uniforme el sulfato de aluminio en todo el volumen de agua que se va a tratar. Esto se logra mediante la mezcla rápida, lo que reduce el tiempo de formación de estas sustancias no deseadas y aumenta el contacto del coagulante con las partículas coloidales.

Una vez que se ha logrado la floculación, donde las partículas coloidales se aglomeran y precipitan, se permite la clarificación del agua tratada. La coagulación con sulfato de aluminio es más efectiva cuando el pH del agua se encuentra en el rango de 5.5 a 8. Si el pH del agua a tratar no está dentro de este rango óptimo, se puede ajustar mediante la adición de cal viva, cal apagada, carbonato de sodio o sosa cáustica, según

lo recomendado por diversos autores (Barraqué, 1979; Hernández, 1990; Zotter y Licskó, 1992).

2.1.25. Sales de hierro

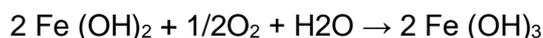
El cloruro férrico constituye otro coagulante de amplio uso en los procesos de coagulación. Su obtención se lleva a cabo mediante la oxidación de la pirita o el tratamiento del hierro con ácido sulfúrico. Este proceso conduce a la formación de diversos compuestos de hierro, entre ellos, el sulfato férrico y el sulfato ferroso. Además, es posible obtener otros compuestos de hierro al introducir cloro en forma gaseosa al hierro, siendo el cloruro férrico el compuesto principal resultante. En tiempos más recientes, se han creado sales polimerizadas de hierro, como el sulfato poliférrico y el cloruro poliférrico (Jiang, 1993).

2.1.26. Sulfato ferroso

Cuando se introduce sulfato ferroso en el agua residual, la molécula se descompone en iones Fe^{2+} y SO_4^{2-} . El Fe^{2+} se asocia con los coloides de carga negativa, neutralizando parcialmente su carga eléctrica y reduciendo la potencial zeta a un nivel propicio para la unión de partículas. Además, el Fe^{2+} reacciona con los iones OH^- presentes en el agua, originando hidróxido ferroso. Por otro lado, el ion SO_4^{2-} interacciona con el calcio contenido en el agua, precipitándose en el fondo del recipiente que alberga el agua residual. También, el sulfato ferroso tiene la capacidad de reaccionar con el cloro residual del agua. Las reacciones siguientes ejemplifican estos procesos:



Es importante tener precaución con la aireación del agua durante el proceso de depuración, ya que podría ocurrir la oxidación del hidróxido ferroso, formando hidróxido férrico, el cual no es asimilable por las plantas. Si el agua residual contiene hierro en forma férrica, puede causar daños a la vegetación y ser considerado como un contaminante. Este proceso se describe de la siguiente manera:



La interacción del sulfato ferroso con el cloro residual y el calcio presente en el agua residual se manifiesta mediante la siguiente reacción:



Al adicionar el Sulfato férrico al agua residual esta se disocia en iones hierro y sulfato de la siguiente manera:



2.1.27. Cloruro férrico

Cuando se añade cloruro férrico, ocurre una oxidación del coagulante, los iones del cloruro férrico se disocian y también interactúan con el cloro presente en el agua residual y la alcalinidad:



2.1.28. Ventajas y desventajas de coagulantes comerciales

A continuación, se presentan algunas de las ventajas y desventajas de los mencionados anteriormente en la siguiente tabla:

Tabla 5

Ventajas y desventajas de diferentes coagulantes inorgánicos

Coagulante	Ventajas	Desventajas
Sales de aluminio y sales de hierro	<ul style="list-style-type: none"> • Buena disponibilidad • Los desechos de hierro resultan beneficiosos para el crecimiento de las plantas • Las sales de aluminio demuestran mayor eficacia en presencia de un mayor contenido de compuestos carbonosos • Disponibilidad óptima 	<ul style="list-style-type: none"> • Necesita un control del pH • Los restos de aluminio pueden tener efectos negativos en la calidad del suelo • Posee un rango de pH limitado • Desafíos en la aplicación en aguas con elevada turbulencia • Necesita la asistencia de coadyuvantes para facilitar la

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Amplio rango de tolerancia al pH • Las sales de hierro son más eficientes en condiciones donde existe un contenido significativo de proteínas. | <ul style="list-style-type: none"> • formación de flóculos • Puede dar lugar a un elevado contenido residual de aluminio • Aumento en el consumo de coadyuvantes para mantener el control del pH • Implica la participación de personal en la ejecución del proceso |
|---|---|

Nota: Elaboración propia basada en Arboleda J. 1992

2.1.29. pH óptimo de coagulación

El nivel de pH desempeña un papel crucial en el desarrollo de la coagulación, afectando la formación de precipitados coloidales, la duración del proceso de floculación y la carga eléctrica de las partículas coloidales (Sanz, 2013). Aunque el pH óptimo para la eliminación de coloides negativos puede cambiar dependiendo de las características del agua, suele situarse en el intervalo de pH de 5.0 a 6.5 (Romero, 2009). Esto es especialmente importante cuando se utilizan coagulantes metálicos, ya que son sensibles al pH y a la alcalinidad del agua.

Cuando el pH no está en el rango óptimo, la coagulación tiende a ser deficiente y puede generar más residuos, lo que a su vez puede causar otros problemas (Arboleda, 2000). Romero (2009) señala que a menor dosis de coagulante, los flóculos son más sensibles a los cambios de pH. En la tabla 7 se puede visualizar los valores de pH estándar para cada coagulante.

Tabla 6

Resumen de pH óptimo para algunos coagulantes

Coagulante	pH óptimo de coagulante
Sulfato de aluminio	5 - 7.4
Cloruro férrico	> 8

Sulfato ferroso	9.5 - 12
Sulfato férrico	4 -7 y > 9

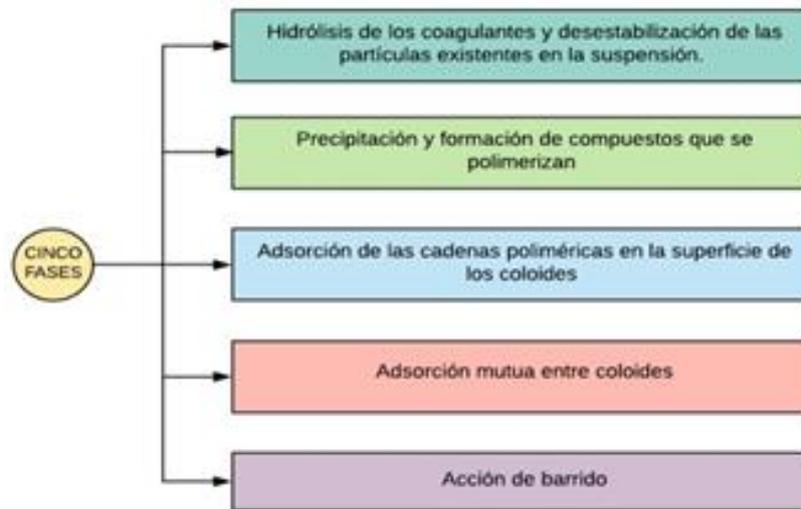
Fuente. Aguilar (2002)

2.1.30. Fases de la coagulación

En el proceso de coagulación, se producen 5 etapas consecutivas que involucran procesos químicos y físicos. Estas fases se describen a continuación:

Figura 6

Fases de la coagulación



Fuente. Seccional de Medellín. 1986

Primera Fase: En esta fase, al agregar el coagulante, se genera una reacción con las moléculas del agua y puede desestabilizar las partículas coloidales. Esto ocurre debido a la adsorción específica de los productos de hidrólisis, que tienen carga positiva. Esta fase implica la neutralización de las cargas en la doble capa que rodea a los coloides cargados negativamente o interacciones químicas con grupos ionizables en la superficie de las partículas coloidales (Arboleda, 1972).

Segunda Fase: En esta etapa, los productos generados en la fase uno tiene la capacidad de polimerizarse. Estas cadenas o productos poliméricos formados tienen extremos activos que son fundamentales para continuar reaccionando.

Tercera Fase: En esta fase, las cadenas poliméricas generadas en las etapas anteriores se adsorben a las partículas en suspensión, y los extremos cargados de estas cadenas se mantienen activos.

Cuarta Fase: En esta etapa, los extremos de las cadenas poliméricas se adhieren a las partículas coloidales que tienen una deficiencia de carga, lo que resulta en la formación de conglomerados esponjosos de partículas suspendidas unidas por las cadenas poliméricas.

Quinta Fase: En la última fase, los conglomerados formados en la etapa anterior precipitan debido a un efecto de barrido, lo que significa que recogen otras partículas coloidales a medida que caen y se asientan en el agua.

Estas cinco fases representan el proceso completo de coagulación, donde las partículas coloidales se agrupan y precipitan, lo que conduce a la clarificación del agua tratada.

2.1.31. Floculación

La floculación es el proceso que sigue a la coagulación y se caracteriza por la agitación de la masa coagulada. Su propósito principal es permitir el crecimiento y la unión de los flóculos recién formados, lo que aumenta su tamaño y peso, facilitando así su sedimentación. Inicialmente, estos flóculos son pequeños, pero al unirse forman conglomerados más grandes que tienen la capacidad de sedimentar de manera efectiva.

A veces, los flóculos formados por la aglomeración de varios coloides no son lo suficientemente grandes como para sedimentar rápidamente. En tales casos, se utiliza un floculante que actúa como un agente de enlace, uniendo las partículas individuales en una red y formando puentes entre ellas para crear flóculos más grandes y fuertes.

La floculación se beneficia de una agitación suave y lenta, ya que permite que los flóculos se unan gradualmente. Un mezclado excesivamente vigoroso puede romper los flóculos y dificultar su reformación a un tamaño y fuerza óptimos. Además, la floculación puede mejorarse mediante la adición de un reactivo de floculación o ayudante de

floculación, que ayuda a unir las partículas de manera más eficiente y a formar flóculos más grandes y pesados.

2.1.32. Tipos de Floculación

Hay 2 tipos de floculación:

La floculación pericinética es un proceso que resulta del movimiento natural de las moléculas de agua, que es inducido por la energía térmica y se conoce como el movimiento browniano. Este movimiento aleatorio y caótico de las partículas en el agua contribuye a la dispersión y colisión de las mismas, lo que puede ayudar en el proceso de floculación.

Por otro lado, la floculación ortocinética se basa en las colisiones de las partículas que ocurren debido al movimiento del agua, el cual es inducido por una fuente externa de energía, que puede ser mecánica o hidráulica. Este tipo de floculación implica la aglomeración de microflóculos después de que el agua ha sido coagulada.

En resumen, la floculación pericinética es un proceso relacionado con el movimiento natural de las partículas en el agua debido a la energía térmica, mientras que la floculación ortocinética implica colisiones de partículas inducidas por una fuente externa de energía para lograr la aglomeración de los flóculos. Ambos procesos son importantes en el tratamiento del agua para la eliminación de impurezas.

2.1.33. Floculantes

Los floculantes son sustancias que generalmente son polímeros o polielectrolitos con un alto peso molecular. Estas sustancias son moléculas orgánicas que se disuelven en agua y están compuestas por bloques repetitivos llamados monómeros que se ensamblan en cadenas largas. Los floculantes pueden tener diferentes orígenes y se dividen principalmente en tres categorías según su naturaleza: mineral, orgánico natural y orgánico de síntesis.

A. Floculantes Minerales:

La sílice activada es un tipo de floculante que se utilizó históricamente en el tratamiento de agua. Para su uso, debe prepararse con cuidado debido a su sensibilidad

y al riesgo de gelatinización. Su acción implica la neutralización parcial de la alcalinidad del silicato de sodio presente en la solución.

B. Floculantes Orgánicos Naturales:

Este tipo de floculantes son polímeros fabricados con productos naturales como las algas (alginatos), gomas, almidones de granos vegetales y derivados de la celulosa.

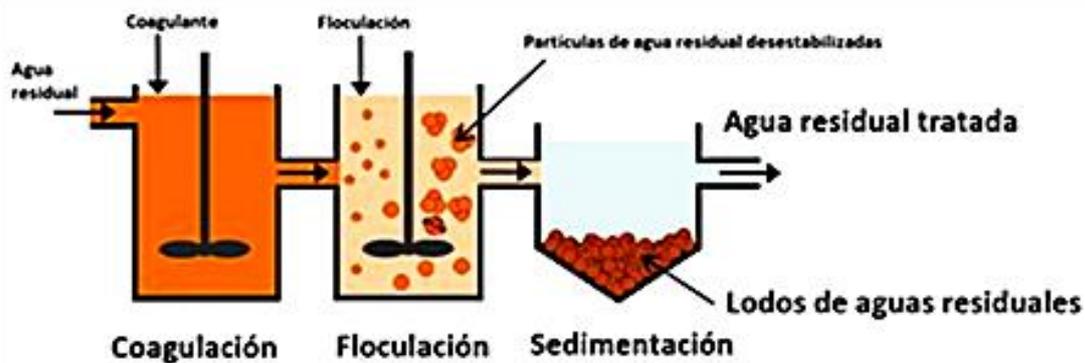
C. Floculantes Orgánicos de Síntesis.

Los floculantes más comúnmente utilizados son macromoléculas que consisten en grandes cadenas formadas por la asociación de monómeros sintéticos con una masa molecular elevada, que generalmente oscila entre 10^6 y 10^7 gramos por mol. Estos floculantes se clasifican según su ionicidad:

- Aniónicos
- Neutros o no iónicos
- Catiónicos

Figura 7

Proceso de coagulación química



Fuente. Katrina Pui Yee Shak y Ta Yeong Wu. (2016)

2.1.34. Prueba de jarras

El ensayo de jarras, también conocido como prueba de jarras o Test Jar, es un método ampliamente utilizado en el tratamiento de aguas para evaluar el acondicionamiento químico y optimizar el proceso de coagulación. Su historia se remonta a figuras como G. W. Fuller, J. Cairol y E. Theirault, pero posiblemente su primer ensayo fue realizado por W. L. Langelier en la Universidad de California en 1918. A lo largo del

tiempo, ha habido numerosos avances y contribuciones tecnológicas de varios investigadores, incluyendo John Baylis, Bartow y Petterson, Fleming, Nolte, Kromer y otros, que han mejorado y aplicado con éxito este ensayo en diversas condiciones de coagulación de aguas.

El ensayo de jarras es esencial para evaluar el acondicionamiento químico del agua, ya que dosis demasiado pequeñas de coagulante no neutralizan adecuadamente la carga de las partículas coloidales, lo que resulta en una formación mínima de flóculos. Por otro lado, dosis excesivamente altas invierten la carga de las partículas coloidales, dando lugar a una formación de flóculos abundantes, pero de tamaño muy pequeño, lo que dificulta su sedimentación.

Este ensayo tiene múltiples objetivos, como la selección del coagulante más idóneo, la determinación del pH óptimo, la evaluación de la dosis óptima, la evaluación de las condiciones de mezcla, la necesidad de floculación y sedimentación previas a la filtración.

El equipo utilizado para el ensayo de jarras suele constar de una unidad de mezcla con agitadores de paletas que operan a velocidades específicas, por lo general entre 10 y 300 RPM. Algunos equipos también pueden medir parámetros fisicoquímicos como temperatura, turbidez y pH. Las jarras utilizadas para este proceso pueden ser rectangulares o redondas, pero lo primordial es que estén hechas de vidrio o acrílico transparente para permitir la observación de los resultados.

2.2. Marco Legal

2.2.1. Constitución Política del Perú

Establece en su Artículo 66 que los recursos naturales renovables y no renovables son considerados patrimonio de la Nación. Esto significa que estos recursos, que pueden ser renovados o agotarse con el tiempo, pertenecen a la Nación en su conjunto y deben ser gestionados y utilizados de manera responsable y sostenible para el beneficio de todos los ciudadanos.

Además, los Artículos 67 al 69 de la Constitución definen las funciones del Estado en relación con la política ambiental, la conservación de los recursos naturales y la promoción del desarrollo sustentable. Esto implica que el Estado tiene la responsabilidad de proteger y preservar el medio ambiente, así como de promover el desarrollo económico y social de manera que no comprometa la sostenibilidad de los recursos naturales.

El Artículo 2, inciso 22, reconoce el derecho de las personas a vivir en un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida. Esto significa que los ciudadanos tienen el derecho a vivir en un entorno que no ponga en peligro su salud ni su calidad de vida. Asimismo, el Artículo 7 establece el derecho a la protección de la salud y el deber de contribuir a su promoción y defensa, lo que implica que tanto el Estado como los ciudadanos tienen responsabilidades en la protección y promoción de la salud y el bienestar de la población.

2.2.2. Ley General del Ambiente

La Ley N° 28611, promulgada el 13 de octubre de 2005, establece un marco normativo para la gestión ambiental en el Perú. Su principal objetivo es asegurar el ejercicio del derecho a un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el desarrollo de la vida, así como promover la protección del ambiente y sus componentes en busca de mejorar la calidad de vida de la población y lograr el desarrollo sostenible del país.

Un aspecto importante de esta ley es la creación del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), administrado por la Autoridad Ambiental Nacional. El SEIA tiene como finalidad evaluar los posibles impactos ambientales significativos de actividades humanas, como construcciones, obras, servicios y políticas públicas, y regular su ejecución de acuerdo con las normas ambientales. La ley y su reglamento establecen los detalles y componentes del SEIA.

Además, la ley señala que los proyectos o actividades que no estén sujetos al SEIA deben cumplir con las normas de protección ambiental específicas de su área de influencia. Esto significa que todas las actividades que puedan tener impactos

ambientales significativos deben ser evaluadas y reguladas para garantizar la protección del ambiente y la salud de la población.

2.2.3. Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos

La Ley N° 29338, promulgada el 23 de marzo de 2009, tiene como objetivo principal regular el uso y la gestión integrada de los recursos hídricos en el Perú. Esta ley abarca diversos aspectos relacionados con el agua, incluyendo aguas superficiales, subterráneas, continentales, marítimas y atmosféricas en la medida que sea aplicable. También regula la actuación del Estado y de los particulares en la gestión de estos recursos, así como los bienes asociados a ellos.

Uno de los aspectos más importantes de esta ley es su enfoque en promover un cambio en la forma de pensar y actuar en relación con el valor, uso y gestión del agua en todos los sectores sociales y productivos. Se destaca la importancia de un aprovechamiento eficiente y productivo del agua, especialmente en el sector agrícola, con el objetivo de minimizar los impactos en los ecosistemas naturales.

Además, esta legislación busca abordar la problemática de la contaminación del agua, tanto provocada por los residuos de las poblaciones urbanas como por las actividades productivas, como la industria, la minería y la agricultura. Se promueven medidas de mitigación para reducir la contaminación de los recursos hídricos y proteger la calidad del agua en el país.

2.2.4. D.S. N° 010-2010-MINAM,.

Límites Máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicas, el decreto tiene por objeto regular la gestión las descargas de los efluentes líquidos de las actividades minero-metalúrgicas.

2.2.5. Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales

El objetivo del presente protocolo es el monitoreo de la calidad de agua de los recursos hídricos superficiales a nivel nacional y es de uso obligatorio para todos los sectores e instituciones; el cual ha sido aprobado mediante Resolución Jefatural N°010-2016-ANA. A través del monitoreo de calidad de agua se evalúa la protección y conservación de la calidad de los recursos hídricos, preservando la salud pública, medio ambiente y ecosistemas acuáticos.

2.2.6. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua

Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua establecidos por el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM son un conjunto de normativas que definen los límites permitidos para diversos parámetros y sustancias presentes en el agua. Estos estándares son emitidos por el Ministerio del Ambiente (MINAM) y tienen como objetivo principal proteger la salud humana, la flora, la fauna y el medio ambiente en general.

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

3.1. Metodología de la investigación

3.1.1. Enfoque de investigación

La investigación se realizó a través de un enfoque básico, la cual, se utilizó variables para entender mejor el comportamiento de estas y llevarlas a una recopilación, procesamiento y análisis de datos de forma sistemático.

3.1.2. Tipo de investigación

El trabajo de investigación es de tipo cuantitativo, debido a que las variables, usan pruebas de hipótesis para demostrar los tratamientos utilizados.

3.1.3. Diseño

El diseño es experimental ya que está basado en la manipulación de las variables por tratamiento para ser comparados y analizar los resultados de estas combinaciones.

3.1.4. Alcance de la investigación

La investigación se clasificó como preexperimental, ya que se orienta a replicar las causas de los eventos físicos y químicos. El objetivo principal es comprender el comportamiento de las variables y analizar las consecuencias que generan en el agua ácida.

3.1.5. Temporalidad

Se desarrollo entre los meses de abril del 2023 hasta diciembre del 2023.

3.1.6. Población y muestra

3.1.6.1. Población

La población es el agua ácida de la Relavera Quiulacocha, ubicada en el distrito de Simón Bolívar, provincia de Cerro de Pasco, Departamento Pasco.

3.1.6.2. Muestra

Se encuentra representada por 200 litros de aguas ácidas provenientes de la Relavera Quiulacocha- Cerro de Pasco. La muestra se tomó en la coordenada UTM WGS 84 (359407.25 m Este y 8817086.42 m Norte)

Figura 8

Relavera Quiulacocha. Distrito del Simón Bolívar



Nota: fotografía Aérea con drone

3.1.7. Unidad de análisis

La unidad de análisis fue el porcentaje (%) de remoción de metales de acuerdo a la concentración (mg/l) de reactivos utilizados para esta investigación.

3.1.8. Procesamiento de datos

Para el procesamiento de datos se utilizó el Microsoft Excel y SPSS Statistics.

3.1.9. Procedimiento metodológico

La investigación se clasificó como preexperimental, ya que se orienta a replicar las causas de los eventos físicos y químicos. El objetivo principal es comprender el comportamiento de las variables y analizar las consecuencias que generan en el agua ácida.

3.1.9.1. Toma de muestra

La muestra se tomó en las coordenadas N: 8817121 – E: 359511 (UTM – WGS 84), siguiendo los lineamientos de la Resolución Jefatural N°010-2016-ANA, para luego ser trasladadas al laboratorio de la escuela de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión (UNDAC), ubicada en la ciudad de Cerro de Pasco. El análisis de las muestras se realizó en el laboratorio CERTIMIN, el cual está acreditado por INACAL.

3.1.9.2. Análisis para determinar la calidad de agua

La muestra de agua acida fue trasladada hacia un laboratorio acreditado (INACAL), donde se realizó el análisis de metales totales (ICP) y metales disueltos (ICP) utilizando EPA Method 200.8 Rev. 5.4.1994. Determination of trace elements in waters and wastes by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry. Las muestras derivadas de las pruebas de tratamiento fueron analizadas de la misma manera. Previamente se realizó la medición de parámetros de campo (ph, conductividad, TDS).

Los resultados del informe de laboratorio fueron comparados con los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas establecidos en la D.S N° 010-2010-MINAM y con el D.S. N° 004-2017-MINAM, el cual define los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría-3.

3.1.9.3. Procedimiento para la determinación de la dosis optima de floculante

Primera etapa.

Para esta investigación, se utilizaron 5 niveles de pH: 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, los cuales fueron seleccionados en base al nivel de pH de operación de las plantas de tratamiento de aguas acidas. Se utilizó la lechada de cal, la cual es preparada a una concentración de 20% de hidróxido de calcio, para aumentar el nivel de pH para cada una de las pruebas de jarras empleando 100 rpm por 20 minutos en 2.5l de agua acida.

Tabla 7*Concentración del hidróxido de calcio para cada nivel de pH*

pH	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5
gr	18.10	19.70	21.00	23.20	25.95
gr/l	7.24	7.88	8.40	9.28	10.38

Fuente. Elaboración propia.

Segunda etapa

Se dosificaron los coagulantes cloruro férrico y sulfato de aluminio de manera independiente para cada prueba.

Para la preparación de la solución madre, se utilizó 10 gramos de un coagulante en 1 litro de agua destilada, seguidamente se dosificaron cada coagulante de acuerdo a la tabla 8, por un periodo de 1 minuto a 100 rpm.

Las pruebas preliminares, empleando 4 dosis de coagulante: 10 mg/l, 20 mg/l, 30 mg/l y 40 mg/l, se representados por los números 1,2,3 y 4, esto con el objetivo de encontrar una dosis óptima.

Haciendo mención a la primera etapa, la dosificación se realizó a 5 diferentes niveles de pH: 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5.

Tabla 8*Dosificación de coagulantes de cloruro férrico y sulfato de aluminio*

Dosificación	1	2	3	4
mg/l	10	20	30	40

Fuente. Elaboración propia.

La codificación de las muestras se realizará teniendo en cuenta la dosificación del coagulante y el nivel de pH empleado, tal como se muestra a continuación:

- ESP-(nivel de pH)-Fe-(número que representa la dosificación del coagulante)

En los casos en los cuales no se emplee ningún coagulante, la codificación será:

- ESP-(nivel de pH)

Tercera etapa

Preliminarmente se diseñó una concentración óptima de floculante de 5 mg/l. Posterior a la segunda etapa, se dosificó esta cantidad de floculante empleándose 40 rpm por 1 minuto y se dejó reposar por 10 minutos.

La tabla 10 indica el resumen de los insumos y el nivel de pH utilizados para la realización de las pruebas de jarra.

Tabla 9

Diseño de concentración óptima de floculante al 5.0 mg/l

PH	Floc (mg/l)	Sin coagulante	Sulfato de aluminio				Cloruro férrico			
7.5	5.0	0	x	2x	3x	4x	x	2x	3x	4x
8	5.0	0	x	2x	3x	4x	x	2x	3x	4x
8.5	5.0	0	x	2x	3x	4x	x	2x	3x	4x
9	5.0	0	x	2x	3x	4x	x	2x	3x	4x
9.5	5.0	0	x	2x	3x	4x	x	2x	3x	4x

Fuente. Elaboración propia.

3.1.9.4. Comparación de eficiencia y análisis estadístico

La eficiencia del tratamiento o porcentaje de remoción para cada una de las pruebas realizadas fue calculada de la siguiente manera:

$$E = \left(\frac{S_0 - S}{S_0} \right) \times 100 \quad (1)$$

S₀ = Concentración antes del tratamiento.

S = Concentración después del tratamiento.

La eficiencia se expresó en unidades de porcentaje (%), para luego ser comparada entre los resultados de las pruebas sin dosificar los coagulantes cloruro férrico y sulfato de aluminio y dosificando los mismos.

La evaluación de los datos de la investigación se basó en analizar las diferencias numéricas observadas antes y después de aplicar un proceso de neutralización activa utilizando lechada de cal en las aguas ácidas. El enfoque principal de este análisis fue examinar los niveles de metales presentes en el agua, los cuales deben cumplir con los valores máximos establecidos en las normativas vigentes, como el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para el agua y los Límites Máximos Permisibles (LMPs).

Adicionalmente, se recurrió al empleo de la estadística inferencial para poner a prueba la hipótesis planteada en la investigación. Esto se llevó a cabo mediante la aplicación de la prueba T de Student, la cual se realizó con un nivel de confianza del 95%. Es importante destacar que, tal como señala Sánchez en su estudio de 2015, la validez de la prueba T de Student depende en gran medida de que los datos de las muestras cumplan con una distribución normal.

Para garantizar esta condición, se realizó un análisis de normalidad utilizando la prueba de Shapiro-Wilk, especialmente diseñada para muestras pequeñas con menos de 50 individuos. Esta prueba se aplicó tanto a las diferencias observadas en las mediciones antes del tratamiento como a las mediciones posteriores al tratamiento, con el fin de asegurarse de que los datos cumplieran con el supuesto de normalidad necesario para la aplicación adecuada de la prueba T-Student.

3.2. Resultados

3.2.1. Resultados del análisis de metales totales y disueltos del agua acida

A continuación, se muestran cada uno de los resultados de la concentración de metales presentes en el agua acida de la relavera Quiulacocha obtenido mediante análisis de laboratorio acreditado. Los parámetros, como se explica en la metodología, están incluidos en los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas establecidos en la D.S N° 010-2010-MINAM y con el D.S. N° 004-2017-MINAM, el cual define los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría-3.

Figura 9

Ubicación del punto de muestreo



Fuente. Google Earth.

Tabla 10

Resultados de la concentración de metales del agua acida – relavera Quiulacochoa

Parámetros	ESP-0	LMP	ECA
pH (unidad de pH)	2.66	6.0 – 9.0	6.0 – 9.0
Aluminio Total (Al)	16.907	-	5.0
Arsénico Total (As)	1.0692	0.08	0.1
Bario Total (Ba)	0.02051	-	0.7
Berilio Total (Be)	0.0028	-	0.1
Boro Total (B)	0.042	-	1.0
Cadmio Total (Cd)	0.41659	0.05	0.01
Cobalto Total (Co)	0.03724	-	0.2
Cobre Total (Cu)	2.171	0.4	0.05
Cromo Total (Cr)	0.018	-	0.1
Hierro Total (Fe)	969.78	-	5.0
Litio Total (Li)	0.1835	-	2.5
Magnesio Total (Mg)	1055.3487	-	250
Manganeso Total (Mn)	964.34562	-	0.2
Mercurio Total (Hg)	<0.0001	0.0016	0.001
Níquel Total (Ni)	0.1214	-	0.2
Plomo Total (Pb)	0.23453	0.16	0.05
Selenio Total (Se)	0.004	-	0.02
Zinc Total (Zn)	345.653	1.2	2.0
Hierro Disuelto (Fe)	967.25	1.6	-

Fuente. Elaboración propia.

Los resultados de campo indican que el pH presenta un valor de 2.66, siendo un pH ácido y encontrándose fuera del rango establecido en los Límites Máximos Permisibles y los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría-3. Los resultados de laboratorio presentan valores que superan LMP y los ECA c3, según corresponda, en los parámetros de: Aluminio Total (Al), Arsénico Total (As), Cadmio Total (Cd), Cobre Total (Cu), Hierro Total (Fe), Magnesio Total (Mg), Manganeso Total (Mn), Plomo Total (Pb), Zinc Total (Zn) y Hierro Disuelto (Fe).

3.2.2. Determinación de la dosis óptima de coagulante

3.2.2.1. Dosificación de Cloruro Férrico

Los resultados de las pruebas preliminares, sin dosificar cloruro férrico y dosificando 4 dosis de cloruro férrico: 10 mg/l, 20 mg/l, 30 mg/l y 40 mg/l en 5 niveles de pH: 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 11

Resultados de concentración de metales del agua acida - dosificando cloruro férrico en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5

Parámetros	ESP-7.5	ESP-7.5-Fe-1	ESP-7.5-Fe-2	ESP-7.5-Fe-3	ESP-7.5-Fe-4	ESP-8.0	ESP-8.0-Fe-1	ESP-8.0-Fe-2	ESP-8.0-Fe-3	ESP-8.0-Fe-4	ESP-8.5	ESP-8.5-Fe-1	ESP-8.5-Fe-2	ESP-8.5-Fe-3	ESP-8.5-Fe-4
Aluminio Total (Al)	0.567	0.048	0.044	0.045	0.049	0.232	0.0835	0.0295	0.034	0.04	0.039	0.019	0.015	0.023	0.031
Arsénico Total (As)	0.038	0.0034	0.0026	0.0026	0.003	0.019	0.0041	0.0028	0.0036	0.0043	0.0057	0.0037	0.0028	0.0038	0.0038
Bario Total (Ba)	0.01968	0.01949	0.01946	0.01955	0.01951	0.01714	0.01708	0.01697	0.01702	0.01708	0.01618	0.01614	0.01608	0.01615	0.0165
Berilio Total (Be)	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Boro Total (B)	0.022	0.02	0.02	0.022	0.023	0.024	0.023	0.022	0.024	0.024	0.016	0.015	0.014	0.014	0.015
Cadmio Total (Cd)	0.04543	0.00503	0.00409	0.005	0.0058	0.03024	0.00173	0.00165	0.00281	0.00264	0.02542	0.00037	0.00027	0.00141	0.00051
Cobalto Total (Co)	0.00098	0.00063	0.00071	0.00063	0.00084	0.00081	0.00044	0.00046	0.00054	0.00055	0.00043	0.00042	0.00037	0.000415	0.000465
Cobre Total (Cu)	0.0958	0.0744	0.0653	0.0687	0.0716	0.0754	0.0703	0.0677	0.0753	0.0729	0.0658	0.0583	0.0501	0.0506	0.0559
Cromo Total (Cr)	0.0024	0.0022	0.0021	0.0021	0.0024	0.0021	0.0021	0.002	0.002	0.002	0.0016	0.0015	0.0016	0.0015	0.0016
Hierro Total (Ai)	12.75	1.9	1.13	1.16	1.21	2.33	1.06	1.05	1.29	1.17	1.64	1.05	1.34	0.96	1.01
Litio Total (Li)	0.1317	0.1309	0.1313	0.1341	0.1375	0.1334	0.1334	0.1328	0.1355	0.1372	0.1288	0.1266	0.1248	0.1255	0.1256
Magnesio Total (Mg)	880.3397	813.213	809.2769	867.399	869.3318	840.4118	797.3491	786.7936	837.0491	843.0901	742.6844	637.5591	633.9026	680.4023	689.7692
Manganeso Total (Mn)	148.8932	64.14902	53.56275	60.32579	63.0298	99.5193	34.29159	14.34962	15.86348	15.73458	78.57721	22.21556	8.5096	25.22639	26.54048
Mercurio Total (Hg)	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Níquel Total (Ni)	0.0014	0.0011	0.0015	0.0014	0.0015	0.0012	0.0008	0.0009	0.0009	0.0008	0.0009	0.0008	0.0007	0.0009	0.00075
Plomo Total (Pb)	0.00852	0.00165	0.00081	0.00086	0.00094	0.00528	0.00127	0.00066	0.00087	0.00095	0.00324	0.00113	0.00051	0.00088	0.00098
Selenio Total (Se)	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
Zinc Total (Zn)	16.442	0.298	0.292	0.312	0.346	8.442	0.217	0.214	0.215	0.239	1.677	0.176	0.121	0.129	0.176
Hierro Disuelto (Fe)	1.78	0.02	0.02	0.02	0.01	0.06	0.02	0.01	0.02	0.02	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	0.02

Fuente. Elaboración propia.

Parámetros	ESP-9.0	ESP-9.0-Fe-1	ESP-9.0-Fe-2	ESP-9.0-Fe-3	ESP-9.0-Fe-4	ESP-9.5	ESP-9.5-Fe-1	ESP-9.5-Fe-2	ESP-9.5-Fe-3	ESP-9.5-Fe-4
Aluminio Total (Al)	0.05	0.037	0.031	0.043	0.045	0.06	0.035	0.028	0.043	0.046
Arsénico Total (As)	0.0044	0.0034	0.0025	0.0029	0.0042	0.0044	0.0041	0.0035	0.0037	0.0043
Bario Total (Ba)	0.01681	0.01671	0.01649	0.01666	0.01675	0.01628	0.01605	0.016	0.01601	0.01621
Berilio Total (Be)	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Boro Total (B)	0.02	0.0195	0.0185	0.019	0.0195	0.024	0.024	0.023	0.024	0.024
Cadmio Total (Cd)	0.01876	0.00022	0.00014	0.00019	0.00038	0.00198	0.00032	0.00027	0.00029	0.00029
Cobalto Total (Co)	0.00048	0.0004	0.00028	0.00029	0.00038	0.00051	0.00046	0.00046	0.0005	0.0005
Cobre Total (Cu)	0.0521	0.0403	0.0277	0.0298	0.0329	0.0388	0.0289	0.0266	0.0269	0.0312
Cromo Total (Cr)	0.0015	0.0013	0.0012	0.0015	0.0016	0.0012	0.0011	0.0009	0.0012	0.0011
Hierro Total (Ai)	1.39	0.82	0.98	0.64	0.86	1.02	1.07	0.74	0.92	0.97
Litio Total (Li)	0.1247	0.1225	0.1217	0.1225	0.1239	0.1408	0.1405	0.14	0.1403	0.1395
Magnesio Total (Mg)	460.3088	377.1757	373.2366	424.9257	495.2064	362.9396	217.7742	197.1536	191.0041	208.6317
Manganeso Total (Mn)	39.2864	3.214	3.03776	3.68584	5.53687	5.74037	1.58537	1.53749	1.56281	1.72448
Mercurio Total (Hg)	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Níquel Total (Ni)	0.0009	0.0008	0.0007	0.0009	0.0007	0.0006	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Plomo Total (Pb)	0.00213	0.00062	0.0005	0.00097	0.00097	0.00154	0.0006	0.00043	0.00078	0.0008
Selenio Total (Se)	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
Zinc Total (Zn)	0.679	0.114	0.08	0.082	0.203	0.409	0.113	0.071	0.126	0.143
Hierro Disuelto (Fe)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

Fuente. Elaboración propia.

La tabla 11 muestra los resultados de laboratorio de los parámetros que están incluidos en los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas establecidos en la D.S N° 010-2010-MINAM y con el D.S. N° 004-2017-MINAM, el cual define los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría-3.

De los resultados de la tabla anterior se puede observar que varios análisis se encuentran por debajo del límite de detección que es tomado en base al Límite de Cuantificación del Método LCM, por tanto, que un resultado se encuentre por debajo del límite de detección es señal que la concentración del elemento es mínima y que no tendría ningún efecto a la salud de las personas o el ambiente.

3.2.2.2. Dosificación de Sulfato de Aluminio

Los resultados de las pruebas preliminares, sin dosificar sulfato de aluminio y dosificando 4 dosis de este coagulante: 10 mg/l, 20 mg/l, 30 mg/l y 40 mg/l en 5 niveles de pH: 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 12

Resultados de concentración de metales del agua acida - dosificando sulfato de aluminio en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5

Parámetros	ESP-7.5	ESP-7.5-AI-1	ESP-7.5-AI-2	ESP-7.5-AI-3	ESP-7.5-AI-4	ESP-8.0	ESP-8.0-AI-1	ESP-8.0-AI-2	ESP-8.0-AI-3	ESP-8.0-AI-4	ESP-8.5	ESP-8.5-AI-1	ESP-8.5-AI-2	ESP-8.5-AI-3	ESP-8.5-AI-4
Aluminio Total (Al)	0.567	0.063	0.075	0.078	0.084	0.232	0.039	0.04	0.038	0.037	0.039	0.01	0.015	0.016	0.018
Arsénico Total (As)	0.038	0.0027	0.0026	0.0029	0.003	0.019	0.0049	0.0045	0.0048	0.0051	0.0057	0.0031	0.0029	0.0037	0.0037
Bario Total (Ba)	0.01968	0.01911	0.01957	0.01975	0.01991	0.01714	0.01668	0.01842	0.01993	0.01998	0.01618	0.01611	0.01608	0.01629	0.01655
Berilio Total (Be)	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Boro Total (B)	0.022	0.022	0.021	0.022	0.023	0.024	0.023	0.022	0.021	0.021	0.016	0.014	0.012	0.014	0.013
Cadmio Total (Cd)	0.04543	0.00563	0.00503	0.00561	0.00582	0.03024	0.00252	0.00218	0.00308	0.00363	0.02542	0.00033	0.00024	0.00051	0.00045
Cobalto Total (Co)	0.00098	0.00073	0.00071	0.00072	0.00075	0.00081	0.00092	0.00082	0.00087	0.00066	0.00043	0.00051	0.00049	0.00042	0.00049
Cobre Total (Cu)	0.0958	0.0419	0.0389	0.0411	0.0498	0.0754	0.036	0.0206	0.0257	0.0288	0.0658	0.0358	0.0198	0.0243	0.0268
Cromo Total (Cr)	0.0024	0.0012	0.0012	0.0013	0.0019	0.0021	0.0005	0.0004	0.0009	0.0016	0.0016	0.0006	0.0003	0.001	0.0013
Hierro Total (Ai)	12.75	5.03	4.88	5.08	5.09	2.33	0.95	0.93	1.04	1.07	1.64	0.87	0.85	1.01	1.06
Litio Total (Li)	0.1317	0.1317	0.1326	0.1329	0.1375	0.1334	0.1335	0.1332	0.1332	0.1395	0.1288	0.1303	0.1323	0.1249	0.1235
Magnesio Total (Mg)	880.3397	877.0902	825.4188	840.691	849.04	840.4118	775.2657	744.6262	789.4021	792.402	742.6844	671.157	600.8735	627.6069	630.7673
Manganeso Total (Mn)	148.8932	66.4256	54.1857	62.56791	63.28312	99.5193	25.6861	23.94302	33.06551	33.64908	78.57721	4.49071	2.2542	4.16528	4.89473
Mercurio Total (Hg)	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Níquel Total (Ni)	0.0014	0.0014	0.0016	0.0013	0.0013	0.0012	0.0012	0.0011	0.0012	0.0012	0.0009	0.0007	0.0006	0.0006	0.0007
Plomo Total (Pb)	0.00852	0.00084	0.0002	0.0006	0.00133	0.00528	0.0005	0.0002	0.00079	0.0009	0.00324	0.00022	0.00021	0.00032	0.00049
Selenio Total (Se)	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
Zinc Total (Zn)	16.442	2.358	1.982	2.208	2.38	8.442	1.357	1.139	1.151	1.233	1.677	0.208	0.105	0.137	0.148
Hierro Disuelto (Fe)	1.78	1.55	1.23	1.3	1.24	0.06	0.04	0.02	0.02	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

Fuente. Elaboración propia.

Parámetros	ESP-9.0	ESP-9.0-AI-1	ESP-9.0-AI-2	ESP-9.0-AI-3	ESP-9.0-AI-4	ESP-9.5	ESP-9.5-AI-1	ESP-9.5-AI-2	ESP-9.5-AI-3	ESP-9.5-AI-4
Aluminio Total (Al)	0.05	0.027	0.034	0.039	0.058	0.06	0.015	0.02	0.022	0.039
Arsénico Total (As)	0.0044	0.004	0.0025	0.0029	0.0047	0.0044	0.0031	0.0028	0.0028	0.0036
Bario Total (Ba)	0.01681	0.01979	0.01734	0.01622	0.01981	0.01628	0.01682	0.01641	0.01709	0.01723
Berilio Total (Be)	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Boro Total (B)	0.02	0.02	0.0175	0.0185	0.018	0.024	0.026	0.023	0.023	0.023
Cadmio Total (Cd)	0.01876	0.00041	0.00011	0.00076	0.00076	0.00198	0.00055	0.00024	0.00025	0.00026
Cobalto Total (Co)	0.00048	0.00047	0.00045	0.00046	0.00051	0.00051	0.0005	0.00045	0.00058	0.00065
Cobre Total (Cu)	0.0591	0.035	0.0159	0.0239	0.0259	0.0388	0.0133	0.0126	0.0374	0.0379
Cromo Total (Cr)	0.0015	0.0014	0.0016	0.0015	0.0012	0.0012	0.0009	0.0007	0.001	0.0015
Hierro Total (Ai)	1.39	0.91	0.43	0.56	0.57	1.02	0.49	0.38	0.39	0.44
Litio Total (Li)	0.1247	0.1255	0.1256	0.1225	0.1221	0.1408	0.1368	0.1323	0.1316	0.1322
Magnesio Total (Mg)	460.3088	270.8724	268.2625	292.8035	304.4084	362.9396	135.5657	122.2578	144.622	145.335
Manganeso Total (Mn)	39.2864	4.18207	2.11378	2.87518	2.92781	5.74037	3.35147	1.51127	1.6808	1.73787
Mercurio Total (Hg)	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Níquel Total (Ni)	0.0009	0.0007	0.0009	0.001	0.0007	0.0006	0.0009	0.0007	0.0009	0.0008
Plomo Total (Pb)	0.00213	0.00076	0.00019	0.00029	0.00062	0.00154	0.00055	0.0001	0.00085	0.00084
Selenio Total (Se)	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
Zinc Total (Zn)	0.679	0.171	0.139	0.145	0.184	0.409	0.093	0.043	0.065	0.138
Hierro Disuelto (Fe)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

Fuente. Elaboración propia.

De los resultados de la tabla 12 se puede observar que se cuenta con análisis por debajo del límite de detección que es tomado en base al Límite de Cuantificación del Método LCM, por tanto, que un resultado se encuentre por debajo del límite de detección es señal que la concentración del elemento es mínima y que no tendría ningún efecto a la salud de las personas o el ambiente.

3.2.3. Porcentaje de remoción de metales dosificando y sin dosificar el coagulante

3.2.3.1. Cloruro férrico (20mg/l)

Se realizaron 3 repeticiones de cada prueba dosificando cloruro férrico en una concentración óptima determinada en las pruebas preliminares.

En base a los resultados del análisis de laboratorio de la concentración de metales presentes en el agua tratada con y sin el uso de cloruro férrico, se calcularon los porcentajes de remoción de cada metal analizado.

3.2.3.2. Sulfato de aluminio (20mg/l)

Se realizaron 3 repeticiones de cada prueba dosificando sulfato de aluminio en una concentración óptima determinada en las pruebas preliminares.

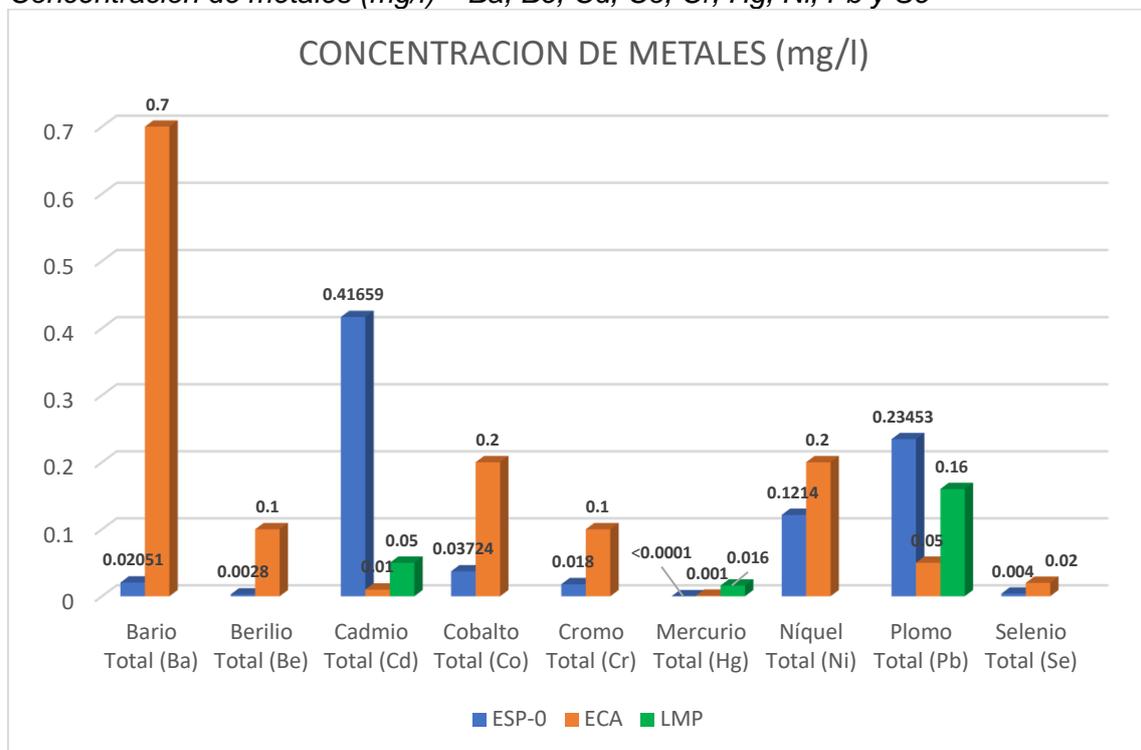
En base a los resultados del análisis de laboratorio de la concentración de metales presentes en el agua tratada con y sin el uso de sulfato de aluminio, se calcularon los porcentajes de remoción de cada metal analizado.

Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados

4.1. Evaluación de la calidad del agua de la relavera Quiulacochoa

Figura 10

Concentración de metales (mg/l) – Ba, Be, Cd, Co, Cr, Hg, Ni, Pb y Se



Fuente. Elaboración propia.

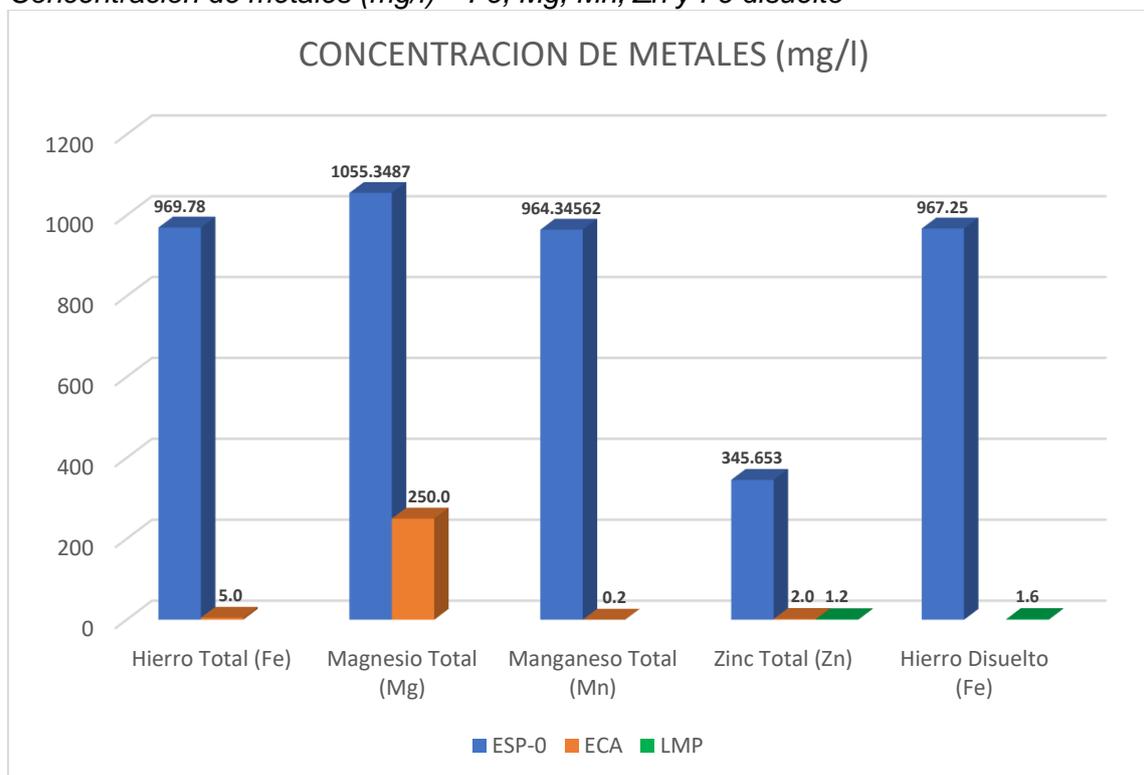
En la figura 10, se observa una gráfica de barras de los metales Bario (B), Berilio (Be), Cadmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), Plomo (Pb) y Selenio (Se). Se puede observar que, para el caso de Bario, Berilio, Cobalto, Cromo, Níquel y Selenio presentan una concentración de 0.02051 mg/l, 0.0028 mg/l, 0.03724 mg/l, 0.018 mg/l, 0.1214 mg/l y 0.004 mg/l respectivamente; indicando que, para estos parámetros, no existe superación del Estándar de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría-3 y los Límites Máximos Permisibles.

En el caso de Cadmio, la concentración de este metal en el agua acida es de 0.41659 mg/l que indica la superación de Estándar de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría-3 y el Límite Máximo Permisible, superándolos en 4065.90% y 733.18% respectivamente.

El Plomo tiene una concentración de 0.23453 mg/l, valor que supera el Estándar de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría-3 y el Límite Máximo Permissible para este metal; evidenciando una superación de 409.06% del ECA-C3 y 46.58% del LMP.

Figura 11

Concentración de metales (mg/l) – Fe, Mg, Mn, Zn y Fe disuelto



Fuente. Elaboración propia.

En la figura 11, se muestra una gráfica de barras de los metales Hierro (Fe), Magnesio (Mg), Manganeseo (Mn), Zinc (Zn) y Hierro disuelto (Fe). Se puede observar que, en el caso de Hierro, la concentración de este metal en el agua acida es de 969.78 mg/l, que indica la superación de Estándar de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría-3, con una superación de 19,245.8%.

En el caso del magnesio, tiene una concentración de 1055.3487 mg/l, valor que supera el Estándar de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría-3, cuyo valor es de 250.0 mg/l; en 322.14%.

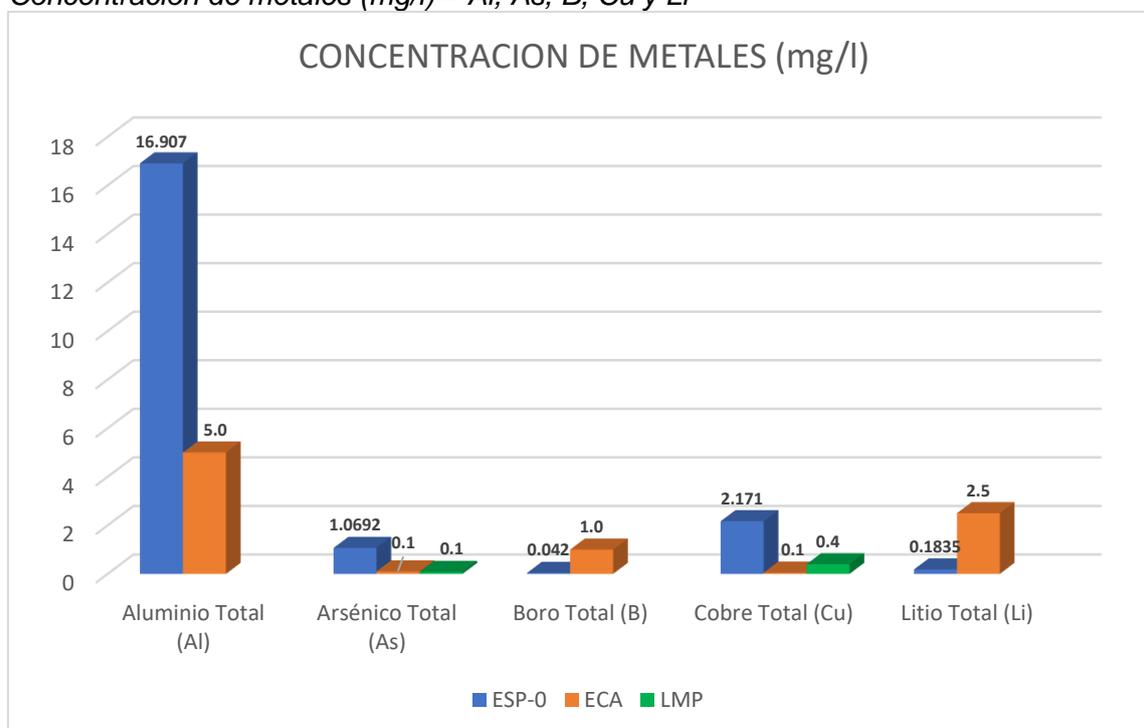
El Manganeseo tiene una concentración de 964.34562 mg/l, valor que supera el Estándar de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría-3, cuyo valor es de solo 0.2 mg/l; en 482,072.81%.

En el caso del Zinc, la concentración de este metal en el agua acida es de 345.653 mg/l, que representa una superación del ECA-C3 de 17,182.65 y en el caso del LMP, la superación de este parámetro es de 288,043.17%.

El hierro disuelto presenta una concentración de 967.25 mg/l, valor que supera al Límite Máximo permisible en 60,353.13%, siendo el LMP un valor de 1.6 mg/l.

Figura 12

Concentración de metales (mg/l) – Al, As, B, Cu y Li



Fuente. Elaboración propia.

En la figura 12, se muestra una gráfica de barras de los metales Aluminio (Al), Arsénico (As), Boro (Bo), Cobre (Cu) y Litio (Li).

Se puede observar que, para el caso de Boro y Litio presentan una concentración de 0.042 mg/l y 0.1835 mg/l respectivamente; indicando que no existe superación del Estándar de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría-3 para esos metales.

En el caso de Aluminio, la concentración de este metal en el agua acida es de 16.907 mg/l que indica la superación de Estándar de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría-3 cuyo valor es de 5.0 mg/l, siendo superado en 238.14%.

El Arsénico tiene una concentración de 1.0692 mg/l, valor que supera el Estándar de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría-3 y el Límite Máximo Permisible para este metal; evidenciando una superación de 969.20% para ambos casos.

En el caso del Cobre, la concentración de este metal en el agua acida es de 2.171 mg/l, que representa una superación del ECA-C3 de 2,071% y en el caso del LMP, la superación de este parámetro es de 442.75%.

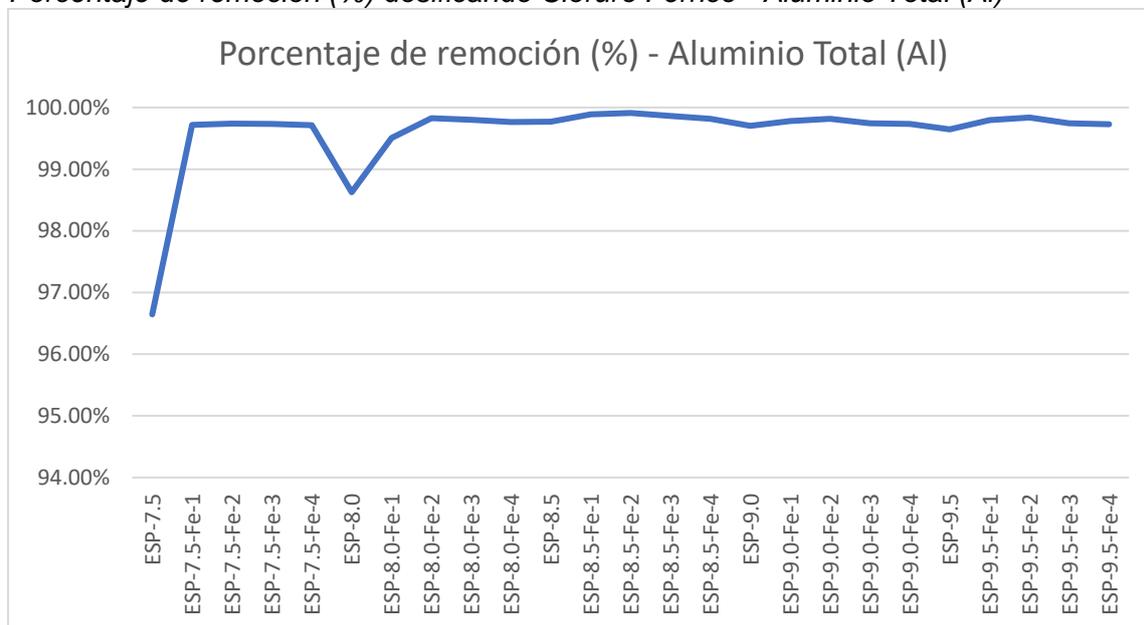
4.2. Determinación de la dosis óptima de coagulante

4.2.1. Cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio

Aluminio Total (Al)

Figura 13

Porcentaje de remoción (%) dosificando Cloruro Férrico - Aluminio Total (Al)



Fuente. Elaboración propia.

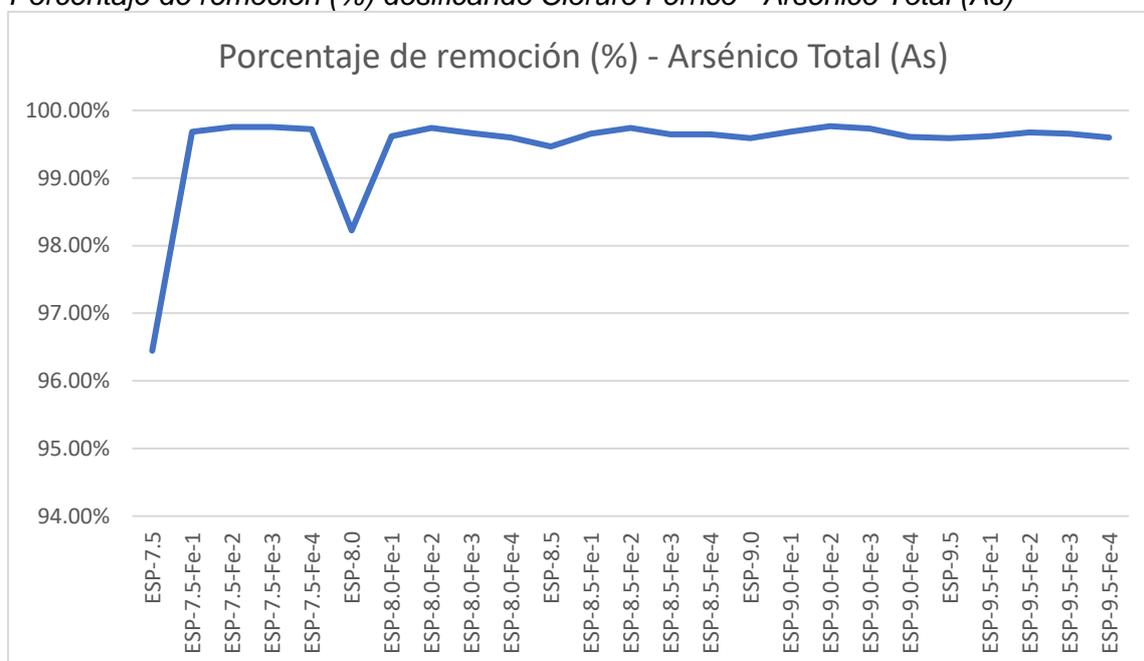
Se observa que el porcentaje de remoción del aluminio es mayor conforme se incrementa el nivel de pH, sin embargo, empieza a mantenerse después de alcanzar un nivel de 8.5 de pH.

Adicionalmente, se observa un mayor porcentaje de remoción del metal al dosificar el coagulante cloruro férrico a una concentración número 2, es decir, una concentración de 20mg/l, obteniendo un máximo porcentaje de remoción de 99.91, aun nivel de 8.5 de pH.

Arsénico total

Figura 14

Porcentaje de remoción (%) dosificando Cloruro Férrico - Arsénico Total (As)



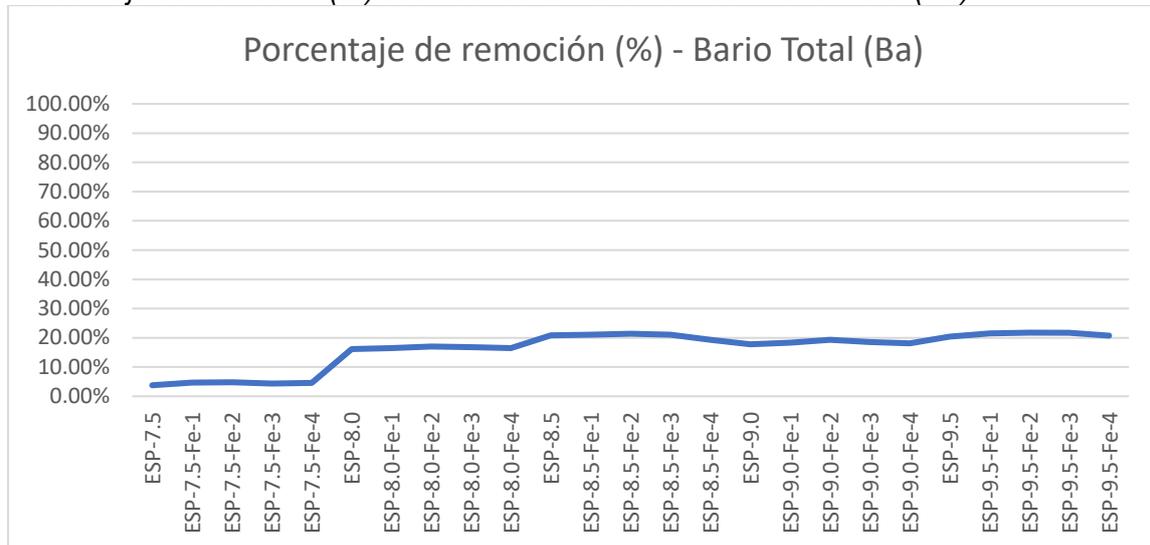
Fuente. Elaboración propia.

Se observa que el porcentaje de remoción de arsénico es mayor conforme se incrementa el nivel de pH, sin embargo, empieza a mantenerse después de alcanzar un nivel de 8.5 de pH. Adicionalmente, se observa un mayor porcentaje de remoción del metal al dosificar el coagulante cloruro férrico a una concentración número 2, es decir, una concentración de 20mg/l, obteniendo un máximo porcentaje de remoción de 99.77, aun nivel de 9.0 de pH.

Bario total

Figura 15

Porcentaje de remoción (%) dosificando Cloruro Férrico - Bario Total (Ba)



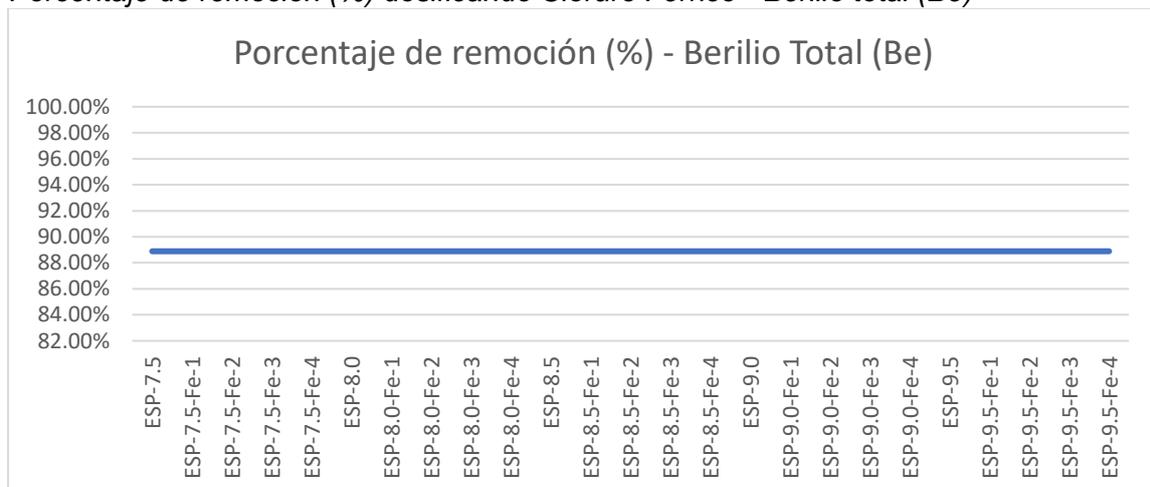
Fuente. Elaboración propia.

En la figura 15, se observa que el porcentaje de remoción de bario es mayor conforme se incrementa el nivel de pH, con una tendencia a mantenerse o disminuir a partir de 7.5 de Ph. No se observa una dosis optima de coagulante para este metal, ya que se evidencia un comportamiento diferente entre cada nivel de pH.

Berilio total (Be)

Figura 16

Porcentaje de remoción (%) dosificando Cloruro Férrico - Berilio total (Be)



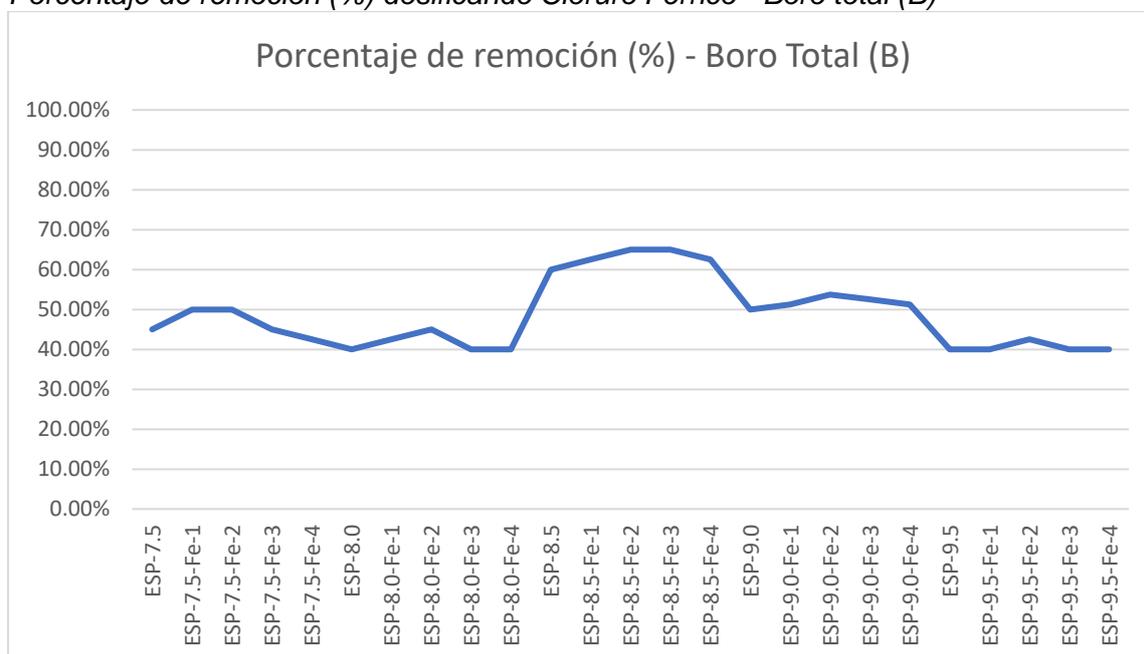
Fuente. Elaboración propia.

Con respecto al Berilio total (Be), se observa que no existe una mejora en el porcentaje de remoción de este metal conforme se incrementa el pH, esto debido a que los resultados de laboratorio indican que la concentración de berilio está por debajo del límite de detección del método empleado para su análisis, mostrándose el mismo porcentaje de remoción para este caso específico.

Boro total (B)

Figura 17

Porcentaje de remoción (%) dosificando Cloruro Férrico - Boro total (B)



Fuente. Elaboración propia.

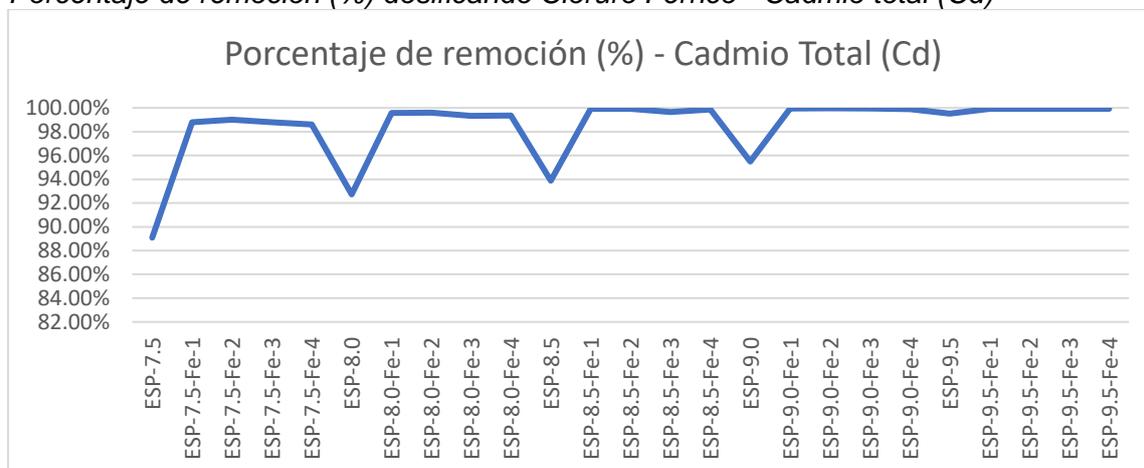
Con respecto al boro (B), Se observa que el porcentaje de remoción es mayor conforme se incrementa el nivel de pH, hasta alcanzar el nivel de 8.5. A partir de este valor, el porcentaje de remoción empieza a disminuir.

Asimismo, se observa un mayor porcentaje de remoción del metal al dosificar el coagulante cloruro férrico a una concentración número 2 y 3, es decir, una concentración de 20mg/l y 30mg/l respectivamente, obteniendo un máximo porcentaje de remoción máximo de 65, aun nivel de 8.5 de pH.

Cadmio total (Cd)

Figura 18

Porcentaje de remoción (%) dosificando Cloruro Férrico - Cadmio total (Cd)



Fuente. Elaboración propia.

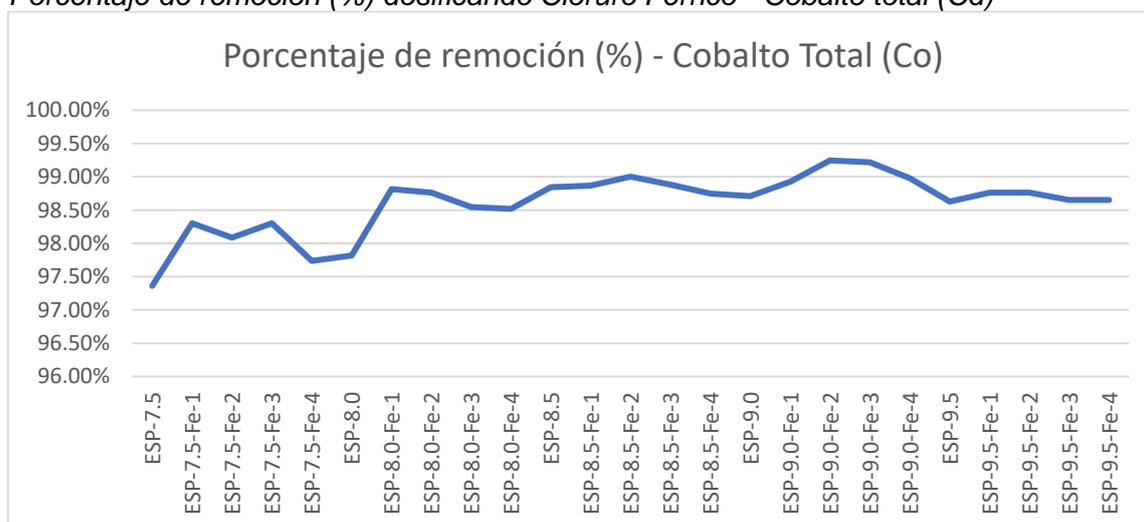
Con respecto al Cadmio total (Cd), en la figura 18 se observa que el porcentaje de remoción es mayor conforme se incrementa el nivel de pH.

Adicionalmente, se observa un mayor porcentaje de remoción del metal al dosificar el coagulante cloruro férrico a una concentración número 2, es decir, una concentración de 20mg/l, obteniendo un máximo porcentaje de remoción de 99.94, aun nivel de 9.5 de pH.

Cobalto total (Co)

Figura 19

Porcentaje de remoción (%) dosificando Cloruro Férrico - Cobalto total (Cd)



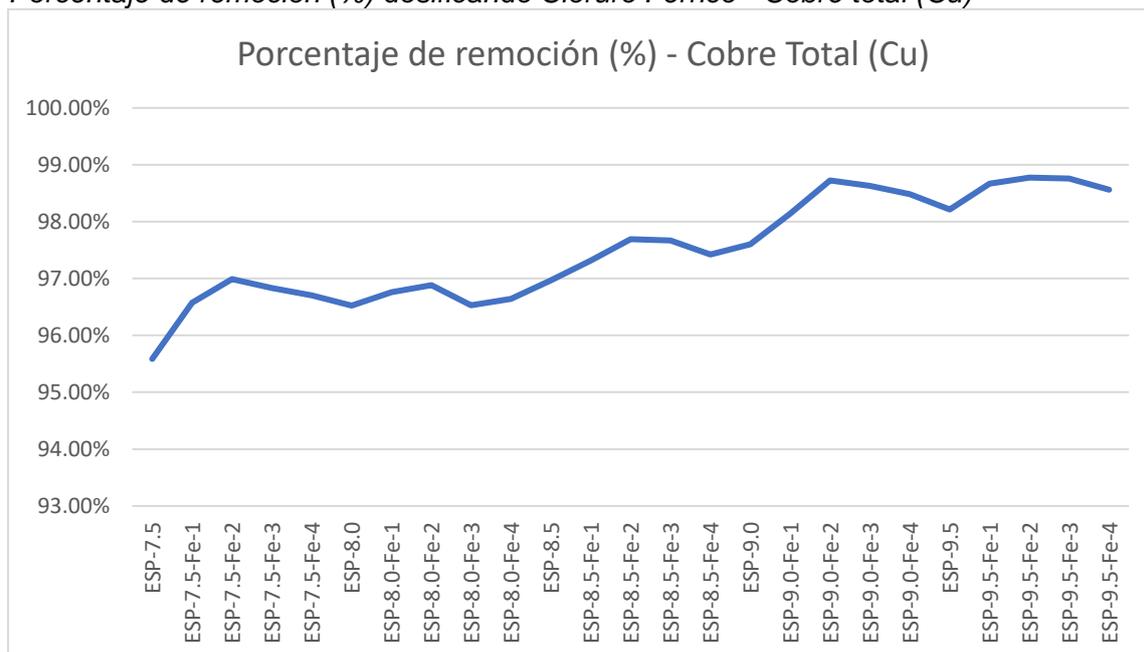
Fuente. Elaboración propia

Con respecto al cobalto (Co), Se observa que el porcentaje de remoción es mayor conforme se incrementa el nivel de pH, hasta alcanzar el nivel de 9.0. A partir de este valor, el porcentaje de remoción empieza a disminuir.

Cobre total (Cu)

Figura 20

Porcentaje de remoción (%) dosificando Cloruro Férrico - Cobre total (Cu)



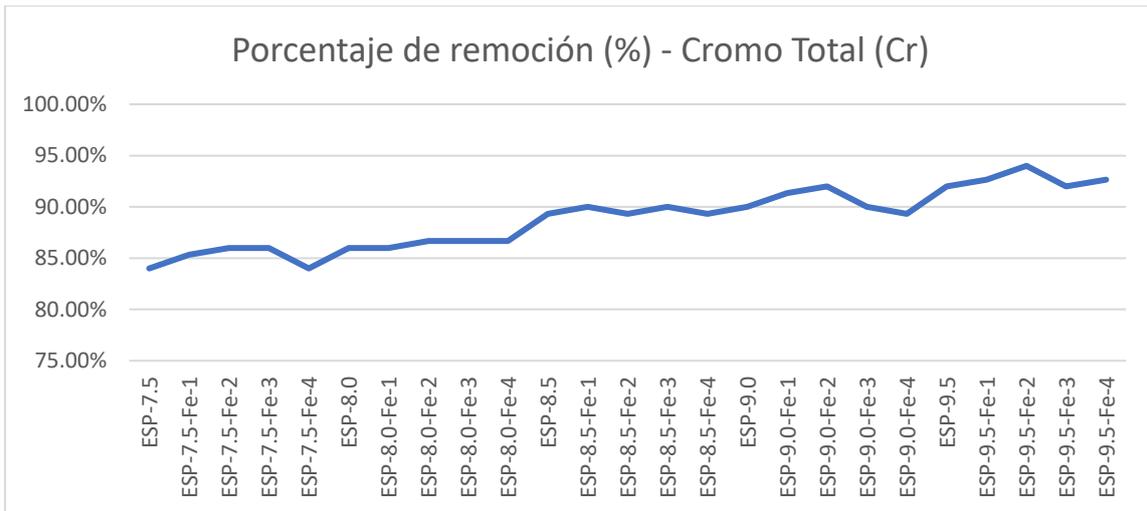
Fuente. Elaboración propia

Se observa que el porcentaje de remoción de cobre es mayor conforme se incrementa el nivel de pH. Adicionalmente, se observa un mayor porcentaje de remoción del metal al dosificar el coagulante cloruro férrico a una concentración número 2, es decir, una concentración de 20mg/l, obteniendo un máximo porcentaje de remoción de 98.77, aun nivel de 9.5 de pH.

Cromo total (Cr)

Figura 21

Porcentaje de remoción (%) dosificando Cloruro Férrico - Cromo total (Cr)



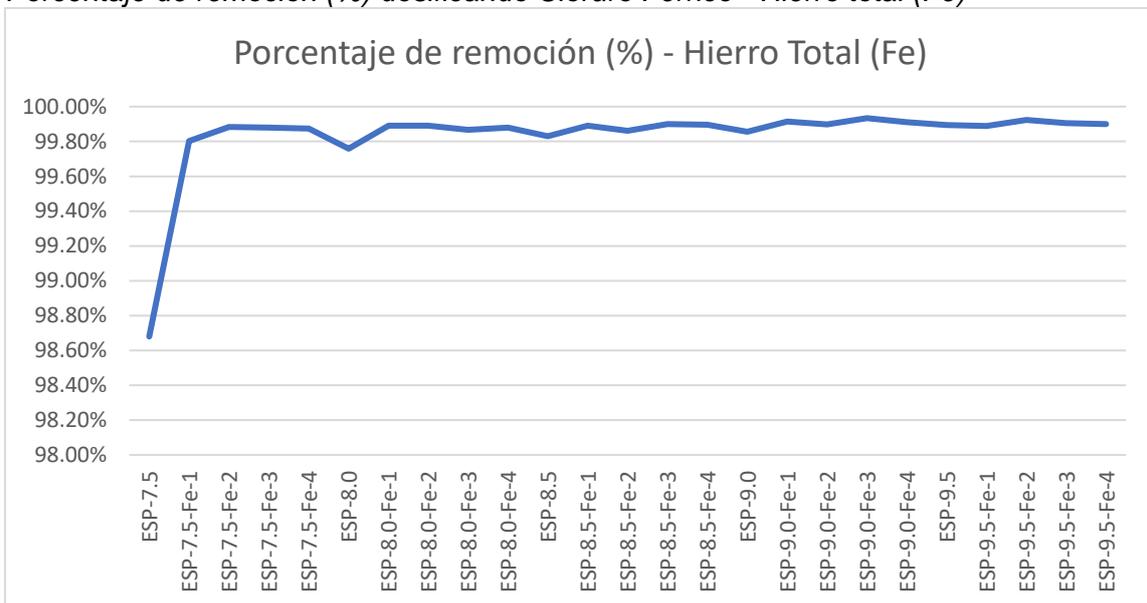
Fuente. Elaboración propia

Con respecto al cromo total (Cr), en la figura 21 se observa que el porcentaje de remoción es mayor conforme se incrementa el nivel de pH, hasta alcanzar el nivel de 8.5.

Hierro total (Fe)

Figura 22

Porcentaje de remoción (%) dosificando Cloruro Férrico - Hierro total (Fe)



Fuente. Elaboración propia

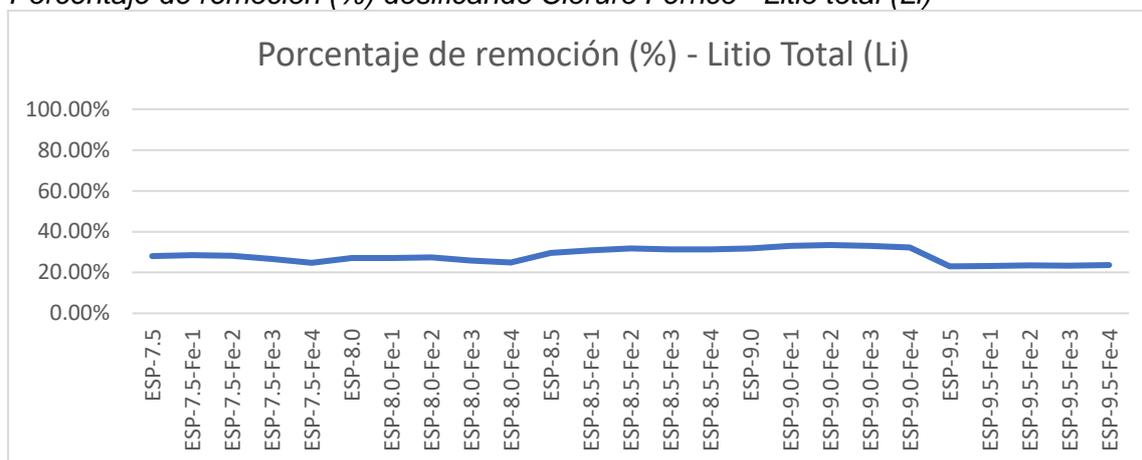
Con respecto al Hierro total (Fe), Se observa que al alcanzar un nivel de pH de 7.5, la remoción de este metal es alta, obteniendo un valor de 98.68. Conforme aumenta el nivel de pH, el porcentaje de remoción también se incrementa, alcanzando su valor máximo a un nivel de pH de 9.0. Asimismo, se observa un mayor porcentaje de remoción

del metal al dosificar el coagulante cloruro férrico a una concentración número 2, es decir, una concentración de 20mg/l.

Litio total (Li)

Figura 23

Porcentaje de remoción (%) dosificando Cloruro Férrico - Litio total (Li)



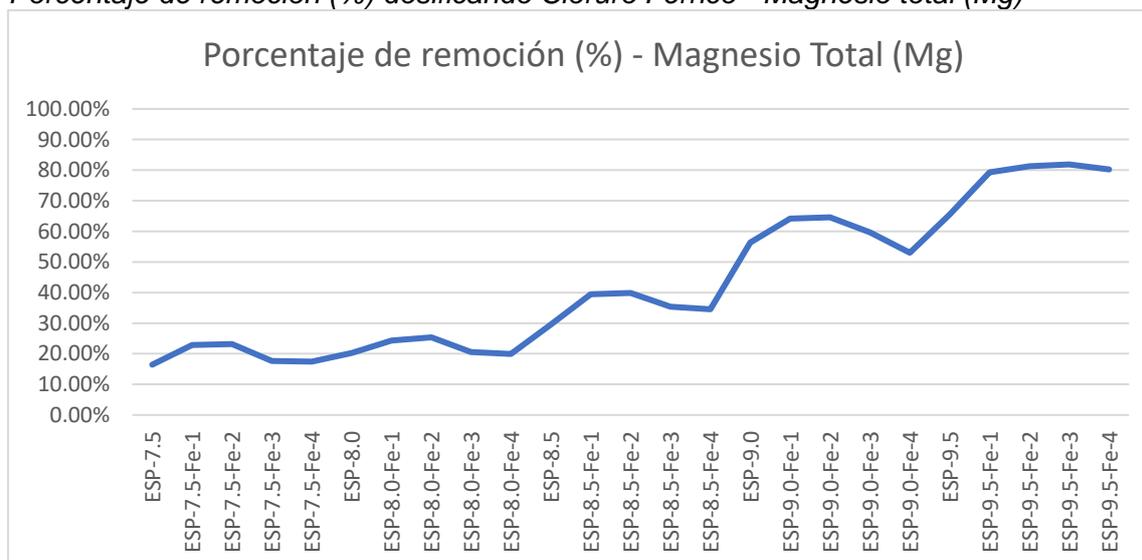
Fuente. Elaboración propia

Con respecto al Litio (Li), la gráfica indica que el porcentaje de remoción de este metal no tiene un comportamiento de tendencia a disminuir o aumentar conforme se incrementa el nivel de pH.

Magnesio total (Mg)

Figura 24

Porcentaje de remoción (%) dosificando Cloruro Férrico - Magnesio total (Mg)



Fuente. Elaboración propia

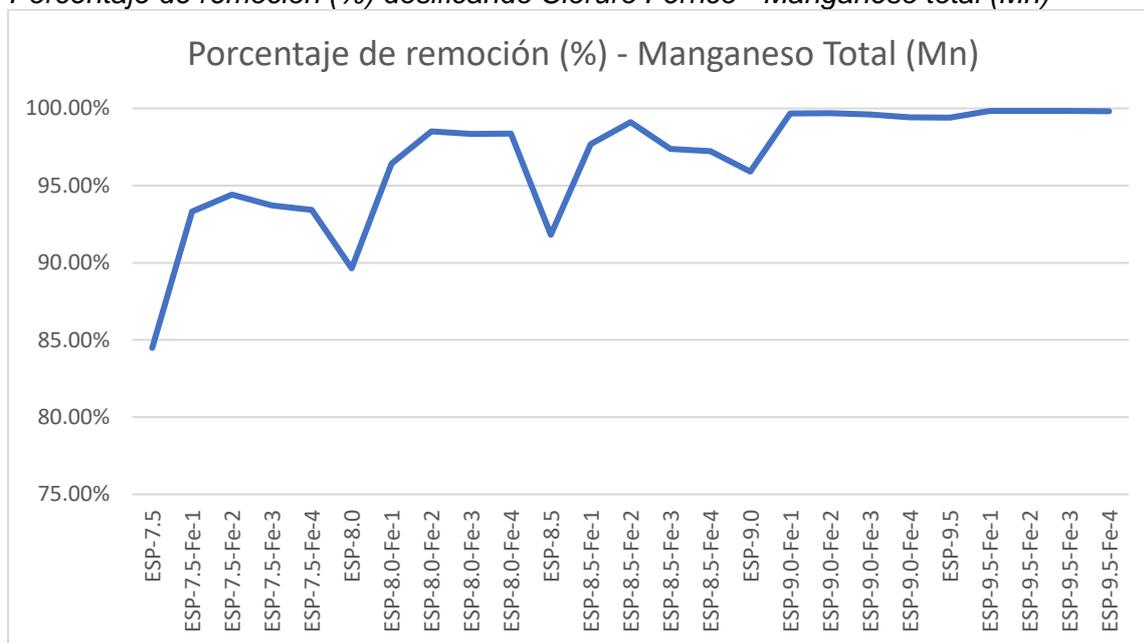
Con respecto al Magnesio (Mg), Se observa que el porcentaje de remoción de este metal visiblemente mayor conforme se aumenta el nivel de pH.

Asimismo, se observa un mayor porcentaje de remoción del metal al dosificar el coagulante cloruro férrico a una concentración número 2, es decir, una concentración de 20mg/l.

Manganeso total (Mn)

Figura 25

Porcentaje de remoción (%) dosificando Cloruro Férrico - Manganeso total (Mn)



Fuente. Elaboración propia

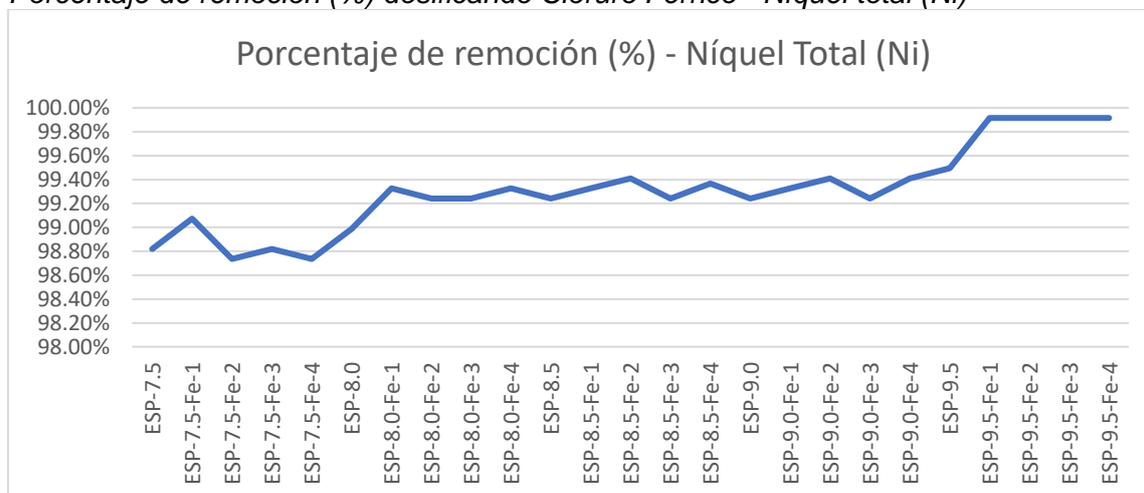
En la figura 25, se observa que el porcentaje de remoción de manganeso es mayor conforme se incrementa el nivel de pH, con una tendencia a mantenerse al alcanzar el valor de 9.0 de pH.

Asimismo, se observa un mayor porcentaje de remoción del metal al dosificar el coagulante cloruro férrico a una concentración número 2, es decir, una concentración de 20mg/l.

Níquel total (Ni)

Figura 26

Porcentaje de remoción (%) dosificando Cloruro Férrico - Níquel total (Ni)



Fuente. Elaboración propia

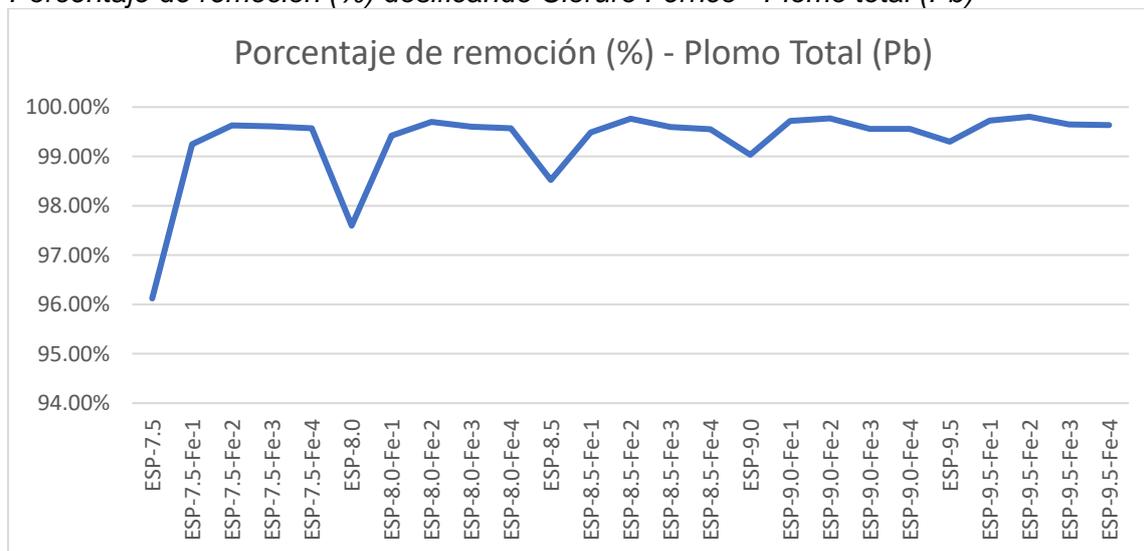
Con respecto al Níquel (Ni), la gráfica indica que el porcentaje de remoción de este metal no tiene un comportamiento de tendencia a disminuir o aumentar conforme se incrementa el nivel de pH.

No se observa una dosis óptima de coagulante para este metal, ya que se evidencia un comportamiento diferente entre cada nivel de pH.

Plomo total (Pb)

Figura 27

Porcentaje de remoción (%) dosificando Cloruro Férrico - Plomo total (Pb)



Fuente. Elaboración propia

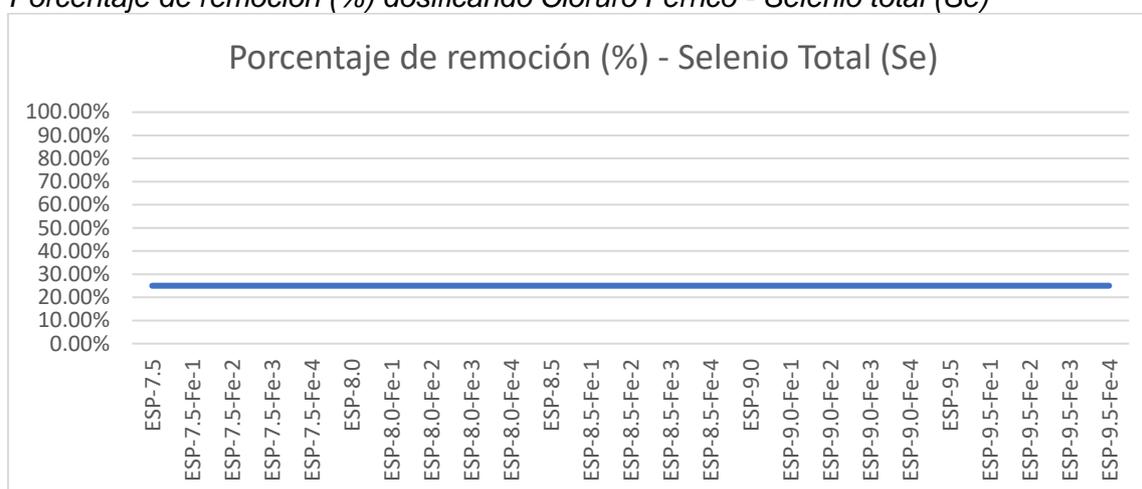
Con respecto al Plomo total (Pb), se observa que el porcentaje de remoción es mayor conforme se incrementa el nivel de pH.

Adicionalmente, se observa un mayor porcentaje de remoción del metal al dosificar el coagulante cloruro férrico a una concentración número 2, es decir, una concentración de 20mg/l, obteniendo un máximo porcentaje de remoción de 99.80, aun nivel de 9.5 de pH.

Selenio (Se)

Figura 28

Porcentaje de remoción (%) dosificando Cloruro Férrico - Selenio total (Se)



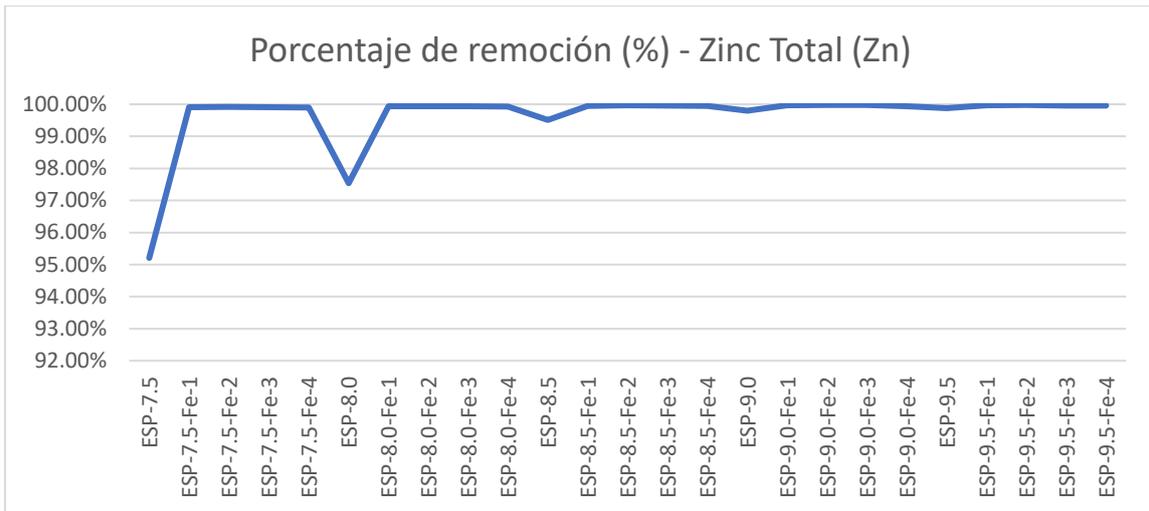
Fuente. Elaboración propia

Con respecto al Selenio total (Se), en la figura 28 se observa que no existe una mejora en el porcentaje de remoción de este metal conforme se incrementa el pH, esto debido a que los resultados de laboratorio indican que la concentración de berilio está por debajo del límite de detección del método empleado para su análisis, mostrándose el mismo porcentaje de remoción para este caso específico.

Zinc total (Zn)

Figura 29

Porcentaje de remoción (%) dosificando Cloruro Férrico - Zinc total (Zn)



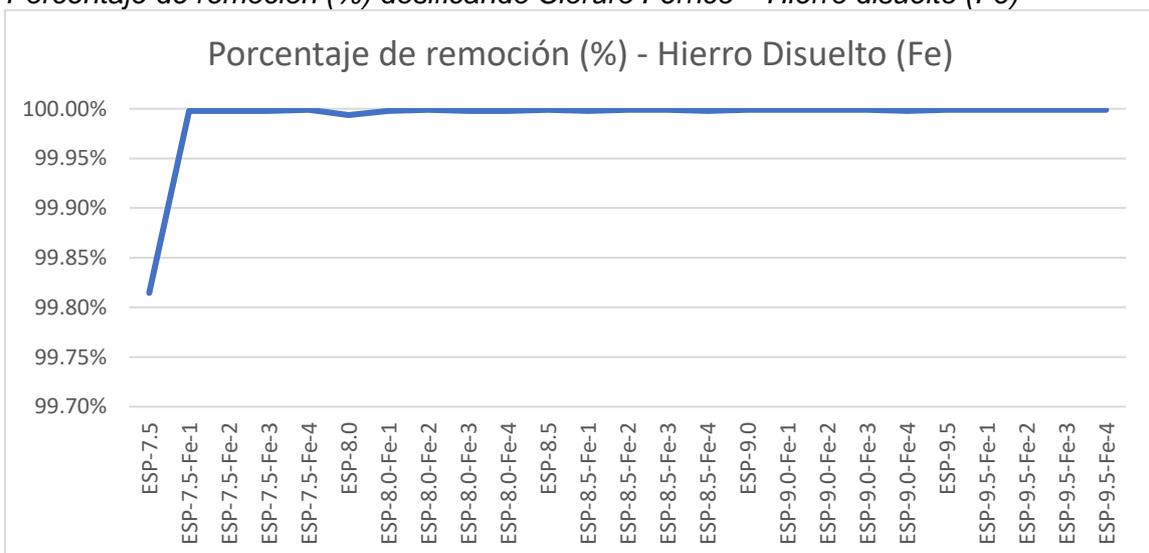
Fuente. Elaboración propia

En la figura 29, se observa que el porcentaje de remoción de zinc supera el 95 cuando el pH es de 7.5, y tiene una tendencia a aumentar, sin embargo se estabiliza después de alcanzar un nivel de pH de 8.5. alcanzando un porcentaje máximo de remoción de 99.97 al alcanzar un pH de 9.5. Adicionalmente, se observa un mayor porcentaje de remoción del metal al dosificar el coagulante cloruro férrico a una concentración número 2, es decir, una concentración de 20mg/l.

Hierro Disuelto

Figura 30

Porcentaje de remoción (%) dosificando Cloruro Férrico – Hierro disuelto (Fe)



Fuente. Elaboración propia

En la figura 30, se observa que el porcentaje de remoción de hierro disuelto supera el 99.80 cuando el pH es de 7.5, y estabilizándose a partir de ese valor. Adicionalmente, se observa un mayor porcentaje de remoción del metal al dosificar el coagulante cloruro férrico a una concentración número 2, es decir, una concentración de 20mg/l.

Resumen de resultados de la concentración óptima de Cloruro Férrico

De los resultados obtenidos dosificando Cloruro Férrico (mg/L) en los 5 niveles de pH seleccionados (7.5, 8.0, 8.5, 9.0 Y 9.5), se observa que para los metales Al, As, Ba, B, Cd, Cu, Fe, Mg, Mn, Pb, Zn y Fe disuelto, presentan remociones máximas de cada metal al dosificar el coagulante cloruro férrico a una concentración número 2, es decir, una concentración de 20mg/l.

En cuanto a As, Co y Li, la concentración de máxima remoción no tiene un valor definido, debido a que tiene un comportamiento definido en los diferentes niveles de pH. Para el caso de Be, Se y Hg, las 4 concentraciones de cloruro Férrico (10, 20, 30 y 40 mg/L) no presentan incidencia puesto que tienen mismas concentraciones que se encuentran por debajo del límite de detección.

De los resultados observados sobre los porcentajes de remoción máxima en los 5 niveles de pH seleccionados, se concluye que la concentración óptima de cloruro férrico es de 20 mg/L.

A continuación, se muestra la tabla 13, la cual detalla el resumen de los resultados de los porcentajes de remoción máxima en los niveles de 7.5 pH, 8.0 pH, 8.5 pH, 9.0 pH y 9.5 pH.

Tabla 13

Porcentaje (%) de remoción máxima de metales usando cloruro férrico – 7.5 pH, 8.0 pH, 8.5 pH, 9.0 pH, 9.5 pH -agregar columna con figura

Parámetro	pH 7.5		pH 8.0		pH 8.5		pH 9.0		pH 9.5		Figura de remoción
	% Remocion máxima	Cloruro férrico (mg/L)									
Al	99.75	20	99.83	20	99.92	20	99.81	20	99.82	20	figura 12
As	99.77	20 y 30	99.75	20	99.75	20	99.78	20	99.68	20	figura 13
Ba	5.27	20	17.41	20	21.75	20	19.75	20	22.14	20	figura 14
Be	89.29	0, 10, 20, 30 y 40	89.29	0, 10, 20, 30 y 40	89.29	0, 10, 20, 30 y 40	89.29	0, 10, 20, 30 y 40	89.29	0, 10, 20, 30 y 40	figura 15
B	47.62	20	54.76	20	64.29	20 y 30	52.38	20 y 30	40.48	20 y 30	figura 16
Cd	99.02	20	99.6	20	99.94	20	99.96	20	99.93	20	figura 17
Co	98.07	10 y 30	98.82	10	99.06	10	99.01	10	98.82	10 y 20	figura 18
Cu	96.98	20	96.86	20	97.7	20	98.73	20	98.78	20	figura 19
Cr	88.33	20 y 30	88.89	20, 30 y 40	92.22	20 y 40	93.89	30	95.56	20	figura 20
Fe	99.88	20	99.89	20	99.86	20	99.9	20	99.92	20	figura 21
Li	28.99	10	30.74	20	32.21	20	31.44	20	32.86	20	figura 22
Mg	23.36	20	25.41	20	39.92	20	64.64	20	81.31	20 y 30	figura 23
Mn	94.51	20	98.5	20	99.11	20	99.69	20	99.83	20	figura 24
Hg	0.00	-	0	-	0	-	0	-	0	-	figura 25
Ni	98.85	10	99.18	20	99.42	20	99.34	20 y 40	99.92	10, 20, 30 y 40	figura 26
Pb	99.65	20	99.71	20	99.78	20	99.79	20	99.82	20	figura 27
Se	25.00	0, 10, 20, 30 y 40	25	0, 10, 20, 30 y 40	25	0, 10, 20, 30 y 40	25	0, 10, 20, 30 y 40	25	0, 10, 20, 30 y 40	figura 28
Zn	99.92	20	99.94	20	99.97	20	99.98	20	99.98	20	figura 29
Fe	100.00	20 y 40	99.99	20	100	20 y 30	100	10, 20, 30 y 40	100	10, 20, 30 y 40	figura 30

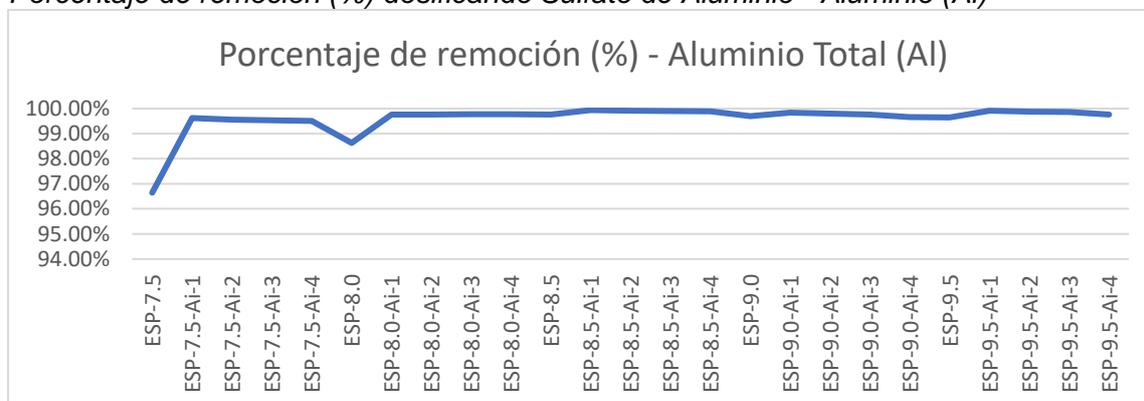
Fuente. Elaboración propia

4.2.2. Sulfato de Aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio

Aluminio Total (Al)

Figura 31

Porcentaje de remoción (%) dosificando Sulfato de Aluminio - Aluminio (Al)



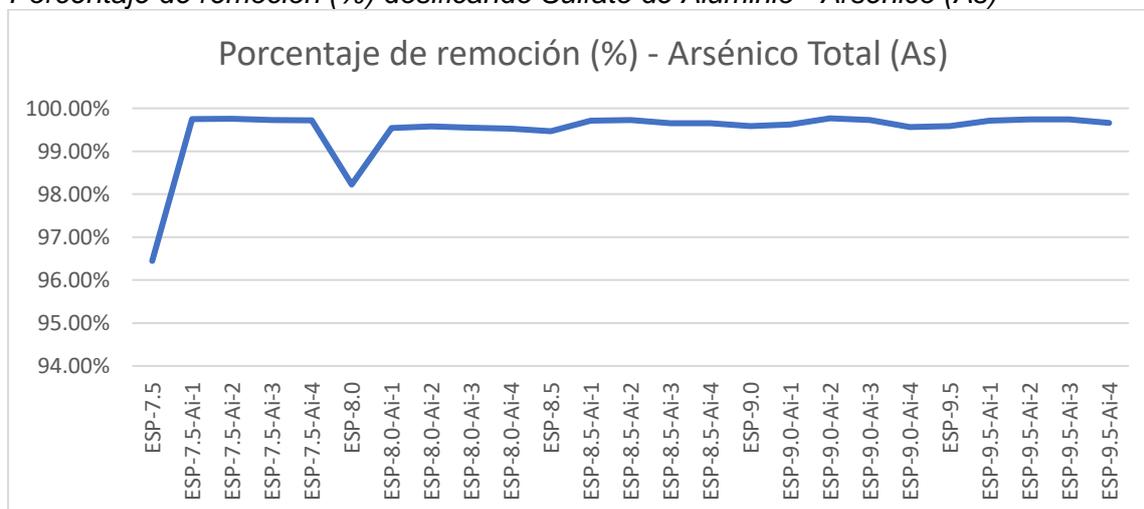
Fuente. Elaboración propia

Se observa que el porcentaje de remoción del aluminio es mayor conforme se incrementa el nivel de pH, sin embargo, empieza a mantenerse después de alcanzar un nivel de 8.5 de pH. Adicionalmente, se observa un mayor porcentaje de remoción del metal al dosificar el coagulante sulfato de aluminio a una concentración número 2, es decir, una concentración de 20mg/l, obteniendo un máximo porcentaje de remoción de 99.91, aun nivel de 8.5 de pH.

Arsénico total

Figura 32

Porcentaje de remoción (%) dosificando Sulfato de Aluminio - Arsénico (As)



Fuente. Elaboración propia

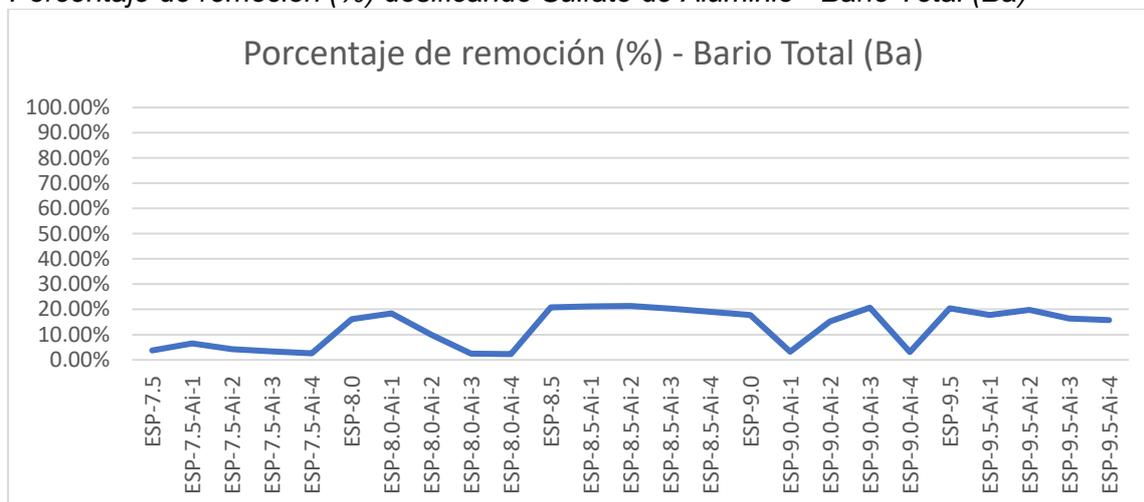
Se observa que el porcentaje de remoción de arsénico es mayor conforme se incrementa el nivel de pH, sin embargo, empieza a mantenerse después de alcanzar un nivel de 8.5 de pH.

Adicionalmente, se observa un mayor porcentaje de remoción del metal al dosificar el coagulante sulfato de aluminio a una concentración número 2, es decir, una concentración de 20mg/l, obteniendo un máximo porcentaje de remoción de 99.74, aun nivel de 9.5 de pH.

Bario total

Figura 33

Porcentaje de remoción (%) dosificando Sulfato de Aluminio - Bario Total (Ba)



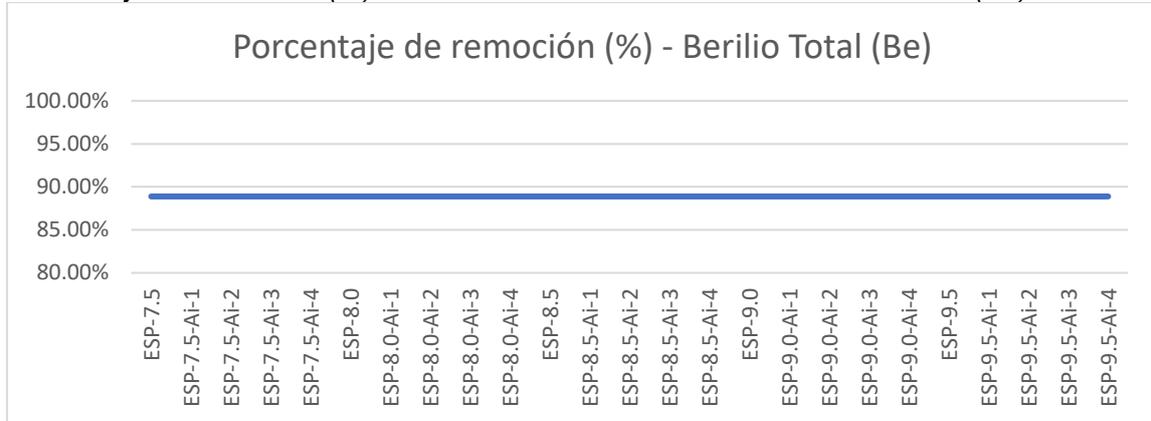
Fuente. Elaboración propia

Se observa que el porcentaje de remoción de bario es mayor conforme se incrementa el nivel de pH, con una tendencia a mantenerse o disminuir a partir de 7.5 de Ph. No se observa una dosis optima de coagulante para este metal, ya que se evidencia un comportamiento diferente entre cada nivel de pH.

Berilio total (Be)

Figura 34

Porcentaje de remoción (%) dosificando Sulfato de Aluminio - Berilio total (Be)



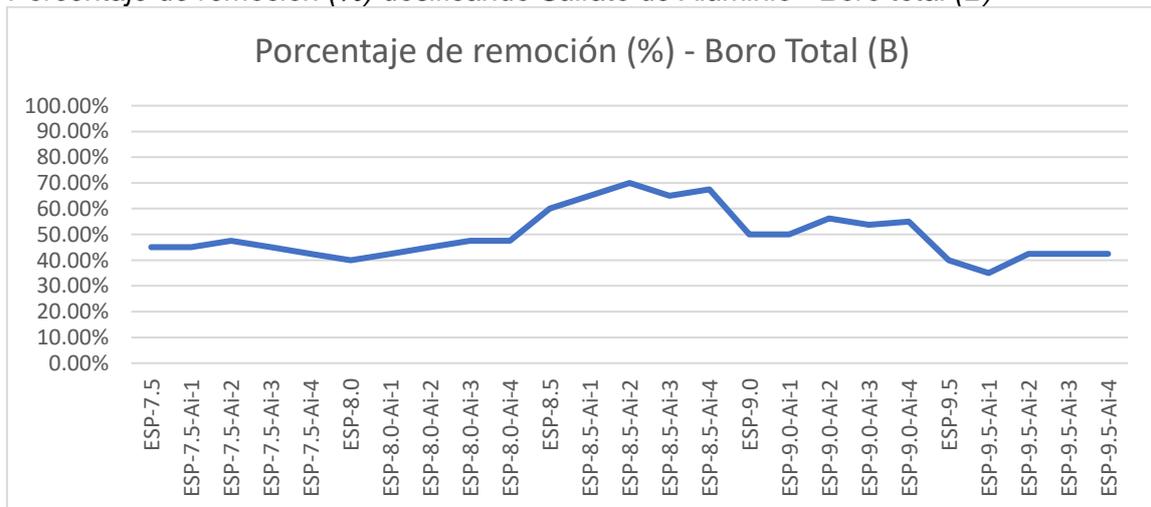
Fuente. Elaboración propia

Con respecto al Berilio total (Be), se observa que no existe una mejora en el porcentaje de remoción de este metal conforme se incrementa el pH, esto debido a que los resultados de laboratorio indican que la concentración de berilio está por debajo del límite de detección del método empleado para su análisis, mostrándose el mismo porcentaje de remoción para este caso específico.

Boro total (B)

Figura 35

Porcentaje de remoción (%) dosificando Sulfato de Aluminio - Boro total (B)



Fuente. Elaboración propia

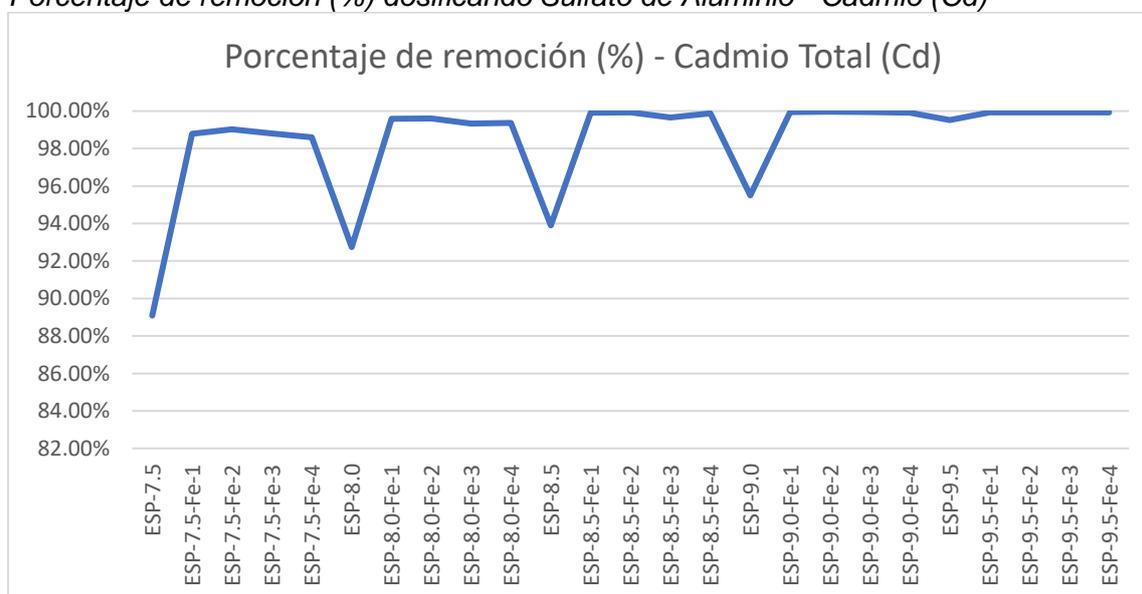
Con respecto al boro (B), Se observa que el porcentaje de remoción es mayor conforme se incrementa el nivel de pH, hasta alcanzar el nivel de 8.5. A partir de este valor, el porcentaje de remoción empieza a disminuir.

Asimismo, se observa un mayor porcentaje de remoción del metal al dosificar el coagulante sulfato de aluminio a una concentración número 2 y 3, es decir, una concentración de 20mg/l y 30mg/l respectivamente, obteniendo un máximo porcentaje de remoción máximo de 70, aun nivel de 8.5 de pH.

Cadmio total (Cd)

Figura 36

Porcentaje de remoción (%) dosificando Sulfato de Aluminio - Cadmio (Cd)



Fuente. Elaboración propia

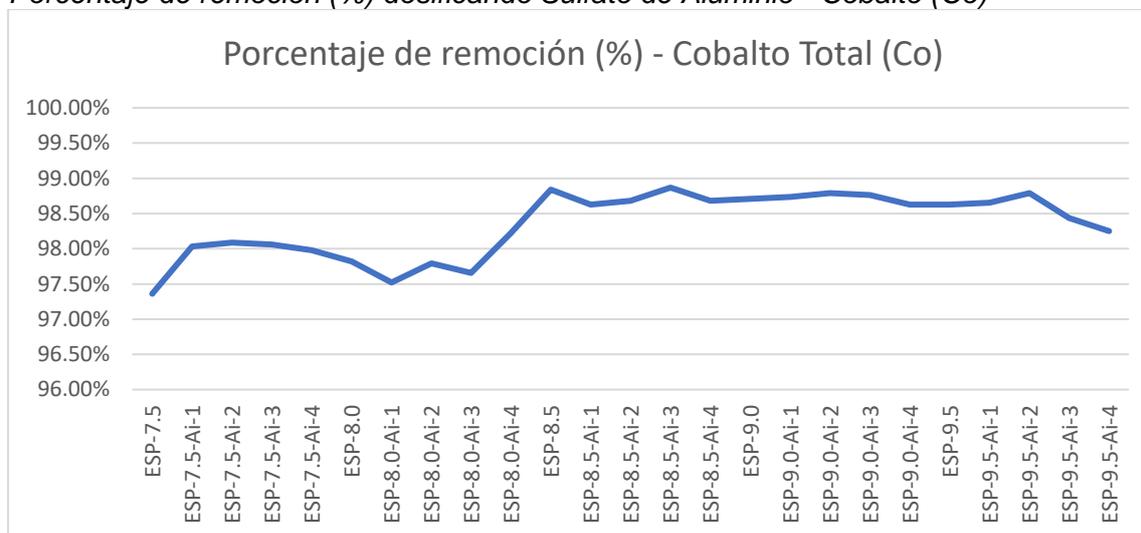
Con respecto al Cadmio total (Cd), en la figura 26 se observa que el porcentaje de remoción es mayor conforme se incrementa el nivel de pH.

Adicionalmente, se observa un mayor porcentaje de remoción del metal al dosificar el coagulante sulfato de aluminio a una concentración número 2, es decir, una concentración de 20mg/l, obteniendo un máximo porcentaje de remoción de 99.95, aun nivel de 9.5 de pH.

Cobalto total (Co)

Figura 37

Porcentaje de remoción (%) dosificando Sulfato de Aluminio - Cobalto (Co)



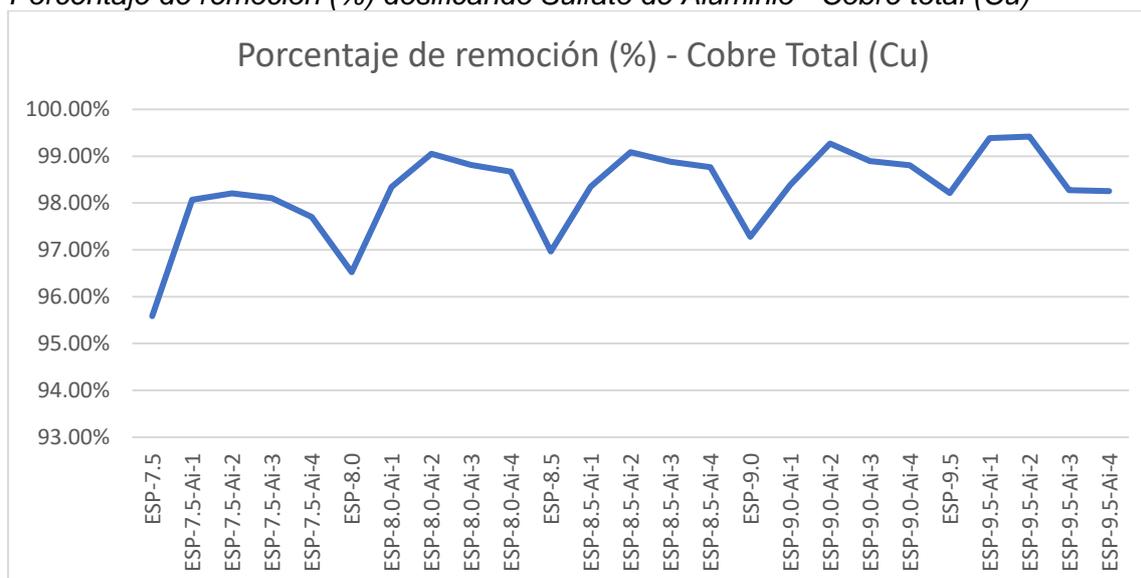
Fuente. Elaboración propia

Con respecto al cobalto (Co), Se observa que el porcentaje de remoción es mayor conforme se incrementa el nivel de pH, hasta alcanzar el nivel de 9.0. A partir de este valor, el porcentaje de remoción empieza a disminuir.

Cobre total (Cu)

Figura 38

Porcentaje de remoción (%) dosificando Sulfato de Aluminio - Cobre total (Cu)



Fuente. Elaboración propia

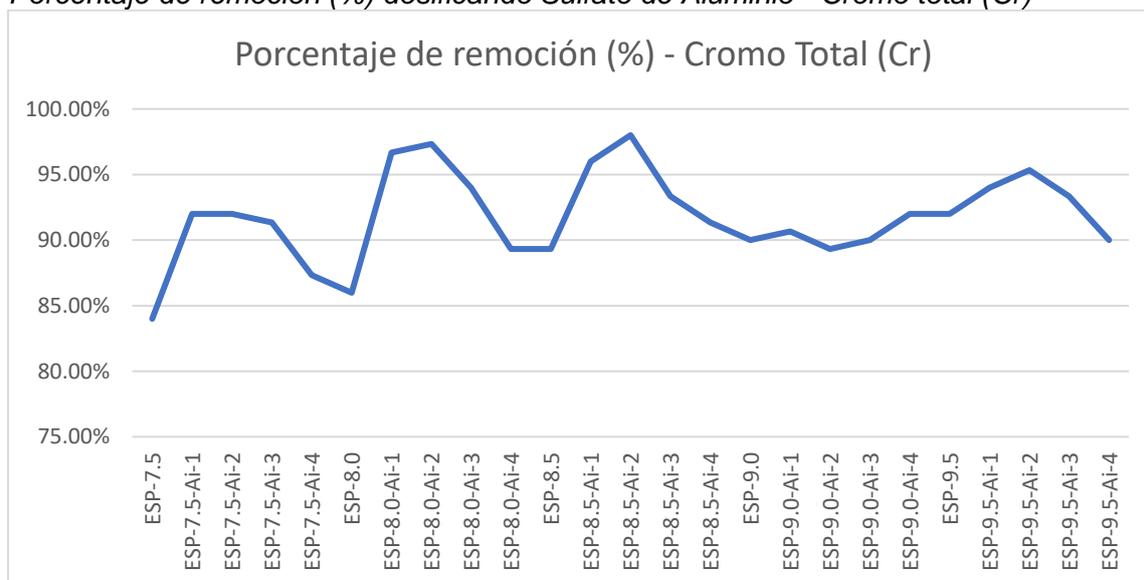
Se observa que el porcentaje de remoción de cobre es mayor conforme se incrementa el nivel de pH.

Adicionalmente, se observa un mayor porcentaje de remoción del metal al dosificar el coagulante sulfato de aluminio a una concentración número 2, es decir, una concentración de 20mg/l, obteniendo un máximo porcentaje de remoción de 98.42, aun nivel de 9.5 de pH.

Cromo total (Cr)

Figura 39

Porcentaje de remoción (%) dosificando Sulfato de Aluminio - Cromo total (Cr)



Fuente. Elaboración propia

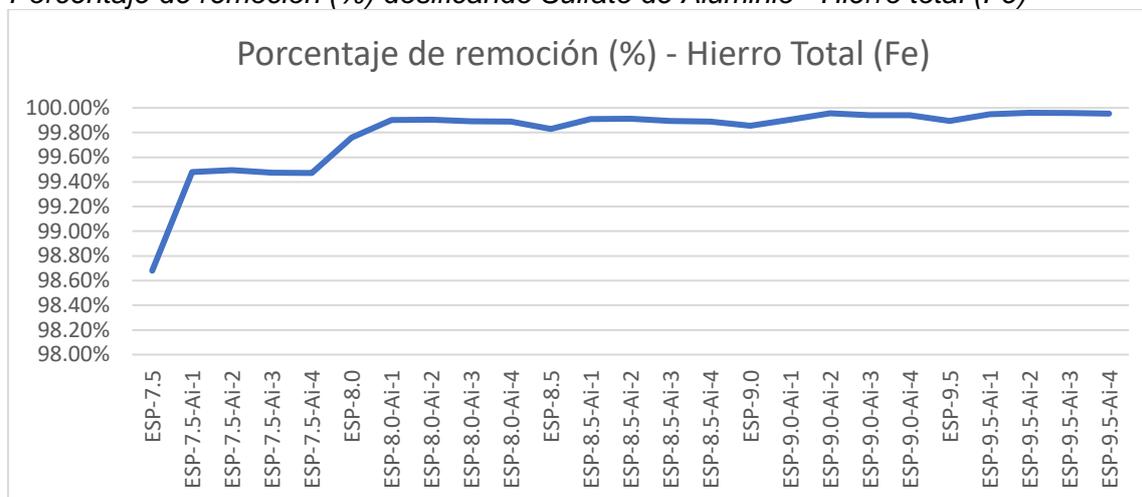
Con respecto al cromo (Cr), Se observa que el porcentaje de remoción es mayor conforme se incrementa el nivel de pH, hasta alcanzar el nivel de 8.5.

Adicionalmente, se observa un mayor porcentaje de remoción del metal al dosificar el coagulante sulfato de aluminio a una concentración número 2, es decir, una concentración de 20mg/l, obteniendo un máximo porcentaje de remoción de 98.00, aun nivel de 8.5 de pH.

Hierro total (Fe)

Figura 40

Porcentaje de remoción (%) dosificando Sulfato de Aluminio - Hierro total (Fe)



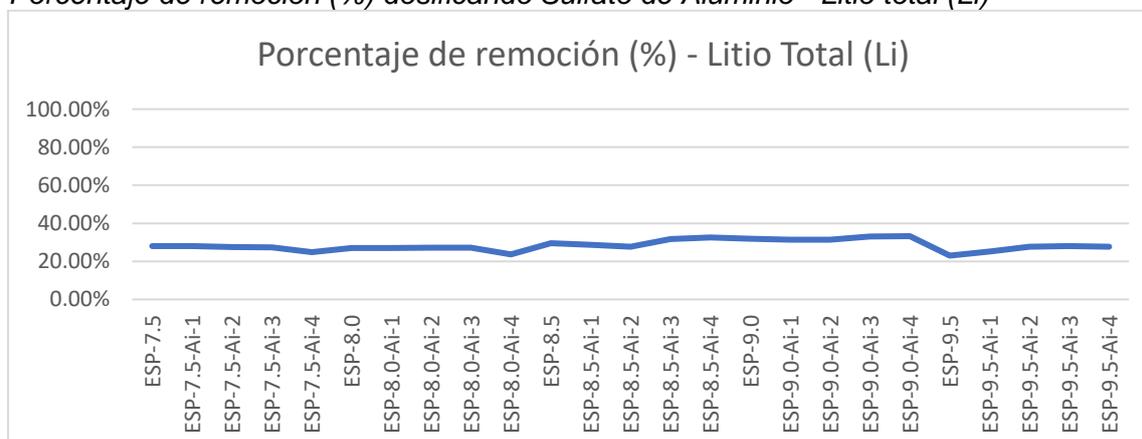
Fuente. Elaboración propia

Con respecto al Hierro total (Fe), Se observa que al alcanzar un nivel de pH de 7.5, la remoción de este metal es alta, obteniendo un valor de 98.68. Conforme aumenta el nivel de pH, el porcentaje de remoción también se incrementa, alcanzando su valor máximo a un nivel de pH de 9.0, siendo un porcentaje de remoción de 99.96 a este nivel de pH. Asimismo, se observa un mayor porcentaje de remoción del metal al dosificar el coagulante cloruro férrico a una concentración número 2, es decir, una concentración de 20mg/l.

Litio total (Li)

Figura 41

Porcentaje de remoción (%) dosificando Sulfato de Aluminio - Litio total (Li)



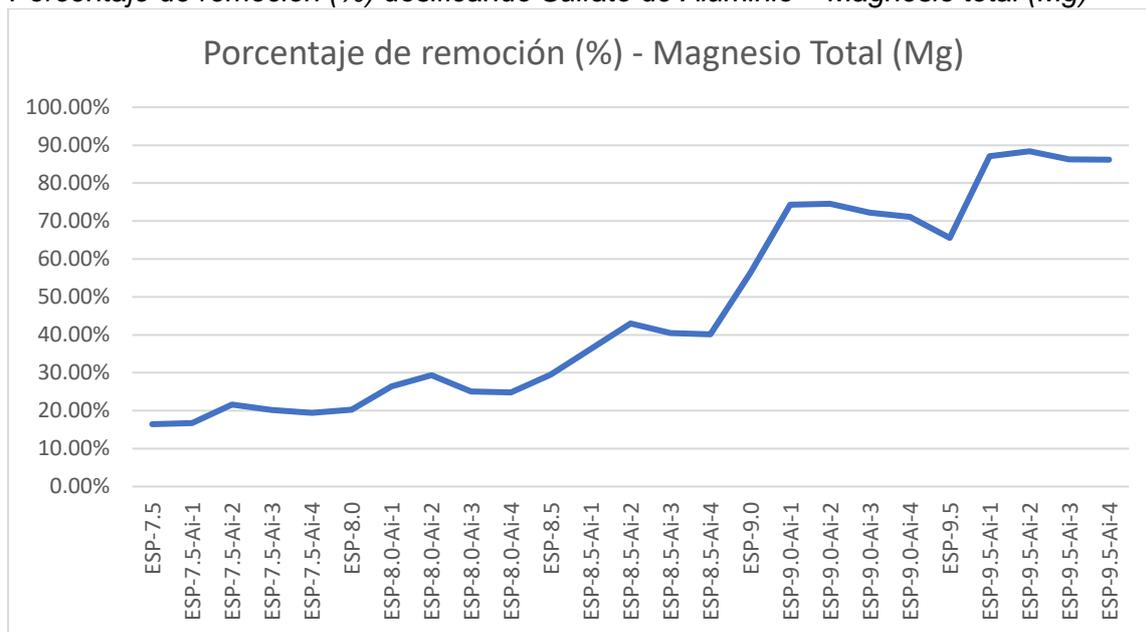
Fuente. Elaboración propia

Con respecto al Litio (Li), la gráfica indica que el porcentaje de remoción de este metal no tiene un comportamiento de tendencia a disminuir o aumentar conforme se incrementa el nivel de pH.

Magnesio total (Mg)

Figura 42

Porcentaje de remoción (%) dosificando Sulfato de Aluminio – Magnesio total (Mg)



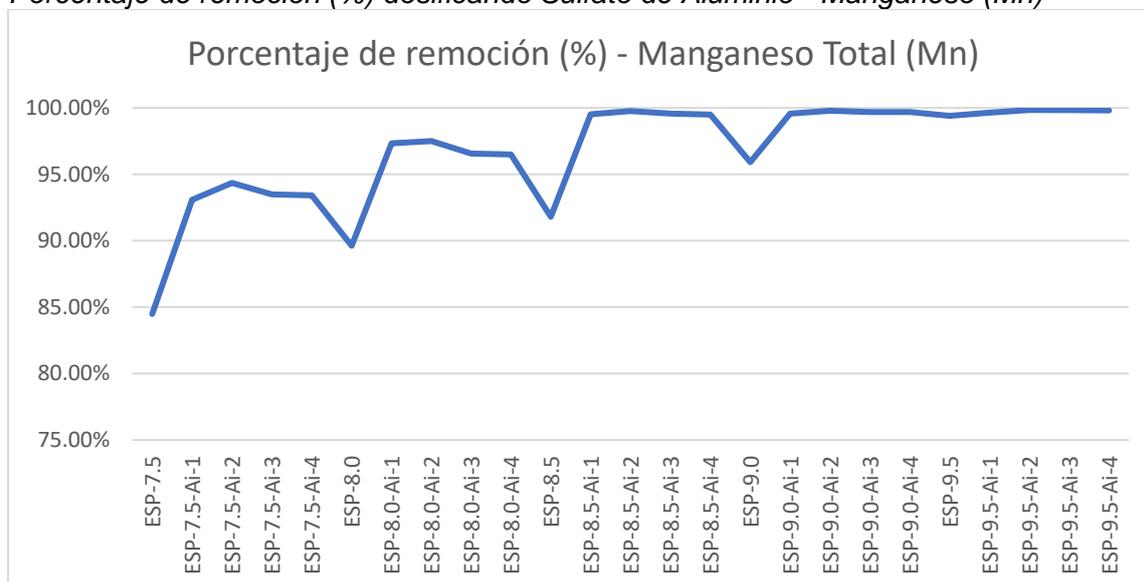
Fuente. Elaboración propia

Para el caso del Magnesio (Mg), Se observa que el porcentaje de remoción de este metal visiblemente mayor conforme se aumenta el nivel de pH. Asimismo, se observa un mayor porcentaje de remoción del metal al dosificar el coagulante cloruro férrico a una concentración número 2, es decir, una concentración de 20mg/l.

Manganeso total (Mn)

Figura 43

Porcentaje de remoción (%) dosificando Sulfato de Aluminio - Manganeso (Mn)



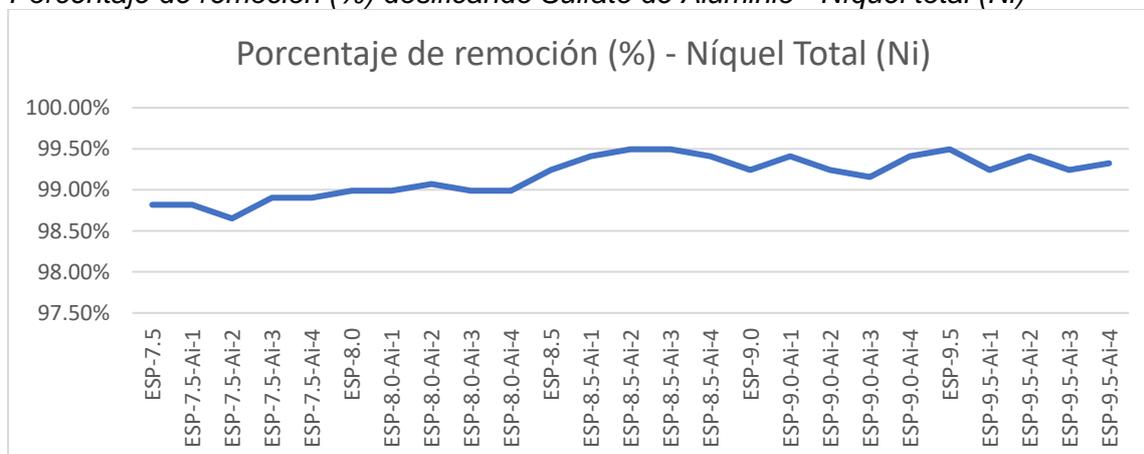
Fuente. Elaboración propia

Se observa que el porcentaje de remoción de manganeso (Mn) es mayor conforme se incrementa el nivel de pH, con una tendencia a mantenerse al alcanzar el valor de 9.0 de pH. Asimismo, se observa un mayor porcentaje de remoción del metal al dosificar el coagulante sulfato de aluminio a una concentración número 2, es decir, una concentración de 20mg/l.

Níquel total (Ni)

Figura 44

Porcentaje de remoción (%) dosificando Sulfato de Aluminio - Níquel total (Ni)



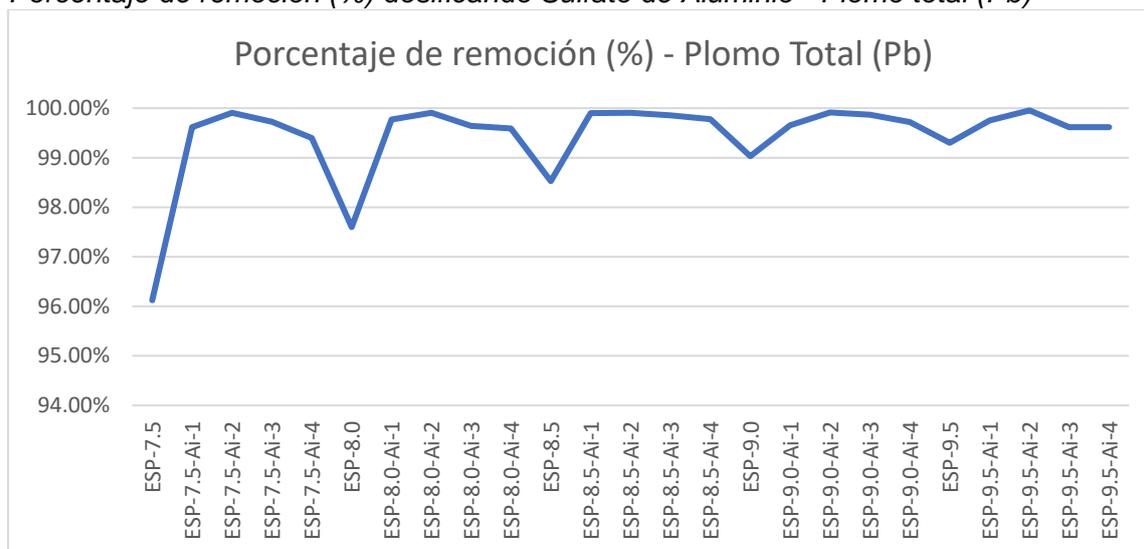
Fuente. Elaboración propia

Con respecto al Níquel (Ni), la gráfica indica que el porcentaje de remoción de este metal no tiene un comportamiento de tendencia a disminuir o aumentar conforme se incrementa el nivel de pH. No se observa una dosis optima de coagulante para este metal, ya que se evidencia un comportamiento diferente entre cada nivel de pH.

Plomo total (Pb)

Figura 45

Porcentaje de remoción (%) dosificando Sulfato de Aluminio - Plomo total (Pb)



Fuente. Elaboración propia

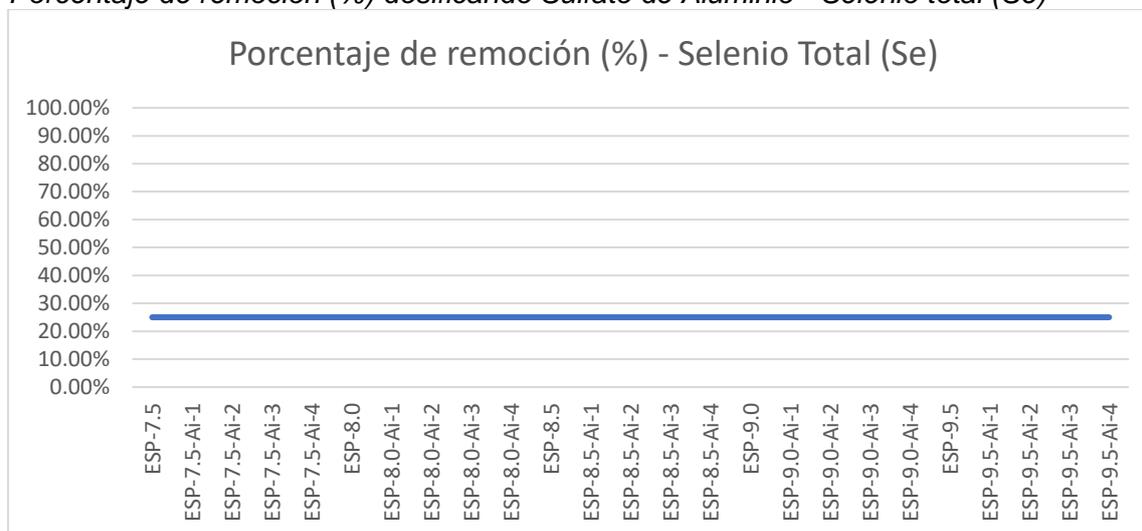
Con respecto al Plomo total (Pb), se observa que el porcentaje de remoción es mayor conforme se incrementa el nivel de pH.

Adicionalmente, se observa un mayor porcentaje de remoción del metal al dosificar el coagulante sulfato de aluminio a una concentración número 2, es decir, una concentración de 20mg/l, obteniendo un máximo porcentaje de remoción de 99.95, aun nivel de 9.5 de pH.

Selenio total (Se)

Figura 46

Porcentaje de remoción (%) dosificando Sulfato de Aluminio - Selenio total (Se)



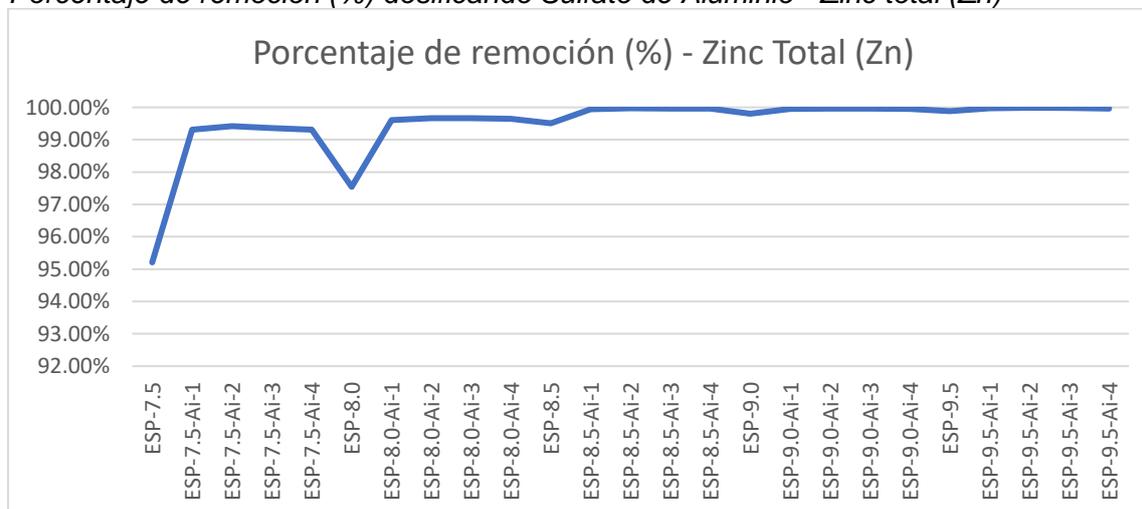
Fuente. Elaboración propia

Con respecto al Selenio total (Se), se observa que no existe una mejora en el porcentaje de remoción de este metal conforme se incrementa el pH, esto debido a que los resultados de laboratorio indican que la concentración de berilio está por debajo del límite de detección del método empleado para su análisis, mostrándose el mismo porcentaje de remoción para este caso específico.

Zinc total (Zn)

Figura 47

Porcentaje de remoción (%) dosificando Sulfato de Aluminio - Zinc total (Zn)



Fuente. Elaboración propia

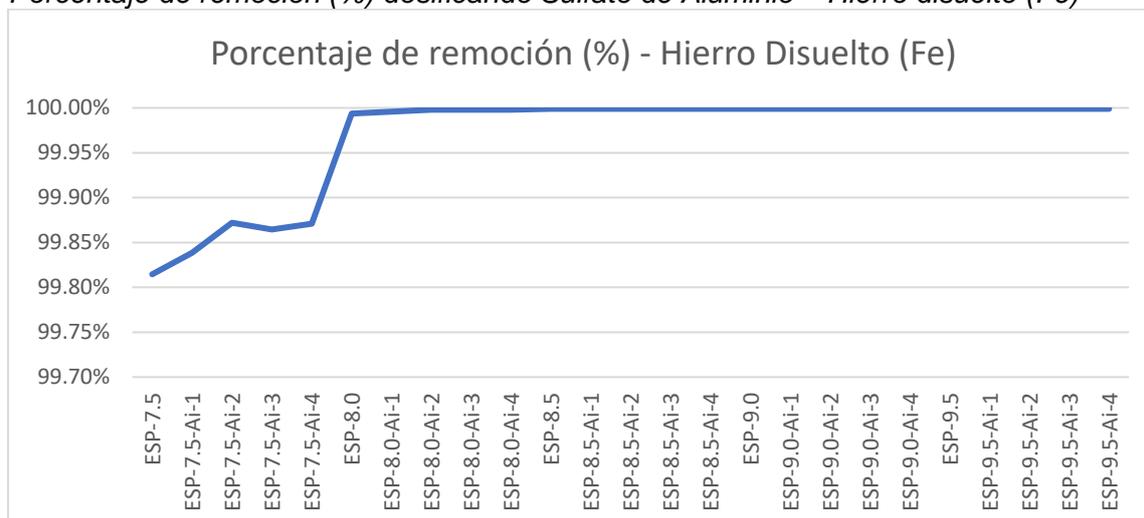
En la figura 47, se observa que el porcentaje de remoción de zinc supera el 95 cuando el pH es de 7.5, y tiene una tendencia a aumentar, sin embargo, se estabiliza después de alcanzar un nivel de pH de 8.5. alcanzando un porcentaje máximo de remoción de 99.99 al alcanzar un pH de 9.5.

Adicionalmente, se observa un mayor porcentaje de remoción del metal al dosificar el coagulante cloruro férrico a una concentración número 2, es decir, una concentración de 20mg/l.

Hierro disuelto (Fe)

Figura 48

Porcentaje de remoción (%) dosificando Sulfato de Aluminio – Hierro disuelto (Fe)



Fuente. Elaboración propia

En la figura 48, se observa que el porcentaje de remoción de hierro disuelto supera el 99.80 cuando el pH es de 7.5, y estabilizándose a partir de ese valor.

Adicionalmente, se observa un mayor porcentaje de remoción del metal al dosificar el coagulante sulfato de aluminio a una concentración número 2, es decir, una concentración de 20mg/l.

Resumen de resultados de la concentración óptima de Sulfato de Aluminio

De los resultados obtenidos dosificando Sulfato de Aluminio (mg/L) en los 5 niveles de pH seleccionados (7.5, 8.0, 8.5, 9.0 Y 9.5), se observa que para los metales Al, As, Ba, B, Cd, Cu, Fe, Mg, Mn, Pb, Zn y Fe disuelto, presentan remociones máximas

de cada metal al dosificar el coagulante Sulfato de Aluminio a una concentración número 2, es decir, una concentración de 20mg/l.

En cuanto a As, Co y Li, la concentración de máxima remoción no tiene un valor definido, debido a que tiene un comportamiento definido en los diferentes niveles de pH. Para el caso de Be, Se y Hg, las 4 concentraciones de Sulfato de Aluminio (10, 20, 30 y 40 mg/L) no presentan incidencia puesto que sus valores se encuentran por debajo del límite de detección.

De los resultados observados sobre los porcentajes de remoción máxima en los 5 niveles de pH seleccionados, se concluye que la concentración óptima de Sulfato de Aluminio es de 20 mg/L.

A continuación, se muestra la tabla 14, la cual detalla el resumen de los resultados de los porcentajes de remoción máxima en los niveles de 7.5 pH, 8.0 pH, 8.5 pH, 9.0 pH y 9.5 pH.

Tabla 14

Porcentaje (%) de remoción máxima de metales usando Sulfato de Aluminio – 7.5 pH, 8.0 pH, 8.5 pH, 9.0 pH, 9.5 pH

Parámetro	pH 7.5		pH 8.0		pH 8.5		pH 9.0		pH 9.5		Figura de remoción
	% Remocion máxima	Sulfato de Aluminio (mg/L)	% Remocion máxima	Sulfato de Aluminio (mg/L)	% Remocion máxima	Sulfato de Aluminio (mg/L)	% Remocion máxima	Sulfato de Aluminio (mg/L)	% Remocion máxima	Sulfato de Aluminio (mg/L)	
Al	99.56	10 y 20	99.77	40	99.86	10	99.76	10	99.72	10	figura 31
As	99.77	20	99.59	20	99.74	20	99.7	20	99.75	20 y 30	figura 32
Ba	4.45	10 y 20	10.07	10 y 20	20.98	20	16.97	20 y 30	20.2	20	figura 33
Be	89.29	0, 10, 20, 30 y 40	89.29	0, 10, 20, 30 y 40	89.29	0, 10, 20, 30 y 40	89.29	0, 10, 20, 30 y 40	89.29	0, 10, 20, 30 y 40	figura 34
B	47.62	20	47.62	20, 30 y 40	73.81	20	64.29	20	42.86	20, 30 y 40	figura 35
Cd	98.79	20	99.48	20	99.94	20	99.97	20	99.95	20	figura 36
Co	97.96	20	97.74	40	98.63	30	98.85	20	98.66	20	figura 37
Cu	98.21	20	99.06	20	99.11	20	99.27	20	99.41	10 y 20	figura 38
Cr	93.33	10 y 20	98.89	20	98.33	20	91.67	40	96.67	20	figura 39
Fe	99.5	20	99.91	20	99.91	20	99.96	20	99.96	20	figura 40
Li	28.66	10	25.23	20 y 30	31.5	40	29.37	40	24.41	30	figura 41
Mg	21.78	20	29.48	20	43.04	20	74.59	10 y 20	88.4	20	figura 42
Mn	94.37	20	97.56	20	99.76	20	99.77	20	99.85	20	figura 43
Hg	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	figura 44
Ni	98.68	30 y 40	99.01	20	99.42	20 y 30	99.18	10 y 40	99.42	20	figura 45
Pb	99.9	20	99.91	20	99.91	20	99.91	20	99.96	20	figura 46
Se	25	0, 10, 20, 30 y 40	25	0, 10, 20, 30 y 40	25	0, 10, 20, 30 y 40	25	0, 10, 20, 30 y 40	25	0, 10, 20, 30 y 40	figura 47
Zn	99.43	20	99.67	20	99.97	20	99.96	20	99.99	20	figura 48
Fe	99.87	20	100	20	100	0, 10, 20, 30 y 40	100	0, 10, 20, 30 y 40	100	0, 10, 20, 30 y 40	figura 49

Fuente. Elaboración propia

4.3. Comparación de los porcentajes de remoción de metales y análisis estadístico

Posterior al análisis de los resultados iniciales de tratamiento de agua acida, se concluye que la dosis optima de los coagulantes cloruro férrico y sulfato de aluminio es la numero 2, es decir, una dosificación de 20mg/l. Teniendo en cuenta este resultado, se procede a realizar el análisis de los resultados en base a la dosificación optima obtenida.

A continuación, se muestran las tablas de los resultados de concentración y de porcentaje de remoción promedios. Cabe resaltar que se realizaron 3 repeticiones para cada una de las pruebas empleando cloruro férrico y sulfato de aluminio de manera independiente.

4.3.1. Dosificando cloruro férrico

Tabla 15

Resultados de concentración de metales dosificando Cloruro férrico (20 mg/l) – 7.5 pH, 8.0 pH, 8.5 pH, 9.0 pH, 9.5 pH

Parámetros	ESP-0	ESP-7.5	ESP-7.5-Fe-2	ESP-8.0	ESP-8.0-Fe-2	ESP-8.5	ESP-8.5-Fe-2	ESP-9.0	ESP-9.0-Fe-2	ESP-9.5
Aluminio Total (Al)	16.907	0.565	0.043	0.23	0.028	0.037	0.014	0.044	0.032	0.048
Arsénico Total (As)	1.0692	0.0379	0.0025	0.0189	0.0027	0.0056	0.0027	0.0034	0.0024	0.0034
Bario Total (Ba)	0.02051	0.01964	0.01943	0.0171	0.01694	0.01609	0.01605	0.01661	0.01646	0.0161
Berilio Total (Be)	0.0028	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
Boro Total (B)	0.042	0.021	0.022	0.025	0.019	0.014	0.015	0.022	0.02	0.025
Cadmio Total (Cd)	0.41659	0.04542	0.00409	0.03022	0.00166	0.02547	0.00024	0.0187	0.00017	0.00203
Cobalto Total (Co)	0.03724	0.00095	0.00072	0.00077	0.00044	0.00044	0.00035	0.00048	0.00037	0.00047
Cobre Total (Cu)	2.171	0.0956	0.0655	0.0754	0.0681	0.0653	0.05	0.0517	0.0275	0.0387
Cromo Total (Cr)	0.018	0.0022	0.0021	0.0019	0.002	0.0014	0.0014	0.0014	0.0011	0.0011
Hierro Total (Fe)	969.78	12.76	1.13	2.31	1.04	1.64	1.34	1.02	0.96	0.8
Litio Total (Li)	0.1835	0.1374	0.1303	0.1364	0.1271	0.1324	0.1244	0.1264	0.1258	0.1361
Magnesio Total (Mg)	1055.3487	880.4964	808.8669	839.8618	787.2069	743.061	634.0259	460.0088	373.1666	362.9496
Manganeso Total (Mn)	964.34562	147.58653	52.94275	99.63597	14.43629	78.81054	8.5686	39.14307	3.00343	5.8427
Mercurio Total (Hg)	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Níquel Total (Ni)	0.1214	0.0017	0.0014	0.0012	0.001	0.0007	0.0007	0.0008	0.0008	0.0006
Plomo Total (Pb)	0.23453	0.00856	0.00081	0.0053	0.00069	0.00323	0.00051	0.00215	0.0005	0.00159
Selenio Total (Se)	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
Zinc Total (Zn)	345.653	16.379	0.286	8.445	0.211	1.68	0.115	0.675	0.079	0.406
Hierro Disuelto (Fe)	967.25	1.79	0.04	0.07	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

Fuente. Elaboración propia

Tabla 16

Porcentaje de remoción (%) de metales dosificando Sulfato de Aluminio (20mg/l) – 7.5 pH, 8.0 pH, 8.5 pH, 9.0 pH, 9.5 pH

Parámetros	ESP-7.5	ESP-7.5-Fe-2	ESP-8.0	ESP-8.0-Fe-2	ESP-8.5	ESP-8.5-Fe-2	ESP-9.0	ESP-9.0-Fe-2	ESP-9.5	ESP-9.5-Fe-2
Aluminio Total (Al)	96.66	99.75	98.64	99.83	99.78	99.92	99.74	99.81	99.72	99.82
Arsénico Total (As)	96.46	99.77	98.23	99.75	99.48	99.75	99.68	99.78	99.68	99.68
Bario Total (Ba)	4.24	5.27	16.63	17.41	21.55	21.75	19.02	19.75	21.50	22.14
Berilio Total (Be)	89.29	89.29	89.29	89.29	89.29	89.29	89.29	89.29	89.29	89.29
Boro Total (B)	50.00	47.62	40.48	54.76	66.67	64.29	47.62	52.38	40.48	40.48
Cadmio Total (Cd)	89.10	99.02	92.75	99.60	93.89	99.94	95.51	99.96	99.51	99.93
Cobalto Total (Co)	97.45	98.07	97.93	98.82	98.82	99.06	98.71	99.01	98.74	98.82
Cobre Total (Cu)	95.60	96.98	96.53	96.86	96.99	97.70	97.62	98.73	98.22	98.78
Cromo Total (Cr)	87.78	88.33	89.44	88.89	92.22	92.22	92.22	93.89	93.89	95.56
Hierro Total (Fe)	98.68	99.88	99.76	99.89	99.83	99.86	99.89	99.90	99.92	99.92
Litio Total (Li)	25.12	28.99	25.67	30.74	27.85	32.21	31.12	31.44	25.83	32.86
Magnesio Total (Mg)	16.57	23.36	20.42	25.41	29.59	39.92	56.41	64.64	65.61	81.31
Manganeso Total (Mn)	84.70	94.51	89.67	98.50	91.83	99.11	95.94	99.69	99.39	99.83
Mercurio Total (Hg)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Níquel Total (Ni)	98.60	98.85	99.01	99.18	99.42	99.42	99.34	99.34	99.51	99.92
Plomo Total (Pb)	96.35	99.65	97.74	99.71	98.62	99.78	99.08	99.79	99.32	99.82
Selenio Total (Se)	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
Zinc Total (Zn)	95.26	99.92	97.56	99.94	99.51	99.97	99.80	99.98	99.88	99.98
Hierro Disuelto (Fe)	99.81	100.00	99.993	99.999	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

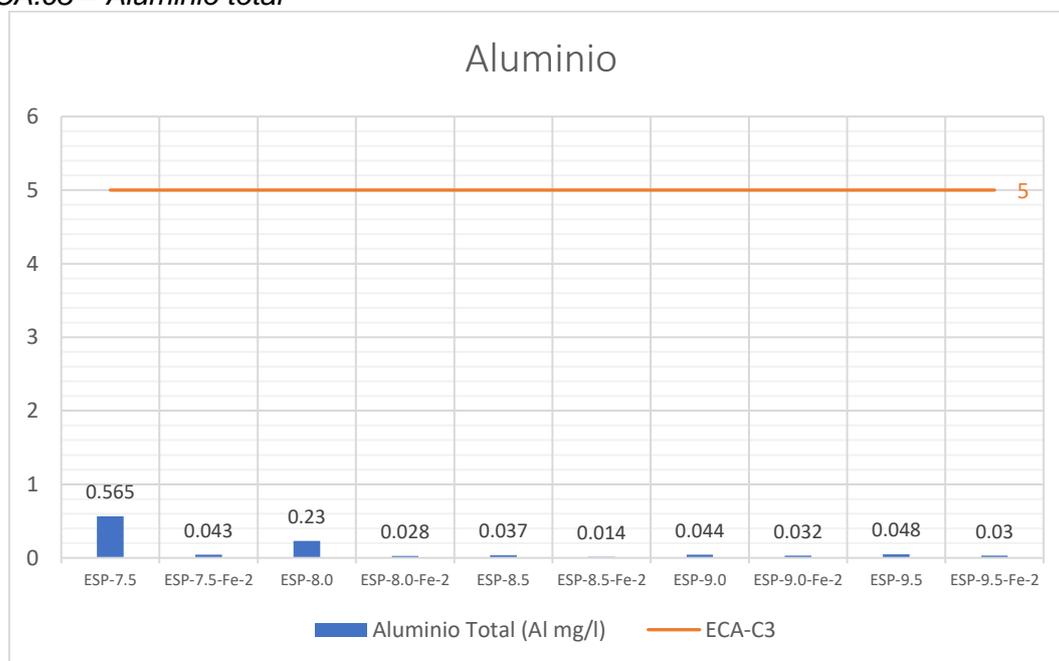
ALUMINIO – Dosificando cloruro férrico

El agua ácida proveniente de la relavera Quiulacocha fue sometida a un proceso de tratamiento con una concentración inicial de 16.907 mg/l.

El resultado del análisis del aluminio como parámetro, obtenido después de pasar por el sistema de tratamiento dosificando y sin dosificar cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio, se representa en la figura 49. Donde se muestra que los valores cumplen con el valor establecido en el D.S. N° 004-2017-MINAM, el cual define los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría 3.

Figura 49

Resultados del tratamiento dosificando Cloruro Férrico (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Aluminio total



Fuente. Elaboración propia

Prueba de Normalidad

Se lleva a cabo el análisis de normalidad de los datos obtenidos base al porcentaje de remoción de Aluminio, considerando tanto la presencia como la ausencia de dosificación del coagulante (cloruro férrico). Estos datos se obtuvieron empleando diferentes niveles de pH: 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5.

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Los datos examinados presentan una distribución normal.
- Hipótesis alternativa (H_1): Los datos examinados no presentan una distribución normal.

Los supuestos asociados a esta prueba son los siguientes:

- Si el valor de significancia (P) es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0).
- Si el valor de significancia (P) es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alternativa (H_1)

Tabla 17

Prueba de normalidad de Aluminio en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 – Cloruro Férrico

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Al.7.5	0.274	3	.	0.944	3	0.544
Al.7.5.FeCl3	0.208	3	.	0.992	3	0.828
Al.8.0	0.274	3	.	0.944	3	0.544
Al.8.0.FeCl3	0.202	3	.	0.994	3	0.854
Al.8.5	0.274	3	.	0.944	3	0.544
Al.8.5.FeCl3	0.202	3	.	0.994	3	0.854
Al.9.0	0.239	3	.	0.975	3	0.697
Al.9.0.FeCl3	0.336	3	.	0.856	3	0.256
Al.9.5	0.316	3	.	0.89	3	0.353
Al.9.5.FeCl3	0.291	3	.	0.925	3	0.47

Fuente. Elaboración propia

La tabla 17 muestra los resultados del test de Shapiro-Wilk para una muestra pequeña en las pruebas realizadas. Los valores de significancia (P) para Al.7.5, Al.7.5.FeCl3, Al.8.0, Al.8.0.FeCl3, Al.8.5, Al.8.5.FeCl3, Al.9.0, Al.9.0.FeCl3, Al.9.5 y Al.9.5.FeCl3 son mayores a 0.05. Por consiguiente, se infiere que los resultados de estas pruebas siguen una distribución normal, respaldando la hipótesis H_0 . Esto es crucial para aplicar la Prueba T en el análisis.

Prueba de hipótesis T-Student

Hipótesis

H0: La dosificación de cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, no influye significativamente en la remoción de Aluminio.

H1: La dosificación de cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, influye significativamente en la remoción de Aluminio.

El contraste es bilateral, por lo tanto $0,05 / 2 = 0,025$

$P > 0.025$ se aprueba la *H0*

$P < 0.025$ se aprueba la *H1*

Tabla 18

Prueba de muestras emparejadas dosificando Cloruro Férrico para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Aluminio

	Diferencias emparejadas					t	gl	Significación bilateral
	Media	Desv. estándar	Media de error estándar	95 de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Al.7.5 - Al.7.5.FeCl3	-0.03089	0.00006	0.00004	-0.03105	-0.03074	-842.545	2	<.001
Al.8.0 - Al.8.0.FeCl3	-0.01194	0.00007	0.00004	-0.01211	-0.01177	-298.500	2	<.001
Al.8.5 - Al.8.5.FeCl3	-0.00138	0.00007	0.00004	-0.00155	-0.00121	-34.500	2	<.001
Al.9.0 - Al.9.0.FeCl3	-0.00073	0.00036	0.00021	-0.00162	0.00017	-3.485	2	0.073
Al.9.5 - Al.9.5.FeCl3	-0.00107	0.00133	0.00077	-0.00438	0.00224	-1.387	2	0.300

Fuente. Elaboración propia

Para el caso del parámetro de Aluminio y considerando un nivel de pH de 7.5, 8.0 y 8.5, la prueba t de student entre las medias de los porcentajes de remoción de este metal dosificando y sin dosificar Cloruro férrico (20mg/l), resultó en un nivel de significancia menor que 0.025 (0.05 dividido entre 2 para un contraste bilateral). Por lo tanto, se acepta la hipótesis de que " La dosificación de cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera

Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, y 8.5, influye significativamente en la remoción de Aluminio.”, lo que demuestra que el porcentaje de remoción de Aluminio a nivel de pH 7.5, 8.0 y 8.5; es mayor al dosificar cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio. Sin embargo, a un nivel de pH de 9.0 y 9.5 se tiene un nivel de significancia mayor que 0.025. Esto indica que el cloruro férrico no influye en el tratamiento de agua dosificando hidróxido de calcio a esos niveles de pH.

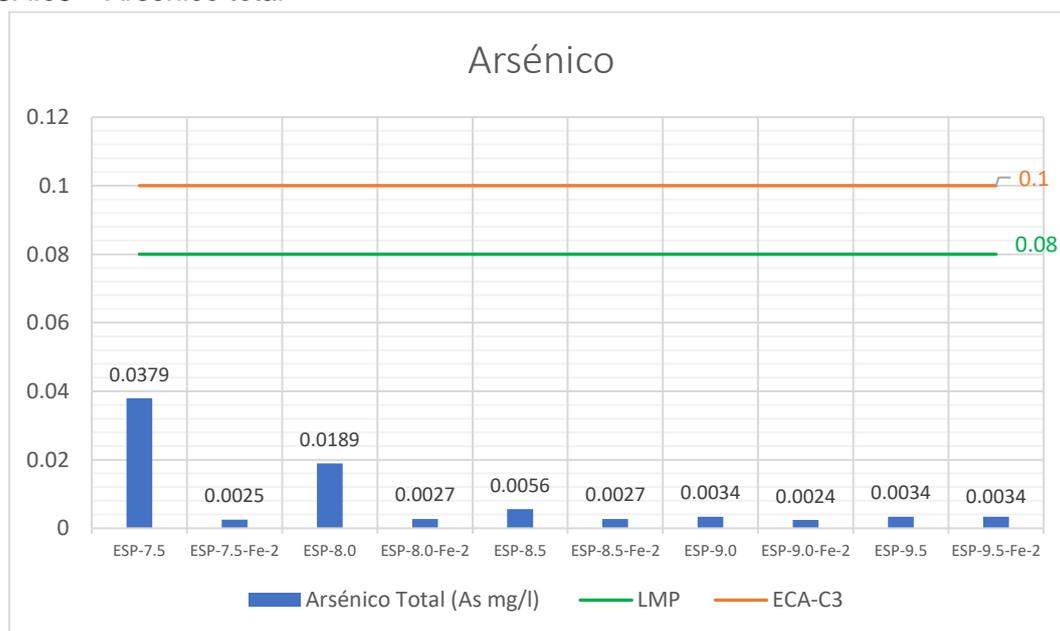
ARSÉNICO – Dosificando cloruro férrico

El agua ácida proveniente de la relavera Quiulacocha fue sometida a un proceso de tratamiento con una concentración inicial de 1.0692 mg/l de arsénico.

El resultado del análisis del Arsénico como parámetro, obtenido después de pasar por el sistema de tratamiento dosificando y sin dosificar cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio se representa en la figura 50, donde se muestra que se cumple con el valor establecido en los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas D.S N° 010-2010-MINAM y con el D.S. N° 004-2017-MINAM, el cual define los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría 3.

Figura 50

Resultados del tratamiento dosificando Cloruro Férrico (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Arsénico total



Fuente. Elaboración propia

Prueba de Normalidad

Se lleva a cabo el análisis de normalidad de los datos obtenidos base al porcentaje de remoción de Arsénico, considerando tanto la presencia como la ausencia de dosificación del coagulante (cloruro férrico). Estos datos se obtuvieron empleando diferentes niveles de pH: 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5.

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Los datos examinados presentan una distribución normal.
- Hipótesis alternativa (H_1): Los datos examinados no presentan una distribución normal.

Los supuestos asociados a esta prueba son los siguientes:

- Si el valor de significancia (P) es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0).
- Si el valor de significancia (P) es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alternativa (H_1).

Tabla 19

Prueba de normalidad de Arsénico en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
As.7.5	0.374	3	.	0.776	3	0.058
As.7.5.FeCl3	0.317	3	.	0.887	3	0.346
As.8.0	0.338	3	.	0.852	3	0.245
As.8.0.FeCl3	0.317	3	.	0.887	3	0.346
As.8.5	0.338	3	.	0.852	3	0.245
As.8.5.FeCl3	0.317	3	.	0.887	3	0.346
As.9.0	0.286	3	.	0.931	3	0.492
As.9.0.FeCl3	0.317	3	.	0.887	3	0.346
As.9.5	0.203	3	.	0.994	3	0.848
As.9.5.FeCl3	0.309	3	.	0.901	3	0.388

Fuente. Elaboración propia

La tabla 19 muestra los resultados del test de Shapiro-Wilk para una muestra pequeña en las pruebas realizadas. Los valores de significancia (P) para As.7.5, As.7.5.FeCl₃, As.8.0, As.8.0.FeCl₃, As.8.5, As.8.5.FeCl₃, As.9.0, As.9.0.FeCl₃, As.9.5 y As.9.5.FeCl₃ son mayores a 0.05. Por consiguiente, se infiere que los resultados de estas pruebas siguen una distribución normal, respaldando la hipótesis *H0*. Esto es crucial para aplicar la Prueba T en el análisis.

Prueba de hipótesis T-Student

Hipótesis

H0: La dosificación de cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, no influye significativamente en la remoción de Arsénico.

H1: La dosificación de cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, influye significativamente en la remoción de Arsénico.

El contraste es bilateral, por lo tanto $0,05 / 2 = 0,025$

$P > 0.025$ se aprueba la *H0*

$P < 0.025$ se aprueba la *H1*

Tabla 20

Prueba de muestras emparejadas dosificando Cloruro Férrico para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Arsénico

	Diferencias emparejadas					t	gl	Significación bilateral
	Media	Desv. estándar	Media de error estándar	95 de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
As.7.5 - As.7.5.FeCl ₃	-0.03310	0.00009	0.00005	-0.03333	-0.03288	-631.894	2	<.001
As.8.0 - As.8.0.FeCl ₃	-0.01512	0.00014	0.00008	-0.01546	-0.01478	-190.494	2	<.001
As.8.5 - As.8.5.FeCl ₃	-0.00268	0.0001	0.00006	-0.00294	-0.00242	-44.667	2	<.001
As.9.0 - As.9.0.FeCl ₃	-0.00093	0.00094	0.00054	-0.00326	0.00139	-1.729	2	0.226
As.9.5 - As.9.5.FeCl ₃	-0.00003	0.00089	0.00052	-0.00225	0.00219	-0.058	2	0.959

Fuente. Elaboración propia

Para el caso del parámetro de Arsénico y considerando un nivel de pH de 7.5, 8.0 y 8.5, la prueba t de student entre las medias de los porcentajes de remoción de este metal, dosificando y sin dosificar Cloruro férrico (20mg/l), resultó en un nivel de significancia menor que 0.025 (0.05 dividido entre 2 para un contraste bilateral). Por lo tanto, se acepta la hipótesis de que " La dosificación de cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, y 8.5 influye significativamente en la remoción de Arsénico.", lo que demuestra que el porcentaje de remoción de Arsénico a nivel de pH 7.5, 8.0 y 8.5; es mayor al dosificar cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio.

Sin embargo, a un nivel de pH de 9.0 y 9.5 se tiene un nivel de significancia mayor que 0.025. Esto indica que el cloruro férrico no influye en el tratamiento de agua dosificando hidróxido de calcio a esos niveles de pH.

BARIO – Dosificando cloruro férrico

El agua ácida proveniente de la relavera Quiulacocha fue sometida a un proceso de tratamiento con una concentración inicial de 0.02051 mg/l de Bario.

El resultado del análisis del Bario como parámetro, obtenido después de pasar por el sistema de tratamiento dosificando y sin dosificar cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio se representa en la figura 51, donde se muestra que se cumple con el valor establecido en el D.S. N° 004-2017-MINAM, el cual define los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría 3.

Figura 51

Resultados del tratamiento dosificando Cloruro Férrico (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Bario total



Fuente. Elaboración propia

Prueba de Normalidad

Se lleva a cabo el análisis de normalidad de los datos obtenidos base al porcentaje de remoción de Bario, considerando tanto la presencia como la ausencia de dosificación del coagulante (cloruro férrico). Estos datos se obtuvieron empleando diferentes niveles de pH: 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5.

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Los datos examinados presentan una distribución normal.
- Hipótesis alternativa (H_1): Los datos examinados no presentan una distribución normal.

Los supuestos asociados a esta prueba son los siguientes:

- Si el valor de significancia (P) es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0).
- Si el valor de significancia (P) es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alternativa (H_1)

Tabla 21*Prueba de normalidad de Bario en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5*

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Ba.7.5	0.327	3	.	0.872	3	0.300
Ba.7.5.FeCl3	0.321	3	.	0.882	3	0.330
Ba.8.0	0.327	3	.	0.872	3	0.3
Ba.8.0.FeCl3	0.322	3	.	0.881	3	0.326
Ba.8.5	0.253	3	.	0.964	3	0.637
Ba.8.5.FeCl3	0.321	3	.	0.882	3	0.329
Ba.9.0	0.323	3	.	0.878	3	0.318
Ba.9.0.FeCl3	0.322	3	.	0.881	3	0.326
Ba.9.5	0.327	3	.	0.872	3	0.3
Ba.9.5.FeCl3	0.175	3	.	1	3	0.994

Fuente. Elaboración propia

La tabla 21 muestra los resultados del test de Shapiro-Wilk para una muestra pequeña en las pruebas realizadas. Los valores de significancia (P) para Ba.7.5, Ba.7.5.FeCl3, Ba.8.0, Ba.8.0.FeCl3, Ba.8.5, Ba.8.5.FeCl3, Ba.9.0, Ba.9.0.FeCl3, Ba.9.5 y Ba.9.5.FeCl3 son mayores a 0.05. Por consiguiente, se infiere que los resultados de estas pruebas siguen una distribución normal, respaldando la hipótesis H_0 . Esto es crucial para aplicar la Prueba T en el análisis.

Prueba de hipótesis T-Student

Hipótesis

H_0 : La dosificación de cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, no influye significativamente en la remoción de Bario.

H_1 : La dosificación de cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, influye significativamente en la remoción de Bario.

El contraste es bilateral, por lo tanto $0,05 / 2 = 0,025$

$P > 0.025$ se aprueba la H_0

$P < 0.025$ se aprueba la H_1

Tabla 22

Prueba de muestras emparejadas dosificando Cloruro Férrico para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Bario

	Diferencias emparejadas					t	gl	Significación bilateral
	Media	Desv. estándar	Media de error estándar	95 de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Ba.7.5 - Ba.7.5.FeCl3	-0.00991	0.00028	0.00016	-0.0106	-0.00922	-61.938	2	<.001
Ba.8.0 - Ba.8.0.FeCl3	-0.00748	0.00028	0.00016	-0.00817	-0.00678	-46.240	2	<.001
Ba.8.5 - Ba.8.5.FeCl3	-0.00195	0.00195	0.00113	-0.00679	0.00289	-1.732	2	0.225
Ba.9.0 - Ba.9.0.FeCl3	-0.00699	0.00781	0.00451	-0.02639	0.01241	-1.549	2	0.261
Ba.9.5 - Ba.9.5.FeCl3	-0.01495	0.00394	0.00227	-0.02473	-0.00517	-6.578	2	0.022

Fuente. Elaboración propia

Para el caso del parámetro de Bario y considerando un nivel de pH de 7.5 y 8.0, la prueba t de student entre las medias de los porcentajes de remoción de este metal, dosificando y sin dosificar Cloruro férrico (20mg/l), resultó en un nivel de significancia menor que 0.025 (0.05 dividido entre 2 para un contraste bilateral). Por lo tanto, se acepta la hipótesis de que " La dosificación de cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5 y 8.5 influye significativamente en la remoción de Bario.", lo que demuestra que el porcentaje de remoción de Bario a nivel de pH 7.5 y 8.0; es mayor al dosificar cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio.

Sin embargo, a un nivel de pH de 8.5, 9.0 y 9.5 se tiene un nivel de significancia mayor que 0.025. Esto indica que el cloruro férrico no influye en el tratamiento de agua dosificando hidróxido de calcio a eso niveles de pH.

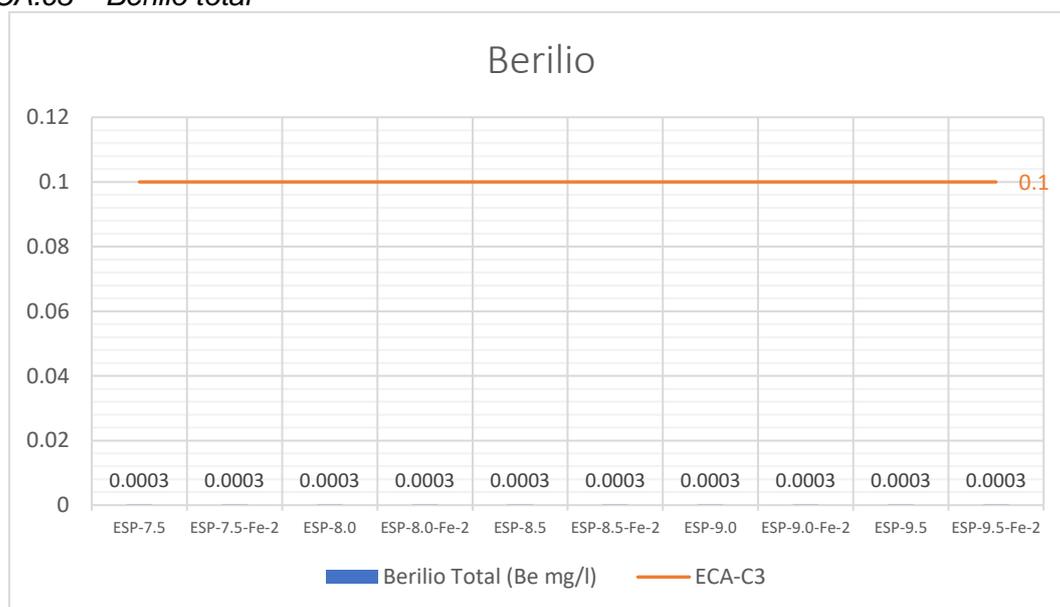
BERILIO – Dosificando cloruro férrico

El agua ácida proveniente de la relavera Quiulacocha fue sometida a un proceso de tratamiento con una concentración inicial de 0.028 mg/l. de Berilio.

El resultado del análisis del Berilio como parámetro, obtenido después de pasar por el sistema de tratamiento dosificando y sin dosificar cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio se representa en la figura 52, donde se muestra que se cumple con el valor establecido en el D.S. N° 004-2017-MINAM, el cual define los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría 3.

Figura 52

Resultados del tratamiento dosificando Cloruro Férrico (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Berilio total



Fuente. Elaboración propia

Prueba de Normalidad

Se lleva a cabo el análisis de normalidad de los datos obtenidos base al porcentaje de remoción de Berilio, considerando tanto la presencia como la ausencia de dosificación del coagulante (cloruro férrico). Estos datos se obtuvieron empleando diferentes niveles de pH: 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5.

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Los datos examinados presentan una distribución normal.
- Hipótesis alternativa (H_1): Los datos examinados no presentan una distribución normal.

Los supuestos asociados a esta prueba son los siguientes:

- Si el valor de significancia (P) es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0).
- Si el valor de significancia (P) es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alternativa (H_1)

Tabla 23

Prueba de normalidad de Berilio en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Be.7.5	.	3	.	.	3	.
Be.7.5.FeCl3	.	3	.	.	3	.
Be.8.0	.	3	.	.	3	.
Be.8.0.FeCl3	.	3	.	.	3	.
Be.8.5	.	3	.	.	3	.
Be.8.5.FeCl3	.	3	.	.	3	.
Be.9.0	.	3	.	.	3	.
Be.9.0.FeCl3	.	3	.	.	3	.
Be.9.5	.	3	.	.	3	.
Be.9.5.FeCl3	.	3	.	.	3	.

Fuente. Elaboración propia

La tabla 23 muestra los resultados del test de Shapiro-Wilk para una muestra pequeña en las pruebas realizadas. Los valores de significancia (P) son menores a 0.05, por consiguiente, se infiere que los resultados de estas pruebas no siguen una distribución normal. Por lo tanto, no aplica realizar la Prueba T en el análisis. Adicionalmente se observa en los resultados de los informes de ensayo que el parámetro Berilio esta por debajo de límite máximo de detección, lo cual magnifica el sustento de no proseguir con la prueba de t student.

BORO – Dosificando cloruro férrico

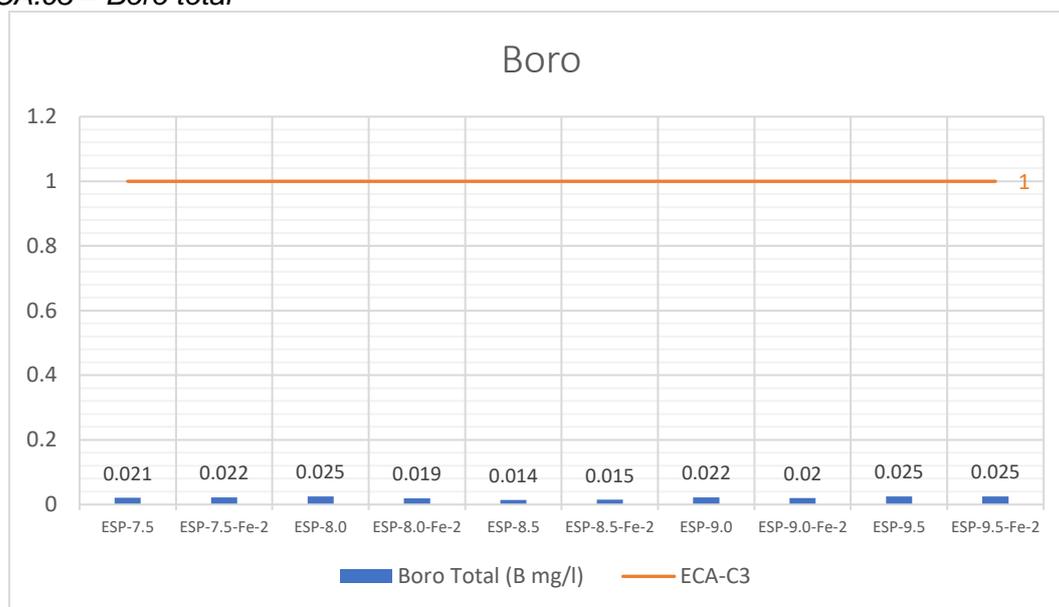
El agua ácida proveniente de la relavera Quiulacocha fue sometida a un proceso de tratamiento con una concentración inicial de 0.042 mg/l de Boro.

El resultado del análisis del Boro como parámetro, obtenido después de pasar por el sistema de tratamiento dosificando y sin dosificar cloruro férrico como

coadyuvante del hidróxido de calcio se representa en la figura 53, donde se muestra que se cumple con el valor establecido en el D.S. N° 004-2017-MINAM, el cual define los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría 3.

Figura 53

Resultados del tratamiento dosificando Cloruro Férrico (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Boro total



Fuente. Elaboración propia

Prueba de Normalidad

Se lleva a cabo el análisis de normalidad de los datos obtenidos base al porcentaje de remoción de Boro, considerando tanto la presencia como la ausencia de dosificación del coagulante (cloruro férrico). Estos datos se obtuvieron empleando diferentes niveles de pH: 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5.

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Los datos examinados presentan una distribución normal.
- Hipótesis alternativa (H_1): Los datos examinados no presentan una distribución normal.

Los supuestos asociados a esta prueba son los siguientes:

- Si el valor de significancia (P) es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0).
- Si el valor de significancia (P) es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alternativa (H_1)

Tabla 24

Prueba de normalidad de Boro en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
B.7.5	0.253	3	.	0.964	3	0.637
B.7.5.FeCl3	0.385	3	.	0.75	3	<.001
B.8.0	0.385	3	.	0.75	3	<.001
B.8.0.FeCl3	0.385	3	.	0.75	3	<.001
B.8.5	0.314	3	.	0.893	3	0.363
B.8.5.FeCl3	0.204	3	.	0.993	3	0.843
B.9.0	0.175	3	.	1	3	1
B.9.0.FeCl3	0.292	3	.	0.923	3	0.463
B.9.5	0.328	3	.	0.871	3	0.298
B.9.5.FeCl3	0.385	3	.	0.75	3	<.001

Fuente. Elaboración propia

La tabla 24 muestra los resultados del test de Shapiro-Wilk para una muestra pequeña en las pruebas realizadas. Los valores de significancia (P) para B.7.5, B.8.5, B.8.5.FeCl3, B.9.0, B.9.0.FeCl3 y B.9.5 son mayores a 0.05. Sin embargo, los resultados que servirán para realizar la comparación del porcentaje de tratamiento no tienen un valor de significancia mayor a 0.05. Por consiguiente, no se puede aplicar la prueba de T student.

CADMIO – Dosificando cloruro férrico

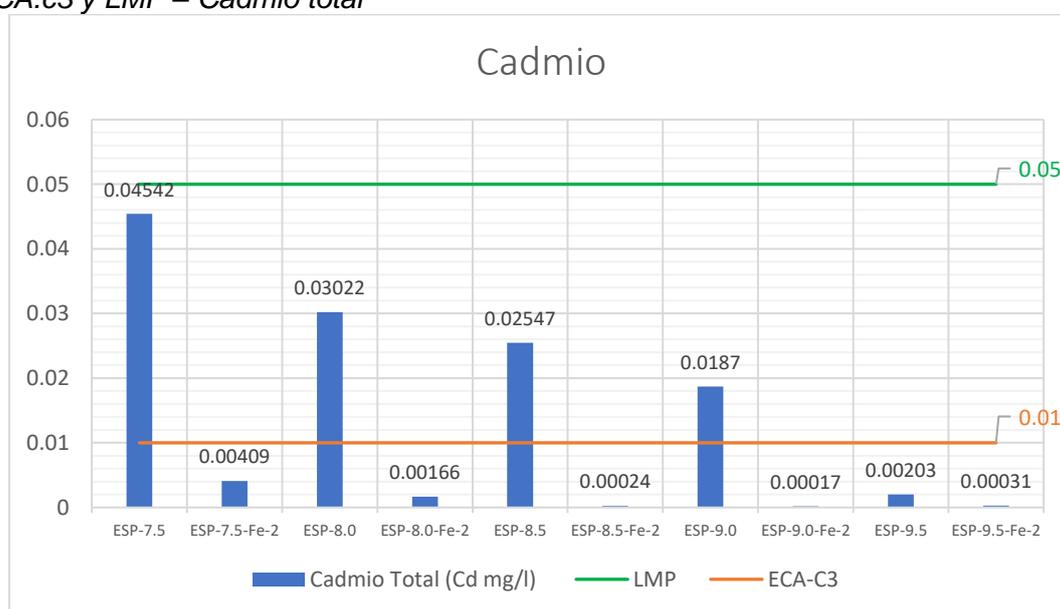
El agua ácida proveniente de la relavera Quiulacocha fue sometida a un proceso de tratamiento con una concentración inicial de 0.41659 mg/l de Cadmio.

El resultado del análisis del Cadmio como parámetro, obtenido después de pasar por el sistema de tratamiento dosificando y sin dosificar cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio se representa en la figura 54, donde se muestra que se cumple con el valor establecido en el D.S. N° 004-2017-MINAM, el cual define

los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría 3. Sin embargo, los resultados, sin considerar la dosificación del cloruro férrico, no cumplen con el valor establecido en los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas D.S N° 010-2010-MINAM. No obstante, si se dosifica el coadyuvante, se llega a cumplir con los LMP en todos los niveles de Ph.

Figura 54

Resultados del tratamiento dosificando Cloruro Férrico (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 y LMP – Cadmio total



Fuente. Elaboración propia

Prueba de Normalidad

Se lleva a cabo el análisis de normalidad de los datos obtenidos base al porcentaje de remoción de Cadmio, considerando tanto la presencia como la ausencia de dosificación del coagulante (cloruro férrico). Estos datos se obtuvieron empleando diferentes niveles de pH: 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5.

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Los datos examinados presentan una distribución normal.

- Hipótesis alternativa (H_1): Los datos examinados no presentan una distribución normal.

Los supuestos asociados a esta prueba son los siguientes:

- Si el valor de significancia (P) es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0).
- Si el valor de significancia (P) es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alternativa (H_1)

Tabla 25

Prueba de normalidad de Cadmio en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Cd.7.5	0.338	3	.	0.852	3	0.246
Cd.7.5.FeCl3	0.31	3	.	0.898	3	0.380
Cd.8.0	0.328	3	.	0.871	3	0.298
Cd.8.0.FeCl3	0.236	3	.	0.977	3	0.712
Cd.8.5	0.191	3	.	0.997	3	0.9
Cd.8.5.FeCl3	0.243	3	.	0.972	3	0.679
Cd.9.0	0.175	3	.	1	3	1
Cd.9.0.FeCl3	0.325	3	.	0.875	3	0.309
Cd.9.5	0.314	3	.	0.893	3	0.363
Cd.9.5.FeCl3	0.324	3	.	0.878	3	0.317

Fuente. Elaboración propia

La tabla 25 muestra los resultados del test de Shapiro-Wilk para una muestra pequeña en las pruebas realizadas. Los valores de significancia (P) para Cd.7.5, Cd.7.5.FeCl3, Cd.8.0, Cd.8.0.FeCl3, Cd.8.5, Cd.8.5.FeCl3, Cd.9.0, Cd.9.0.FeCl3, Cd.9.5 y Cd.9.5.FeCl3 son mayores a 0.05. Por consiguiente, se infiere que los resultados de estas pruebas siguen una distribución normal, respaldando la hipótesis H_0 . Esto es crucial para aplicar la Prueba T en el análisis.

Prueba de hipótesis T-Student

Hipótesis

H0: La dosificación de cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, no influye significativamente en la remoción de Cadmio.

H1: La dosificación de cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, influye significativamente en la remoción de Cadmio.

El contraste es bilateral, por lo tanto $0,05 / 2 = 0,025$

$P > 0.025$ se aprueba la *H0*

$P < 0.025$ se aprueba la *H1*

Tabla 26:

Prueba de muestras emparejadas dosificando Cloruro Férrico para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Cadmio

	Diferencias emparejadas					t	gl	Significación bilateral
	Media	Desv. estándar	Media de error estándar	95 de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Cd.7.5 - Cd.7.5.FeCl3	-0.09920	0.0003	0.00017	-0.09995	-0.09845	-568.951	2	<.001
Cd.8.0 - Cd.8.0.FeCl3	-0.06857	0.00023	0.00013	-0.06914	-0.06799	-512.332	2	<.001
Cd.8.5 - Cd.8.5.FeCl3	-0.06055	0.00028	0.00016	-0.06125	-0.05985	-371.722	2	<.001
Cd.9.0 - Cd.9.0.FeCl3	-0.04447	0.0002	0.00012	-0.04498	-0.04397	-380.270	2	<.001
Cd.9.5 - Cd.9.5.FeCl3	-0.00414	0.0001	0.00006	-0.00438	-0.0039	-73.889	2	<.001

Fuente. Elaboración propia

Para el caso del parámetro de Cadmio, la prueba t de student entre las medias de los porcentajes de remoción de este metal, dosificando y sin dosificar Cloruro férrico (20mg/l), resultó en un nivel de significancia menor que 0.025 (0.05 dividido entre 2 para un contraste bilateral). Por lo tanto, se acepta la hipótesis de que " La dosificación de cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 influye significativamente en la remoción de Cadmio.", lo que demuestra que el porcentaje de

remoción de Cadmio a nivel de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5; es mayor al dosificar cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio.

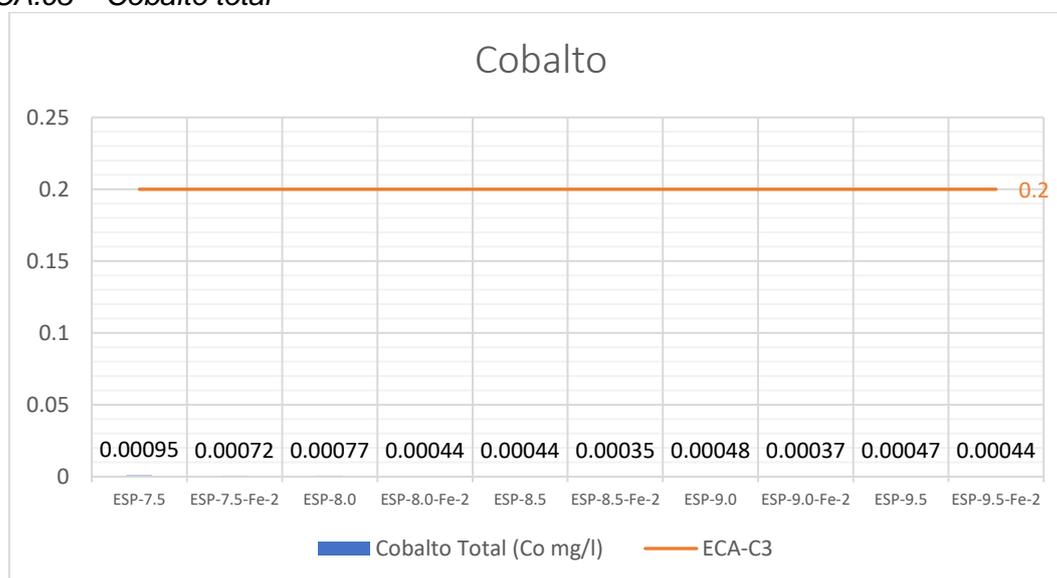
COBALTO – Dosificando cloruro férrico

El agua ácida proveniente de la relavera Quiulacocha fue sometida a un proceso de tratamiento con una concentración inicial de 0.03724 mg/l de Cobalto.

El resultado del análisis del Cobalto como parámetro, obtenido después de pasar por el sistema de tratamiento dosificando y sin dosificar cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio se representa en la figura 55, donde se muestra que se cumple con el valor establecido en los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas D.S N° 010-2010-MINAM y con el D.S. N° 004-2017-MINAM, el cual define los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría 3.

Figura 55

Resultados del tratamiento dosificando Cloruro Férrico (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Cobalto total



Fuente. Elaboración propia

Prueba de Normalidad

Se lleva a cabo el análisis de normalidad de los datos obtenidos base al porcentaje de remoción de Cobalto, considerando tanto la presencia como la ausencia

de dosificación del coagulante (cloruro férrico). Estos datos se obtuvieron empleando diferentes niveles de pH: 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5.

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Los datos examinados presentan una distribución normal.
- Hipótesis alternativa (H_1): Los datos examinados no presentan una distribución normal.

Los supuestos asociados a esta prueba son los siguientes:

- Si el valor de significancia (P) es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0).
- Si el valor de significancia (P) es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alternativa (H_1)

Tabla 27

Prueba de normalidad de Cobalto en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Co.7.5	0.266	3	.	0.952	3	0.580
Co.7.5.FeCl ₃	0.203	3	.	0.994	3	0.848
Co.8.0	0.352	3	.	0.824	3	0.174
Co.8.0.FeCl ₃	0.175	3	.	1	3	0.995
Co.8.5	0.175	3	.	1	3	0.997
Co.8.5.FeCl ₃	0.232	3	.	0.979	3	0.725
Co.9.0	0.191	3	.	0.997	3	0.899
Co.9.0.FeCl ₃	0.24	3	.	0.974	3	0.692
Co.9.5	0.345	3	.	0.84	3	0.213
Co.9.5.FeCl ₃	0.313	3	.	0.894	3	0.366

Fuente. Elaboración propia

La tabla 27 muestra los resultados del test de Shapiro-Wilk para una muestra pequeña en las pruebas realizadas. Los valores de significancia (P) para Co.7.5, Co.7.5.FeCl₃, Co.8.0, Co.8.0.FeCl₃, Co.8.5, Co.8.5.FeCl₃, Co.9.0, Co.9.0.FeCl₃, Co.9.5 y Co.9.5.FeCl₃ son mayores a 0.05. Por consiguiente, se infiere que los

resultados de estas pruebas siguen una distribución normal, respaldando la hipótesis H_0 . Esto es crucial para aplicar la Prueba T en el análisis.

Prueba de hipótesis T-Student

Hipótesis

H_0 : La dosificación de cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, no influye significativamente en la remoción de Cobalto.

H_1 : La dosificación de cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, influye significativamente en la remoción de Cobalto.

El contraste es bilateral, por lo tanto $0,05 / 2 = 0,025$

$P > 0.025$ se aprueba la H_0

$P < 0.025$ se aprueba la H_1

Tabla 28

Prueba de muestras emparejadas dosificando Cloruro Férrico para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Cobalto

	Diferencias emparejadas					t	gl	Significación bilateral
	Media	Desv. estándar	Media de error estándar	95 de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Co.7.5 - Co.7.5.FeCl ₃	-0.00618	0.00363	0.0021	-0.0152	0.00285	-2.945	2	0.099
Co.8.0 - Co.8.0.FeCl ₃	-0.00877	0.00191	0.0011	-0.0135	-0.00404	-7.971	2	0.015
Co.8.5 - Co.8.5.FeCl ₃	-0.00233	0.00217	0.00125	-0.00772	0.00307	-1.856	2	0.205
Co.9.0 - Co.9.0.FeCl ₃	-0.00296	0.00302	0.00174	-0.01046	0.00455	-1.694	2	0.232
Co.9.5 - Co.9.5.FeCl ₃	-0.00081	0.00188	0.00108	-0.00546	0.00385	-0.745	2	0.534

Fuente. Elaboración propia

Para el caso del parámetro de Cobalto y considerando un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 la prueba t de student entre las medias de los porcentajes de remoción de este metal, dosificando y sin dosificar Cloruro férrico (20mg/l), resultó en un nivel de

significancia mayor a 0.025 (0.05 dividido entre 2 para un contraste bilateral). Por lo tanto, se rechaza la hipótesis de que " La dosificación de cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 influye significativamente en la remoción de Cobalto."

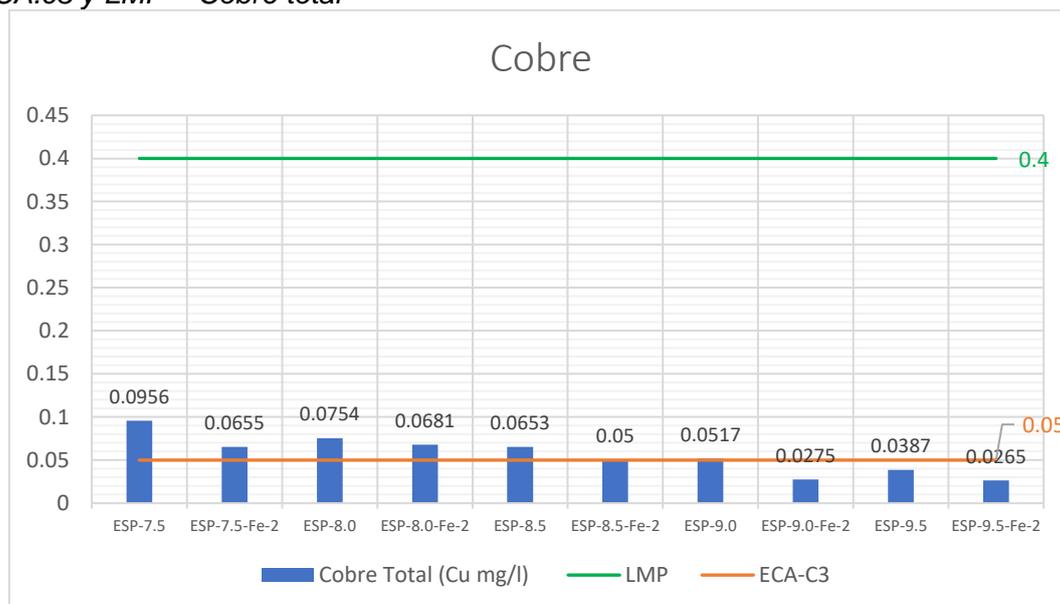
COBRE – Dosificando cloruro férrico

El agua ácida proveniente de la relavera Quiulacocha fue sometida a un proceso de tratamiento con una concentración inicial de 2.1710 mg/l de Cobre.

El resultado del análisis del Arsénico como parámetro, obtenido después de pasar por el sistema de tratamiento dosificando y sin dosificar cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio se representa en la figura 56, donde se muestra que cumple con el valor establecido en los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas D.S N° 010-2010-MINAM. Sin embargo, los valores solo cumplen con el ECA-C3 a partir de un nivel de pH de 8.5 dosificando el cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio.

Figura 56

Resultados del tratamiento dosificando Cloruro Férrico (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 y LMP – Cobre total



Fuente. Elaboración propia

Prueba de Normalidad

Se lleva a cabo el análisis de normalidad de los datos obtenidos base al porcentaje de remoción de Cobre, considerando tanto la presencia como la ausencia de dosificación del coagulante (cloruro férrico). Estos datos se obtuvieron empleando diferentes niveles de pH: 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5.

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Los datos examinados presentan una distribución normal.
- Hipótesis alternativa (H_1): Los datos examinados no presentan una distribución normal.

Los supuestos asociados a esta prueba son los siguientes:

- Si el valor de significancia (P) es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0).
- Si el valor de significancia (P) es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alternativa (H_1).

Tabla 29

Prueba de normalidad de Cobre en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Cu.7.5	0.273	3	.	0.945	3	0.548
Cu.7.5.FeCl3	0.29	3	.	0.926	3	0.473
Cu.8.0	0.385	3	.	0.75	3	0.384
Cu.8.0.FeCl3	0.34	3	.	0.849	3	0.238
Cu.8.5	0.323	3	.	0.879	3	0.321
Cu.8.5.FeCl3	0.175	3	.	1	3	1
Cu.9.0	0.385	3	.	0.895	3	0.425
Cu.9.0.FeCl3	0.224	3	.	0.984	3	0.762
Cu.9.5	0.343	3	.	0.842	3	0.22
Cu.9.5.FeCl3	0.264	3	.	0.954	3	0.589

Fuente. Elaboración propia

La tabla 29 muestra los resultados del test de Shapiro-Wilk para una muestra pequeña en las pruebas realizadas. Los valores de significancia (P) para Cu.7.5,

Cu.7.5.FeCl₃, Cu.8.0, Cu.8.0.FeCl₃, Cu.8.5, Cu.8.5.FeCl₃, Cu.9.0, Cu.9.0.FeCl₃, Cu.9.5 y Cu.9.5.FeCl₃ son mayores a 0.05. Por consiguiente, se infiere que los resultados de estas pruebas siguen una distribución normal, respaldando la hipótesis H_0 . Esto es crucial para aplicar la Prueba T en el análisis.

Prueba de hipótesis T-Student

Hipótesis

H_0 : La dosificación de cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, no influye significativamente en la remoción de Cobre.

H_1 : La dosificación de cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, influye significativamente en la remoción de Cobre.

El contraste es bilateral, por lo tanto $0,05 / 2 = 0,025$

$P > 0.025$ se aprueba la H_0

$P < 0.025$ se aprueba la H_1

Tabla 30

Prueba de muestras emparejadas dosificando Cloruro Férrico para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Cobre

	Diferencias emparejadas					t	gl	Significación bilateral
	Media	Desv. estándar	Media de error estándar	95 de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Cu.7.5 - Cu.7.5.FeCl ₃	-0.01388	0.00035	0.0002	-0.01475	-0.01301	-68.604	2	<.001
Cu.8.0 - Cu.8.0.FeCl ₃	-0.00334	0.00017	0.0001	-0.00377	-0.00292	-33.640	2	<.001
Cu.8.5 - Cu.8.5.FeCl ₃	-0.00703	0.00028	0.00016	-0.00774	-0.00632	-42.757	2	<.001
Cu.9.0 - Cu.9.0.FeCl ₃	-0.01115	0.0001	0.00005	-0.01138	-0.01091	-203.134	2	<.001
Cu.9.5 - Cu.9.5.FeCl ₃	-0.00564	0.00036	0.00021	-0.00654	-0.00474	-26.971	2	0.001

Fuente. Elaboración propia

Para el caso del parámetro de Cobre, la prueba t de student entre las medias de los porcentajes de remoción de este metal, dosificando y sin dosificar Cloruro férrico (20mg/l), resultó en un nivel de significancia menor que 0.025 (0.05 dividido entre 2 para un contraste bilateral). Por lo tanto, se acepta la hipótesis de que "La dosificación de cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 influye significativamente en la remoción de Aluminio.", lo que demuestra que los porcentajes de remoción de Cobre a nivel de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5; es mayor al dosificar cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio.

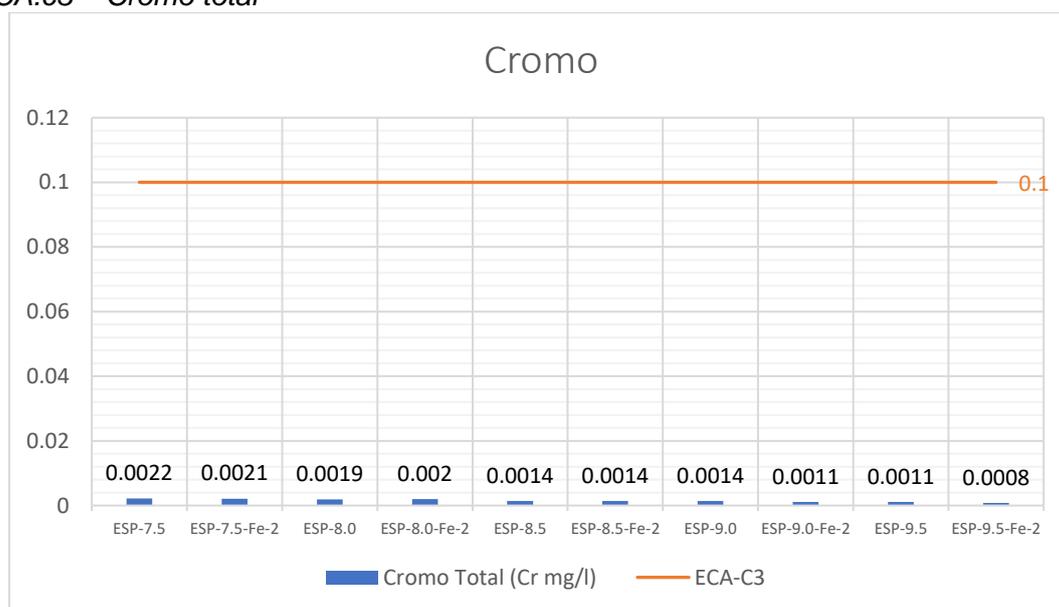
CROMO – Dosificando cloruro férrico

El agua ácida proveniente de la relavera Quiulacocha fue sometida a un proceso de tratamiento con una concentración inicial de 0.0180 mg/l de Cromo.

El resultado del análisis del Cromo como parámetro, obtenido después de pasar por el sistema de tratamiento, se representa en la figura 57 que demuestra que se cumple con el valor establecido en el D.S. N° 004-2017-MINAM, el cual define los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría 3.

Figura 57

Resultados del tratamiento dosificando Cloruro Férrico (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Cromo total



Fuente. Elaboración propia

Prueba de Normalidad

Se lleva a cabo el análisis de normalidad de los datos obtenidos base al porcentaje de remoción de Cromo, considerando tanto la presencia como la ausencia de dosificación del coagulante (cloruro férrico). Estos datos se obtuvieron empleando diferentes niveles de pH: 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5.

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Los datos examinados presentan una distribución normal.
- Hipótesis alternativa (H_1): Los datos examinados no presentan una distribución normal.

Los supuestos asociados a esta prueba son los siguientes:

- Si el valor de significancia (P) es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0).
- Si el valor de significancia (P) es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alternativa (H_1)

Tabla 31

Prueba de normalidad de Cromo en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Cr.7.5	0.385	3	.	0.75	3	<.001
Cr.7.5.FeCl3	0.385	3	.	0.75	3	<.001
Cr.8.0	0.385	3	.	0.75	3	<.001
Cr.8.0.FeCl3	0.385	3	.	0.75	3	<.001
Cr.8.5	0.253	3	.	0.964	3	0.637
Cr.8.5.FeCl3	0.385	3	.	0.75	3	<.001
Cr.9.0	0.253	3	.	0.964	3	0.636
Cr.9.0.FeCl3	0.292	3	.	0.923	3	0.464
Cr.9.5	0.292	3	.	0.923	3	0.464
Cr.9.5.FeCl3	0.253	3	.	0.964	3	0.636

Fuente. Elaboración propia

La tabla 31 muestra los resultados del test de Shapiro-Wilk para una muestra pequeña en las pruebas realizadas. Los valores de significancia (P) para Cr.7.5,

Cr.7.5.FeCl₃, Cr.8.0 y Cr.8.0.FeCl₃ son mayores a 0.05. Por consiguiente, se infiere que los resultados de estas pruebas siguen una distribución normal, respaldando la hipótesis *H0*. Esto es crucial para aplicar la Prueba T en el análisis.

Prueba de hipótesis T-Student

Hipótesis

H0: La dosificación de cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, no influye significativamente en la remoción de Cromo.

H1: La dosificación de cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, influye significativamente en la remoción de Cromo.

El contraste es bilateral, por lo tanto $0,05 / 2 = 0,025$

$P > 0.025$ se aprueba la *H0*

$P < 0.025$ se aprueba la *H1*

Tabla 32

Prueba de muestras emparejadas dosificando Cloruro Férrico para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Cromo

	Diferencias emparejadas					t	gl	Significación bilateral
	Media	Desv. estándar	Media de error estándar	95 de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Cr.7.5 - Cr.7.5.FeCl ₃	-0.00370	0.01156	0.00667	-0.03242	0.02501	-0.555	2	0.635
Cr.8.0 - Cr.8.0.FeCl ₃	0.00556	0.00556	0.00321	-0.00824	0.01936	1.733	2	0.225
Cr.8.5 - Cr.8.5.FeCl ₃	-0.00185	0.01698	0.0098	-0.04402	0.04032	-0.189	2	0.867
Cr.9.0 - Cr.9.0.FeCl ₃	-0.01667	0.00556	0.00321	-0.03047	-0.00287	-5.197	2	0.035
Cr.9.5 - Cr.9.5.FeCl ₃	-0.01296	0.01786	0.01031	-0.05732	0.03139	-1.257	2	0.336

Fuente. Elaboración propia

Para el caso del parámetro de Cromo y considerando un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 la prueba t de student entre las medias de los porcentajes de remoción de este metal, dosificando y sin dosificar Cloruro férrico (20mg/l), resultó en un nivel de

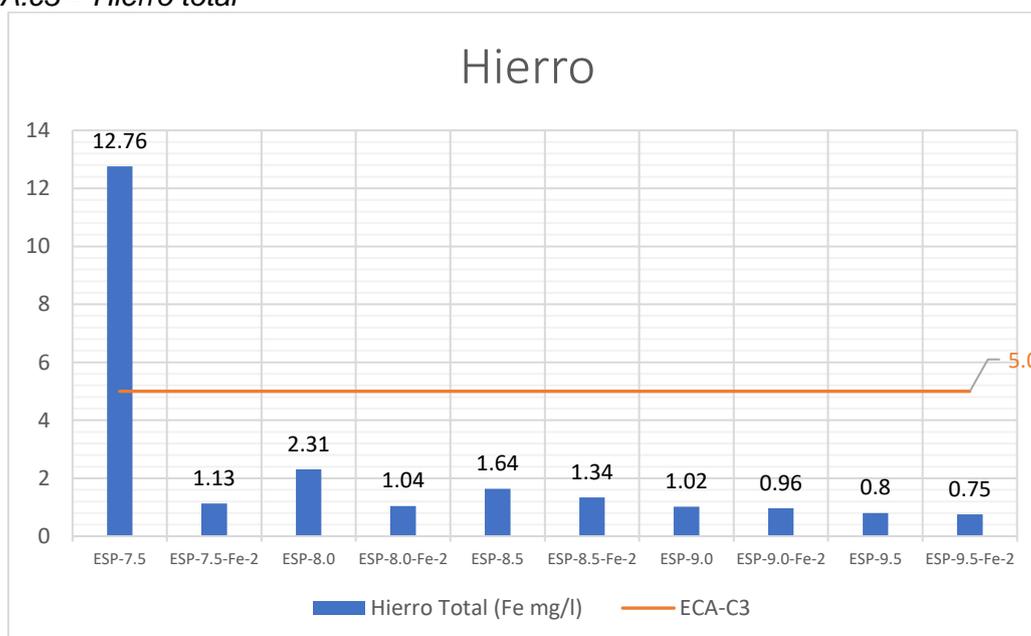
significancia mayor que 0.025 (0.05 dividido entre 2 para un contraste bilateral). Por lo tanto, se rechaza la hipótesis de que " La dosificación de cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 influye significativamente en la remoción de Cromo."

HIERRO – Dosificando cloruro férrico

El agua ácida proveniente de la relavera Quiulacocha fue sometida a un proceso de tratamiento con una concentración inicial de 969.78 mg/l de Hierro. El resultado del análisis del Hierro como parámetro, obtenido después de pasar por el sistema de tratamiento dosificando y sin dosificar cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio se representa en la figura 58, donde se muestra que se cumple con el valor establecido en el D.S. N° 004-2017-MINAM, el cual define los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría 3, con excepción de la muestra ESP-7.5, cuyo nivel de tratamiento fue de 7.5 de pH y no se dosificó cloruro férrico.

Figura 58

Resultados del tratamiento dosificando Cloruro Férrico (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Hierro total



Fuente. Elaboración propia

Prueba de Normalidad

Se lleva a cabo el análisis de normalidad de los datos obtenidos base al porcentaje de remoción de Hierro, considerando tanto la presencia como la ausencia de dosificación del coagulante (cloruro férrico). Estos datos se obtuvieron empleando diferentes niveles de pH: 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5.

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Los datos examinados presentan una distribución normal.
- Hipótesis alternativa (H_1): Los datos examinados no presentan una distribución normal.

Los supuestos asociados a esta prueba son los siguientes:

- Si el valor de significancia (P) es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0).
- Si el valor de significancia (P) es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alternativa (H_1)

Tabla 33

Prueba de normalidad de Hierro en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Fe.7.5	0.269	3	.	0.949	3	0.567
Fe.7.5.FeCl3	0.253	3	.	0.964	3	0.637
Fe.8.0	0.253	3	.	0.964	3	0.637
Fe.8.0.FeCl3	0.292	3	.	0.923	3	0.463
Fe.8.5	0.385	3	.	0.851	3	0.523
Fe.8.5.FeCl3	0.253	3	.	0.964	3	0.637
Fe.9.0	0.34	3	.	0.848	3	0.235
Fe.9.0.FeCl3	0.253	3	.	0.964	3	0.637
Fe.9.5	0.353	3	.	0.824	3	0.174
Fe.9.5.FeCl3	0.353	3	.	0.824	3	0.174

Fuente. Elaboración propia

La tabla 33 muestra los resultados del test de Shapiro-Wilk para una muestra pequeña en las pruebas realizadas. Los valores de significancia (P) para Fe.7.5,

Fe.7.5.FeCl₃, Fe.8.0, Fe.8.0.FeCl₃, Fe.8.5, Fe.8.5.FeCl₃, Fe.9.0, Fe.9.0.FeCl₃, Fe.9.5 y Fe.9.5.FeCl₃ son mayores a 0.05. Por consiguiente, se infiere que los resultados de estas pruebas siguen una distribución normal, respaldando la hipótesis *H0*. Esto es crucial para aplicar la Prueba T en el análisis.

Prueba de hipótesis T-Student

Hipótesis

H0: La dosificación de cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, no influye significativamente en la remoción de Hierro.

H1: La dosificación de cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, influye significativamente en la remoción de Hierro.

El contraste es bilateral, por lo tanto $0,05 / 2 = 0,025$

$P > 0.025$ se aprueba la *H0*

$P < 0.025$ se aprueba la *H1*

Tabla 34

Prueba de muestras emparejadas dosificando Cloruro Férrico para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Hierro

	Diferencias emparejadas					t	gl	Significación bilateral
	Media	Desv. estándar	Media de error estándar	95 de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Fe.7.5 - Fe.7.5.FeCl ₃	-0.01200	0.00007	0.00004	-0.01216	-0.01183	-312.073	2	<.001
Fe.8.0 - Fe.8.0.FeCl ₃	-0.00131	0.00003	0.00002	-0.0014	-0.00122	-65.500	2	<.001
Fe.8.5 - Fe.8.5.FeCl ₃	-0.00031	0.00002	0.00001	-0.00035	-0.00027	-31.000	2	0.001
Fe.9.0 - Fe.9.0.FeCl ₃	-0.00006	0.00008	0.00005	-0.00025	0.00013	-1.331	2	0.315
Fe.9.5 - Fe.9.5.FeCl ₃	-0.00005	0.00006	0.00004	-0.0002	0.00011	-1.273	2	0.331

Fuente. Elaboración propia

Para el caso del parámetro de Hierro y considerando un nivel de pH de 7.5, 8.0 y 8.5, la prueba t de student entre las medias de los porcentajes de remoción de este metal, dosificando y sin dosificar Cloruro férrico (20mg/l), resultó en un nivel de

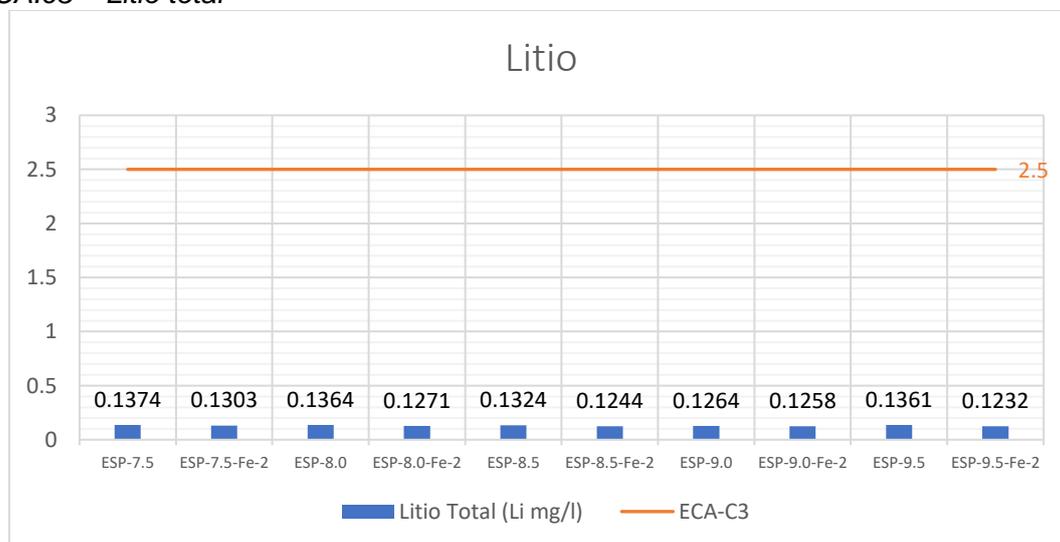
significancia menor que 0.025 (0.05 dividido entre 2 para un contraste bilateral). Por lo tanto, se acepta la hipótesis de que " La dosificación de cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, y 8.5 influye significativamente en la remoción de Hierro.", lo que demuestra que los porcentajes de remoción de Hierro a nivel de pH 7.5, 8.0 y 8.5; es mayor al dosificar cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio. Sin embargo, a un nivel de pH de 9.0 y 9.5 se tiene un nivel de significancia mayor que 0.025. Esto indica que el cloruro férrico no influye en el tratamiento de agua dosificando hidróxido de calcio a eso niveles de pH.

LITIO – Dosificando cloruro férrico

El agua ácida proveniente de la relavera Quiulacocha fue sometida a un proceso de tratamiento con una concentración inicial de 0.1835 mg/l de Litio. El resultado del análisis del Litio como parámetro, obtenido después de pasar por el sistema de tratamiento dosificando y sin dosificar cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio se representa en la figura 59, donde se muestra que se cumple con el valor establecido en el D.S. N° 004-2017-MINAM, el cual define los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría 3.

Figura 59

Resultados del tratamiento dosificando Cloruro Férrico (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Litio total



Fuente. Elaboración propia

Prueba de Normalidad

Se lleva a cabo el análisis de normalidad de los datos obtenidos base al porcentaje de remoción de Litio, considerando tanto la presencia como la ausencia de dosificación del coagulante (cloruro férrico). Estos datos se obtuvieron empleando diferentes niveles de pH: 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5.

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Los datos examinados presentan una distribución normal.
- Hipótesis alternativa (H_1): Los datos examinados no presentan una distribución normal.

Los supuestos asociados a esta prueba son los siguientes:

- Si el valor de significancia (P) es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0).
- Si el valor de significancia (P) es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alternativa (H_1).

Tabla 35

Prueba de normalidad de Litio en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Li.7.5	0.292	3	.	0.923	3	0.463
Li.7.5.FeCl3	0.314	3	.	0.893	3	0.363
Li.8.0	0.314	3	.	0.893	3	0.363
Li.8.0.FeCl3	0.219	3	.	0.987	3	0.78
Li.8.5	0.261	3	.	0.957	3	0.601
Li.8.5.FeCl3	0.181	3	.	0.999	3	0.94
Li.9.0	0.205	3	.	0.993	3	0.843
Li.9.0.FeCl3	0.379	3	.	0.765	3	0.033
Li.9.5	0.205	3	.	0.993	3	0.843
Li.9.5.FeCl3	0.285	3	.	0.932	3	0.497

Fuente. Elaboración propia

La tabla 35 muestra los resultados del test de Shapiro-Wilk para una muestra pequeña en las pruebas realizadas. Los valores de significancia (P) para Li.7.5,

Li.7.5.FeCl₃, Li.8.0, Li.8.0.FeCl₃, Li.8.5, Li.8.5.FeCl₃, Li.9.0, Li.9.0.FeCl₃ Li.9.5 y Li.9.5.FeCl₃ son mayores a 0.05. Por consiguiente, se infiere que los resultados de estas pruebas siguen una distribución normal, respaldando la hipótesis *H0*. Esto es crucial para aplicar la Prueba T en el análisis.

Prueba de hipótesis T-Student

Hipótesis

H0: La dosificación de cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, no influye significativamente en la remoción de Litio.

H1: La dosificación de cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, influye significativamente en la remoción de Litio.

El contraste es bilateral, por lo tanto $0,05 / 2 = 0,025$

$P > 0.025$ se aprueba la *H0*

$P < 0.025$ se aprueba la *H1*

Tabla 36

Prueba de muestras emparejadas dosificando Cloruro Férrico para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Litio

	Diferencias emparejadas					t	gl	Significación bilateral
	Media	Desv. estándar	Media de error estándar	95 de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Li.7.5 - Li.7.5.FeCl ₃	-0.03851	0.02576	0.01487	-0.10249	0.02547	-2.59	2	0.122
Li.8.0 - Li.8.0.FeCl ₃	-0.0505	0.01134	0.00655	-0.07868	-0.02232	-7.710	2	0.016
Li.8.5 - Li.8.5.FeCl ₃	-0.04378	0.03819	0.02205	-0.13866	0.0511	-1.985	2	0.186
Li.9.0 - Li.9.0.FeCl ₃	-0.00309	0.08405	0.04852	-0.21187	0.2057	-0.064	2	0.955
Li.9.5 - Li.9.5.FeCl ₃	-0.07048	0.0375	0.02165	-0.16363	0.02267	-3.255	2	0.083

Fuente. Elaboración propia

Para el caso del parámetro de Litio, la prueba t de student entre las medias de los porcentajes de remoción de este metal, dosificando y sin dosificar Cloruro férrico

(20mg/l), resultó en un nivel de significancia mayor que 0.025 (0.05 dividido entre 2 para un contraste bilateral). Por lo tanto, se rechaza la hipótesis de que " La dosificación de cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 influye significativamente en la remoción de Litio."

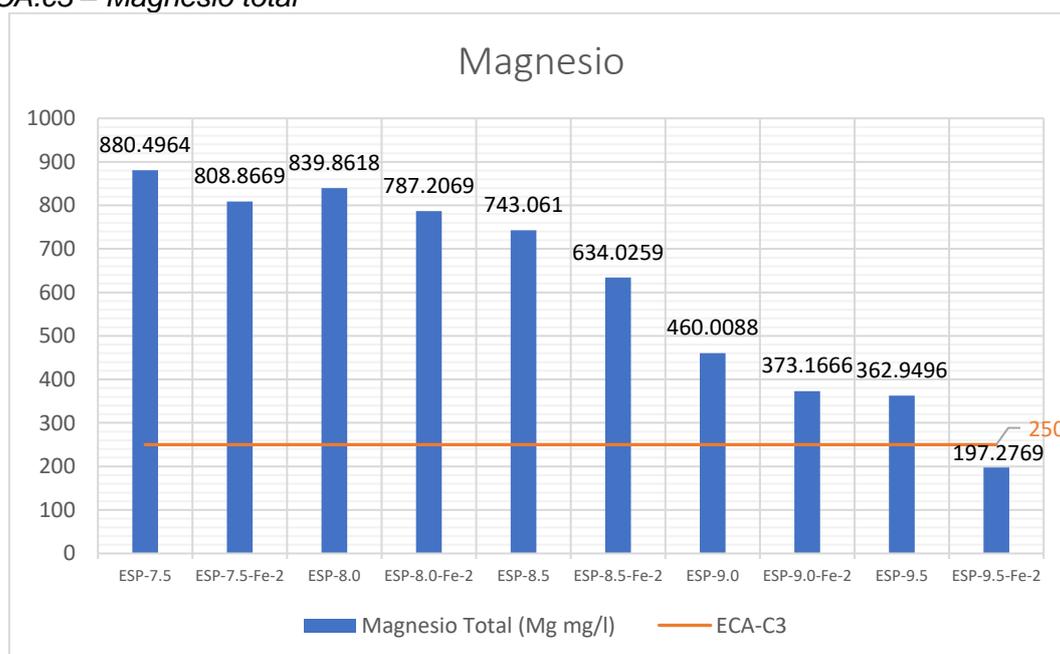
MAGNESIO – Dosificando cloruro férrico

El agua ácida proveniente de la relavera Quiulacocha fue sometida a un proceso de tratamiento con una concentración inicial de 1055.3487 mg/l de Magnesio.

El resultado del análisis del Magnesio como parámetro, obtenido después de pasar por el sistema de tratamiento dosificando y sin dosificar cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio se representa en la figura 60, donde se muestra que no se cumple con el valor establecido en los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría 3, con excepción de la prueba ESP-9.5-Fe-2, que se refiere al tratamiento con un nivel de pH de 9.5 y dosificando el coagulante cloruro férrico a una concentración de 20mg/l.

Figura 60

Resultados del tratamiento dosificando Cloruro Férrico (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Magnesio total



Fuente. Elaboración propia

Prueba de Normalidad

Se lleva a cabo el análisis de normalidad de los datos obtenidos base al porcentaje de remoción de Magnesio, considerando tanto la presencia como la ausencia de dosificación del coagulante (cloruro férrico). Estos datos se obtuvieron empleando diferentes niveles de pH: 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5.

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Los datos examinados presentan una distribución normal.
- Hipótesis alternativa (H_1): Los datos examinados no presentan una distribución normal.

Los supuestos asociados a esta prueba son los siguientes:

- Si el valor de significancia (P) es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0).
- Si el valor de significancia (P) es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alternativa (H_1).

Tabla 37

Prueba de normalidad de Magnesio en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Mg.7.5	0.359	3	.	0.811	3	0.142
Mg.7.5.FeCl3	0.297	3	.	0.917	3	0.443
Mg.8.0	0.347	3	.	0.835	3	0.201
Mg.8.0.FeCl3	0.21	3	.	0.991	3	0.819
Mg.8.5	0.338	3	.	0.853	3	0.249
Mg.8.5.FeCl3	0.218	3	.	0.987	3	0.786
Mg.9.0	0.3	3	.	0.912	3	0.426
Mg.9.0.FeCl3	0.248	3	.	0.968	3	0.659
Mg.9.5	0.222	3	.	0.985	3	0.768
Mg.9.5.FeCl3	0.191	3	.	0.997	3	0.898

Fuente. Elaboración propia

La tabla 37 muestra los resultados del test de Shapiro-Wilk para una muestra pequeña en las pruebas realizadas. Los valores de significancia (P) para Mg.7.5, Mg.7.5.FeCl3,

Mg.8.0, Mg.8.0.FeCl₃, Mg.8.5, Mg.8.5.FeCl₃, Mg.9.0, Mg.9.0.FeCl₃, Mg.9.5 y Mg.9.5.FeCl₃ son mayores a 0.05. Por consiguiente, se infiere que los resultados de estas pruebas siguen una distribución normal, respaldando la hipótesis *H0*. Esto es crucial para aplicar la Prueba T en el análisis.

Prueba de hipótesis T-Student

Hipótesis

H0: La dosificación de cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, no influye significativamente en la remoción de Magnesio.

H1: La dosificación de cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, influye significativamente en la remoción de Magnesio.

El contraste es bilateral, por lo tanto $0,05 / 2 = 0,025$

$P > 0.025$ se aprueba la *H0*

$P < 0.025$ se aprueba la *H1*

Tabla 38

Prueba de muestras emparejadas dosificando Cloruro Férrico para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Magnesio

	Diferencias emparejadas					t	gl	Significación bilateral
	Media	Desv. estándar	Media de error estándar	95 de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Mg.7.5 - Mg.7.5.FeCl ₃	-0.06787	0.00092	0.00053	-0.07016	-0.06558	-127.326	2	<.001
Mg.8.0 - Mg.8.0.FeCl ₃	-0.04989	0.00092	0.00053	-0.05218	-0.04761	-93.836	2	<.001
Mg.8.5 - Mg.8.5.FeCl ₃	-0.10332	0.00107	0.00062	-0.10597	-0.10067	-167.578	2	<.001
Mg.9.0 - Mg.9.0.FeCl ₃	-0.08229	0.00026	0.00015	-0.08293	-0.08165	-554.637	2	<.001
Mg.9.5 - Mg.9.5.FeCl ₃	-0.15699	0.00117	0.00068	-0.15989	-0.15408	-232.330	2	<.001

Fuente. Elaboración propia

Para el caso del parámetro de Magnesio, la prueba t de student entre las medias de los porcentajes de remoción de este metal, dosificando y sin dosificar Cloruro férrico

(20mg/l), resultó en un nivel de significancia menor que 0.025 (0.05 dividido entre 2 para un contraste bilateral). Por lo tanto, se acepta la hipótesis de que " La dosificación de cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 influye significativamente en la remoción de Magnesio.", lo que demuestra que el porcentaje de remoción de Magnesio; es mayor al dosificar cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio.

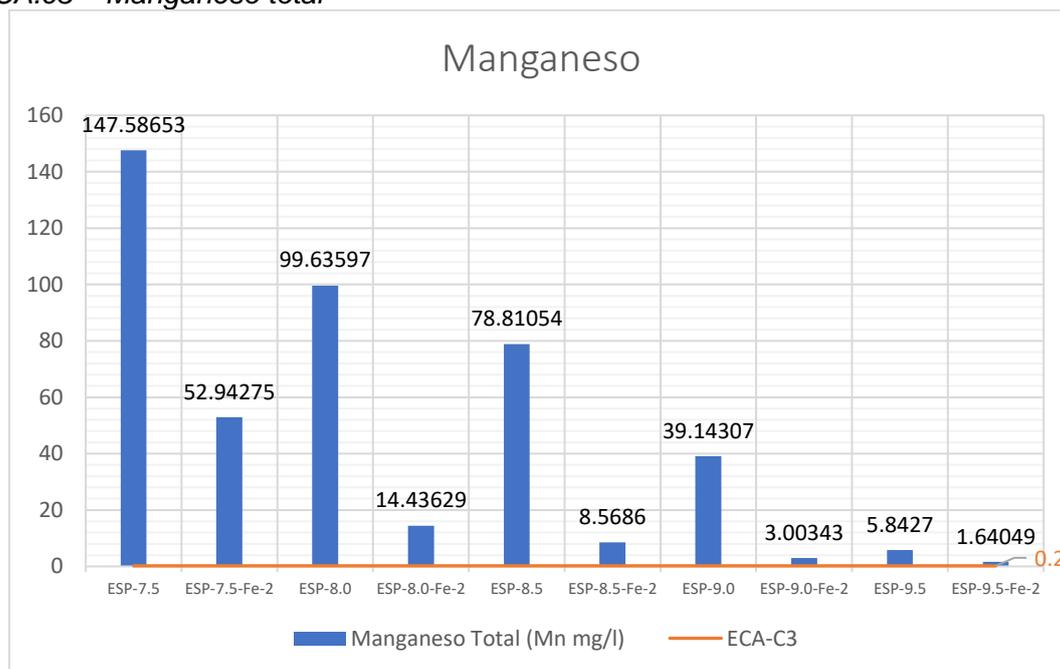
MANGANESO – Dosificando cloruro férrico

El agua ácida proveniente de la relavera Quiulacocha fue sometida a un proceso de tratamiento con una concentración inicial de 964.36562 mg/l de Manganeseo.

El resultado del análisis del Manganeseo como parámetro, obtenido después de pasar por el sistema de tratamiento dosificando y sin dosificar cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio se representa en la figura 61, donde se muestra que no se cumple con el valor establecido en los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría 3.

Figura 61

Resultados del tratamiento dosificando Cloruro Férrico (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Manganeseo total



Fuente. Elaboración propia

Prueba de Normalidad

Se lleva a cabo el análisis de normalidad de los datos obtenidos base al porcentaje de remoción de Manganeso, considerando tanto la presencia como la ausencia de dosificación del coagulante (cloruro férrico). Estos datos se obtuvieron empleando diferentes niveles de pH: 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5.

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Los datos examinados presentan una distribución normal.
- Hipótesis alternativa (H_1): Los datos examinados no presentan una distribución normal.

Los supuestos asociados a esta prueba son los siguientes:

- Si el valor de significancia (P) es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0).
- Si el valor de significancia (P) es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alternativa (H_1).

Tabla 39

Prueba de normalidad de Manganeso en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Mn.7.5	0.255	3	.	0.962	3	0.626
Mn.7.5.FeCl3	0.273	3	.	0.945	3	0.549
Mn.8.0	0.211	3	.	0.991	3	0.817
Mn.8.0.FeCl3	0.177	3	.	1	3	0.964
Mn.8.5	0.349	3	.	0.831	3	0.192
Mn.8.5.FeCl3	0.292	3	.	0.923	3	0.463
Mn.9.0	0.272	3	.	0.947	3	0.554
Mn.9.0.FeCl3	0.328	3	.	0.871	3	0.298
Mn.9.5	0.343	3	.	0.842	3	0.22
Mn.9.5.FeCl3	0.213	3	.	0.99	3	0.806

Fuente. Elaboración propia

La tabla 39 muestra los resultados del test de Shapiro-Wilk para una muestra pequeña en las pruebas realizadas. Los valores de significancia (P) para Mn.7.5, Mn.7.5.FeCl₃, Mn.8.0, Mn.8.0.FeCl₃, Mn.8.5, Mn.8.5.FeCl₃, Mn.9.0, Mn.9.0.FeCl₃, Mn.9.5 y Mn.9.5.FeCl₃ son mayores a 0.05. Por consiguiente, se infiere que los resultados de estas pruebas siguen una distribución normal, respaldando la hipótesis *H0*. Esto es crucial para aplicar la Prueba T en el análisis.

Prueba de hipótesis T-Student

Hipótesis

H0: La dosificación de cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, no influye significativamente en la remoción de Manganeso.

H1: La dosificación de cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, influye significativamente en la remoción de Manganeso.

El contraste es bilateral, por lo tanto $0,05 / 2 = 0,025$

$P > 0.025$ se aprueba la *H0*

$P < 0.025$ se aprueba la *H1*

Tabla 40

Prueba de muestras emparejadas dosificando Cloruro Férrico para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Manganeso

	Diferencias emparejadas					t	gl	Significación bilateral
	Media	Desv. estándar	Media de error estándar	95 de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Mn.7.5 - Mn.7.5.FeCl ₃	-0.09814	0.00006	0.00004	-0.0983	-0.09798	-2644.059	2	<.001
Mn.8.0 - Mn.8.0.FeCl ₃	-0.08835	0.00084	0.00048	-0.09042	-0.08628	-183.216	2	<.001
Mn.8.5 - Mn.8.5.FeCl ₃	-0.07284	0.00062	0.00036	-0.07437	-0.07131	-204.367	2	<.001
Mn.9.0 - Mn.9.0.FeCl ₃	-0.03747	0.00023	0.00013	-0.03805	-0.0369	-281.844	2	<.001
Mn.9.5 - Mn.9.5.FeCl ₃	-0.00436	0.00005	0.00003	-0.00449	-0.00423	-142.715	2	<.001

Fuente. Elaboración propia

Para el caso del parámetro de Manganeso, la prueba t de student entre las medias de los porcentajes de remoción de este metal, dosificando y sin dosificar Cloruro férrico (20mg/l), resultó en un nivel de significancia menor que 0.025 (0.05 dividido entre 2 para un contraste bilateral). Por lo tanto, se acepta la hipótesis de que " La dosificación de cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 influye significativamente en la remoción de Manganeso.", lo que demuestra que el porcentaje de remoción de Magnesio; es mayor al dosificar cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio.

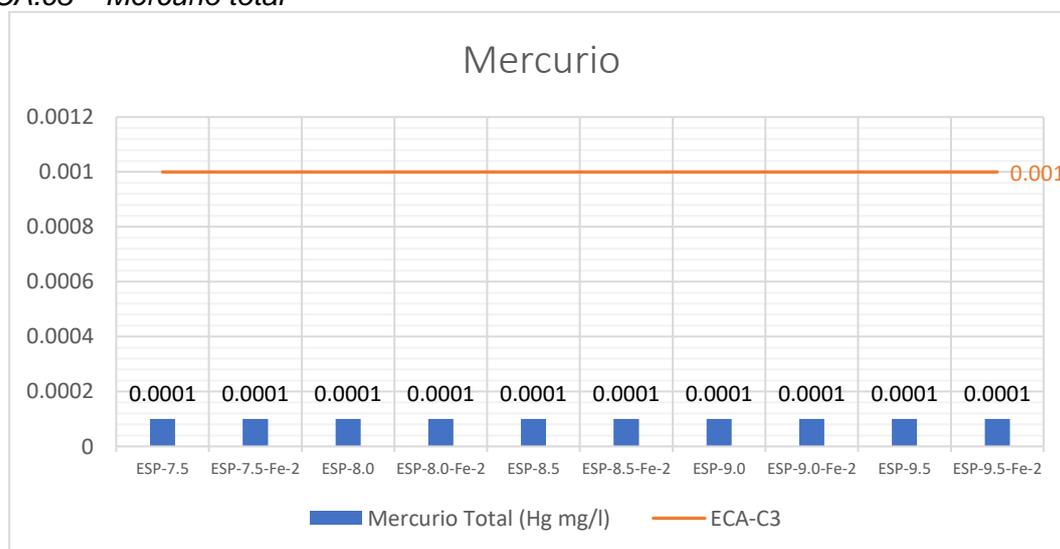
MERCURIO – Dosificando cloruro férrico

El agua ácida proveniente de la relavera Quiulacocha fue sometida a un proceso de tratamiento con una concentración inicial de <0.0001 mg/l de Mercurio.

El resultado del análisis del Mercurio como parámetro para todas las pruebas realizadas mantiene su valor (menor al límite máximo de detección) que cumple con el valor establecido en el D.S. N° 004-2017-MINAM, el cual define los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría 3.

Figura 62

Resultados del tratamiento dosificando Cloruro Férrico (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Mercurio total



Fuente. Elaboración propia

Prueba de Normalidad

Se lleva a cabo el análisis de normalidad de los datos obtenidos base al porcentaje de remoción de Bario, considerando tanto la presencia como la ausencia de dosificación del coagulante (cloruro férrico). Estos datos se obtuvieron empleando diferentes niveles de pH: 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5.

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Los datos examinados presentan una distribución normal.
- Hipótesis alternativa (H_1): Los datos examinados no presentan una distribución normal.

Los supuestos asociados a esta prueba son los siguientes:

- Si el valor de significancia (P) es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0).
- Si el valor de significancia (P) es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alternativa (H_1).

Tabla 41

Prueba de normalidad de Mercurio en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5

	Kolmogorov-Smirnov ^a		Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Hg.7.5	.	3	.	.	3	.
Hg.7.5.FeCl3	.	3	.	.	3	.
Hg.8.0	.	3	.	.	3	.
Hg.8.0.FeCl3	.	3	.	.	3	.
Hg.8.5	.	3	.	.	3	.
Hg.8.5.FeCl3	.	3	.	.	3	.
Hg.9.0	.	3	.	.	3	.
Hg.9.0.FeCl3	.	3	.	.	3	.
Hg.9.5	.	3	.	.	3	.
Hg.9.5.FeCl3	.	3	.	.	3	.

Fuente. Elaboración propia

La tabla 41 muestra los resultados del test de Shapiro-Wilk para una muestra pequeña en las pruebas realizadas. Los valores de significancia (P) son menores a 0.05.

Por consiguiente, se infiere que los resultados de estas pruebas no siguen una distribución normal, por lo tanto, no aplica realizar la Prueba T en el análisis

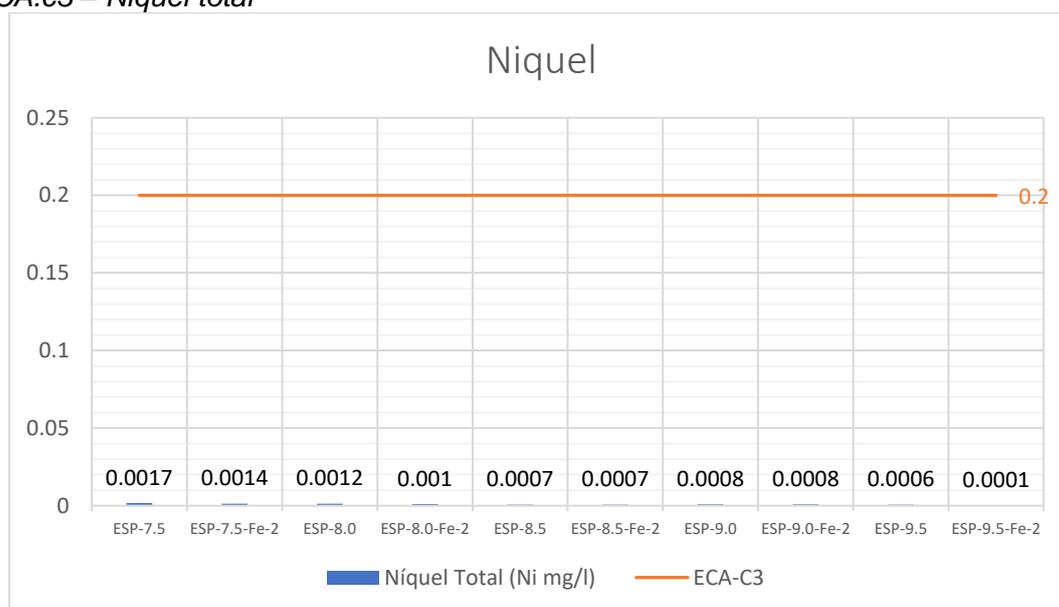
NIQUEL – Dosificando cloruro férrico

El agua ácida proveniente de la relavera Quiulacocha fue sometida a un proceso de tratamiento con una concentración inicial de 0.1214 mg/l de Niquel.

El resultado del análisis del Niquel como parámetro, obtenido después de pasar por el sistema de tratamiento dosificando y sin dosificar cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio se representa en la figura 63, donde se muestra que todos los valores se encuentran por debajo de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría 3.

Figura 63

Resultados del tratamiento dosificando Cloruro Férrico (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Niquel total



Fuente. Elaboración propia

Prueba de Normalidad

Se lleva a cabo el análisis de normalidad de los datos obtenidos base al porcentaje de remoción de Niquel, considerando tanto la presencia como la ausencia de dosificación del coagulante (cloruro férrico). Estos datos se obtuvieron empleando diferentes niveles de pH: 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5.

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Los datos examinados presentan una distribución normal.
- Hipótesis alternativa (H_1): Los datos examinados no presentan una distribución normal.

Los supuestos asociados a esta prueba son los siguientes:

- Si el valor de significancia (P) es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0).
- Si el valor de significancia (P) es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alternativa (H_1)

Tabla 42

Prueba de normalidad de Níquel en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Ni.7.5	0.252	3	.	0.965	3	0.643
Ni.7.5.FeCl3	0.385	3	.	0.75	3	<.001
Ni.8.0	0.328	3	.	0.871	3	0.297
Ni.8.0.FeCl3	0.385	3	.	0.75	3	<.001
Ni.8.5	0.385	3	.	0.75	3	<.001
Ni.8.5.FeCl3	0.385	3	.	0.75	3	<.001
Ni.9.0	0.204	3	.	0.993	3	0.843
Ni.9.0.FeCl3	.	3	.	.	3	.
Ni.9.5	0.254	3	.	0.964	3	0.634
Ni.9.5.FeCl3	.	3	.	.	3	.

Fuente. Elaboración propia

La tabla 42 muestra los resultados del test de Shapiro-Wilk para una muestra pequeña en las pruebas realizadas. Los valores de significancia (P) son menores a 0.05. Por consiguiente, se infiere que los resultados de estas pruebas no siguen una distribución normal, por lo tanto, no aplica realizar la Prueba T en el análisis

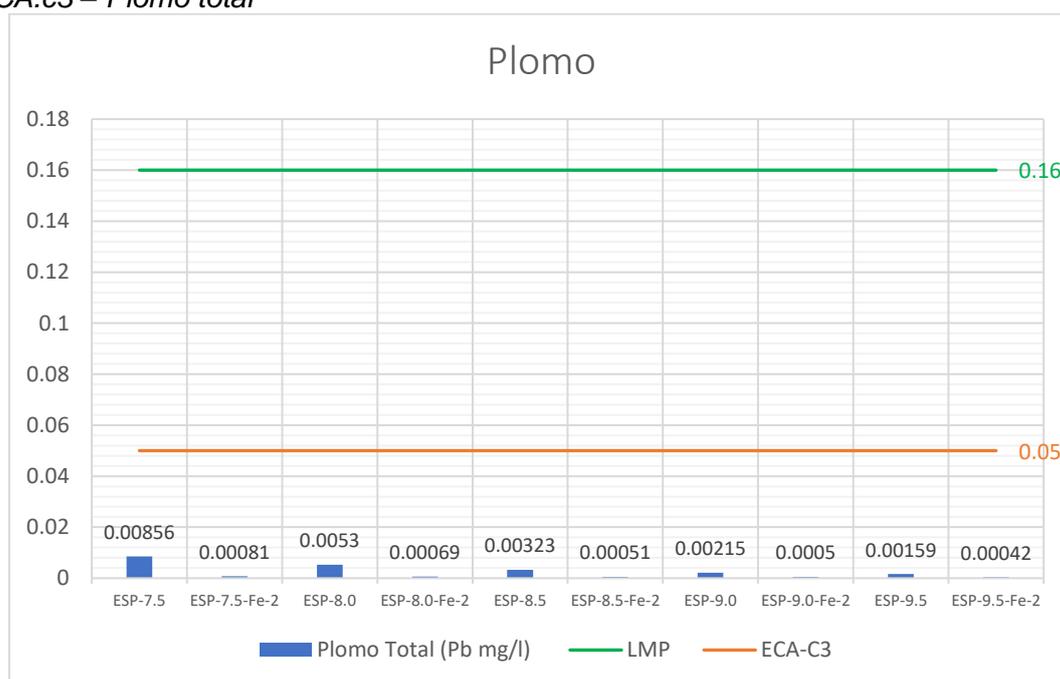
PLOMO – Dosificando cloruro férrico

El agua ácida proveniente de la relavera Quiulacocha fue sometida a un proceso de tratamiento con una concentración inicial de 0.23453 mg/l de Plomo.

El resultado del análisis del Plomo como parámetro, obtenido después de pasar por el sistema de tratamiento dosificando y sin dosificar cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio se representa en la figura 64, donde se muestra que se cumple con el valor establecido en los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas D.S N° 010-2010-MINAM y con el D.S. N° 004-2017-MINAM, el cual define los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría 3.

Figura 64

Resultados del tratamiento dosificando Cloruro Férrico (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Plomo total



Fuente. Elaboración propia

Prueba de Normalidad

Se lleva a cabo el análisis de normalidad de los datos obtenidos base al porcentaje de remoción de Plomo, considerando tanto la presencia como la ausencia de

dosificación del coagulante (cloruro férrico). Estos datos se obtuvieron empleando diferentes niveles de pH: 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5.

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Los datos examinados presentan una distribución normal.
- Hipótesis alternativa (H_1): Los datos examinados no presentan una distribución normal.

Los supuestos asociados a esta prueba son los siguientes:

- Si el valor de significancia (P) es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0).
- Si el valor de significancia (P) es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alternativa (H_1)

Tabla 43

Prueba de normalidad de Plomo en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Pb.7.5	0.247	3	.	0.969	3	0.664
Pb.7.5.FeCl ₃	0.227	3	.	0.983	3	0.747
Pb.8.0	0.33	3	.	0.866	3	0.286
Pb.8.0.FeCl ₃	0.215	3	.	0.989	3	0.8
Pb.8.5	0.231	3	.	0.98	3	0.73
Pb.8.5.FeCl ₃	0.195	3	.	0.996	3	0.883
Pb.9.0	0.175	3	.	1	3	1
Pb.9.0.FeCl ₃	0.272	3	.	0.947	3	0.554
Pb.9.5	0.342	3	.	0.844	3	0.226
Pb.9.5.FeCl ₃	0.186	3	.	0.998	3	0.921

Fuente. Elaboración propia

La tabla 43 muestra los resultados del test de Shapiro-Wilk para una muestra pequeña en las pruebas realizadas. Los valores de significancia (P) para Pb.7.5, Pb.7.5.FeCl₃, Pb.8.0, Pb.8.0.FeCl₃, Pb.8.5, Pb.8.5.FeCl₃, Pb.9.0, Pb.9.0.FeCl₃, Pb.9.5 y Pb.9.5.FeCl₃ son mayores a 0.05. Por consiguiente, se infiere que los resultados de

estas pruebas siguen una distribución normal, respaldando la hipótesis H_0 . Esto es crucial para aplicar la Prueba T en el análisis.

Prueba de hipótesis T-Student

Hipótesis

H_0 : La dosificación de cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, no influye significativamente en la remoción de Plomo.

H_1 : La dosificación de cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, influye significativamente en la remoción de Plomo.

El contraste es bilateral, por lo tanto $0,05 / 2 = 0,025$

$P > 0.025$ se aprueba la H_0

$P < 0.025$ se aprueba la H_1

Tabla 44

Prueba de muestras emparejadas dosificando Cloruro Férrico para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Plomo

	Diferencias emparejadas					t	gl	Significación bilateral
	Media	Desv. estándar	Media de error estándar	95 de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Pb.7.5 - Pb.7.5.FeCl3	-0.03307	0.00009	0.00005	-0.03331	-0.03284	-606.083	2	<.001
Pb.8.0 - Pb.8.0.FeCl3	-0.01966	0.00007	0.00004	-0.01984	-0.01948	-470.632	2	<.001
Pb.8.5 - Pb.8.5.FeCl3	-0.01160	0.00058	0.00034	-0.01304	-0.01016	-34.579	2	<.001
Pb.9.0 - Pb.9.0.FeCl3	-0.00702	0.00034	0.00019	-0.00786	-0.00619	-36.247	2	<.001
Pb.9.5 - Pb.9.5.FeCl3	-0.00496	0.00013	0.00007	-0.00528	-0.00464	-67.290	2	<.001

Fuente. Elaboración propia

Para el caso del parámetro de Plomo, la prueba t de student entre las medias de los porcentajes de remoción de este metal, dosificando y sin dosificar Cloruro férrico (20mg/l), resultó en un nivel de significancia menor que 0.025 (0.05 dividido entre 2 para

un contraste bilateral). Por lo tanto, se acepta la hipótesis de que " La dosificación de cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 influye significativamente en la remoción de Plomo.", lo que demuestra que el porcentaje de remoción de Plomo; es mayor al dosificar cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio.

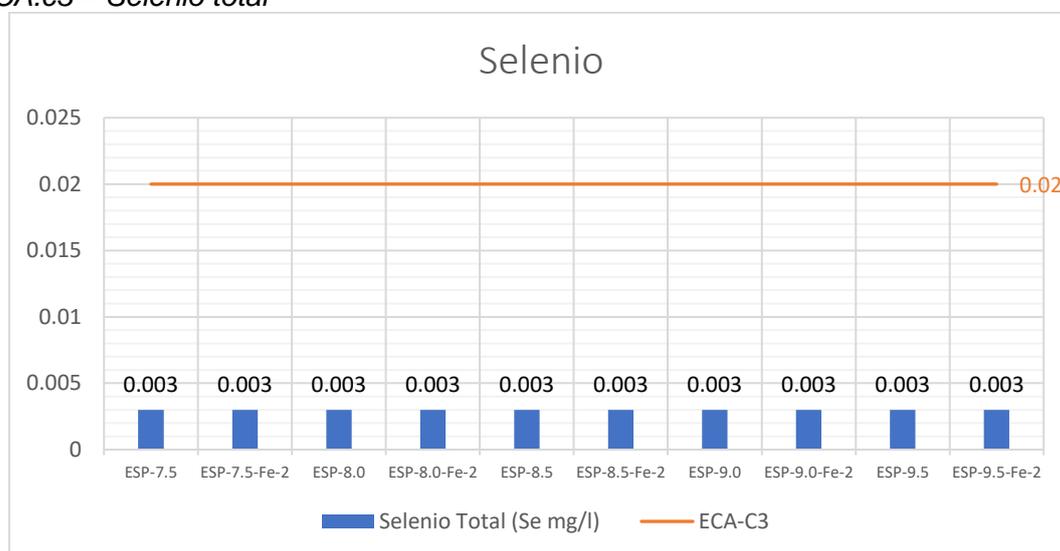
SELENIO – Dosificando cloruro férrico

El agua ácida proveniente de la relavera Quiulacocha fue sometida a un proceso de tratamiento con una concentración inicial de 0.004 mg/l de Selenio.

El resultado del análisis del Mercurio como parámetro para todas las pruebas realizadas mantiene su valor (menor al límite máximo de detección) que cumple con el valor establecido en el D.S. N° 004-2017-MINAM, el cual define los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría 3.

Figura 65

Resultados del tratamiento dosificando Cloruro Férrico (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Selenio total



Fuente. Elaboración propia

Prueba de Normalidad

Se lleva a cabo el análisis de normalidad de los datos obtenidos base al porcentaje de remoción de Selenio, considerando tanto la presencia como la ausencia

de dosificación del coagulante (cloruro férrico). Estos datos se obtuvieron empleando diferentes niveles de pH: 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5.

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Los datos examinados presentan una distribución normal.
- Hipótesis alternativa (H_1): Los datos examinados no presentan una distribución normal.

Los supuestos asociados a esta prueba son los siguientes:

- Si el valor de significancia (P) es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0).
- Si el valor de significancia (P) es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alternativa (H_1)

Tabla 45

Prueba de normalidad de Selenio en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Se.7.5	.	3	.	.	3	.
Se.7.5.FeCl3	.	3	.	.	3	.
Se.8.0	.	3	.	.	3	.
Se.8.0.FeCl3	.	3	.	.	3	.
Se.8.5	.	3	.	.	3	.
Se.8.5.FeCl3	.	3	.	.	3	.
Se.9.0	.	3	.	.	3	.
Se.9.0.FeCl3	.	3	.	.	3	.
Se.9.5	.	3	.	.	3	.
Se.9.5.FeCl3	.	3	.	.	3	.

Fuente. Elaboración propia

La tabla 45 muestra los resultados del test de Shapiro-Wilk para una muestra pequeña en las pruebas realizadas. Los valores de significancia (P) son menores a 0.05. Por consiguiente, se infiere que los resultados de estas pruebas no siguen una distribución normal, por lo tanto, no aplica realizar la Prueba T en el análisis

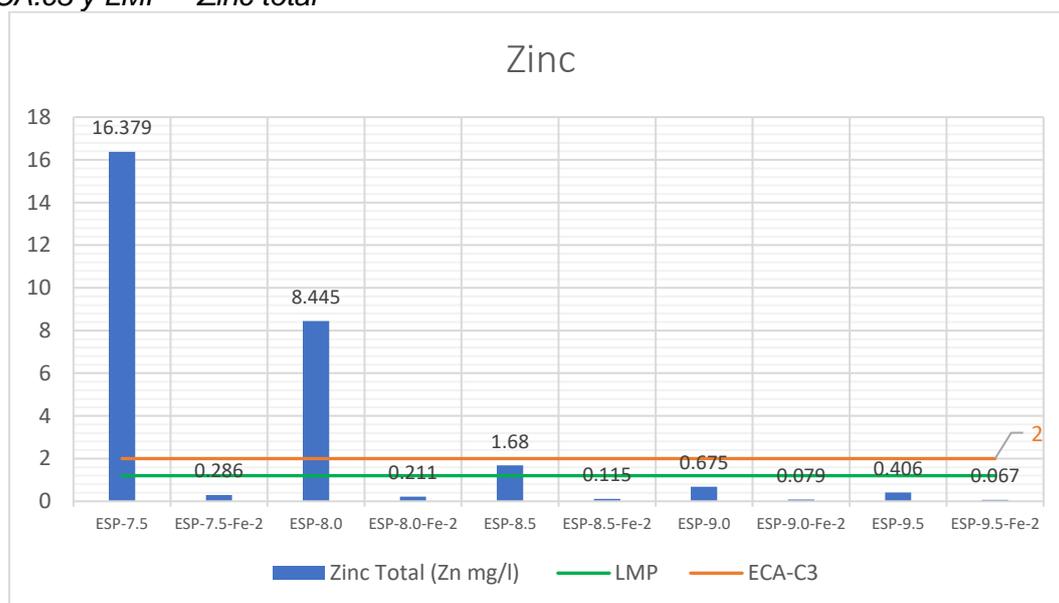
ZINC – Dosificando cloruro férrico

El agua ácida proveniente de la relavera Quiulacocha fue sometida a un proceso de tratamiento con una concentración inicial de 345.653 mg/l de Zinc.

El resultado del análisis del Zinc como parámetro, obtenido después de pasar por el sistema de tratamiento, se representa en la figura 66 que, para niveles de pH menores a 8.5 y sin la dosificación de cloruro férrico, no se cumple con el valor establecido en los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas D.S N° 010-2010-MINAM y con el D.S. N° 004-2017-MINAM, el cual define los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría 3.

Figura 66

Resultados del tratamiento dosificando Cloruro Férrico (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 y LMP – Zinc total



Fuente. Elaboración propia

Prueba de Normalidad

Se lleva a cabo el análisis de normalidad de los datos obtenidos base al porcentaje de remoción de Zinc, considerando tanto la presencia como la ausencia de dosificación del coagulante (cloruro férrico). Estos datos se obtuvieron empleando diferentes niveles de pH: 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5.

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Los datos examinados presentan una distribución normal.
- Hipótesis alternativa (H_1): Los datos examinados no presentan una distribución normal.

Los supuestos asociados a esta prueba son los siguientes:

- Si el valor de significancia (P) es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0).
- Si el valor de significancia (P) es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alternativa (H_1)

Tabla 46

Prueba de normalidad de Zinc en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Zn.7.5	0.334	3	.	0.86	3	0.266
Zn.7.5.FeCl3	0.292	3	.	0.923	3	0.463
Zn.8.0	0.282	3	.	0.936	3	0.510
Zn.8.0.FeCl3	0.253	3	.	0.964	3	0.637
Zn.8.5	0.212	3	.	0.99	3	0.811
Zn.8.5.FeCl3	0.175	3	.	1	3	1
Zn.9.0	0.175	3	.	1	3	1
Zn.9.0.FeCl3	0.175	3	.	1	3	1
Zn.9.5	0.253	3	.	0.964	3	0.637
Zn.9.5.FeCl3	0.253	3	.	0.964	3	0.637

Fuente. Elaboración propia

La tabla 46 muestra los resultados del test de Shapiro-Wilk para una muestra pequeña en las pruebas realizadas. Los valores de significancia (P) para Zn.7.5, Zn.7.5.FeCl3, Zn.8.0, Zn.8.0.FeCl3, Zn.8.5, Zn.8.5.FeCl3, Zn.9.0, Zn.9.0.FeCl3, Zn.9.5 y Zn.9.5.FeCl3 son mayores a 0.05. Por consiguiente, se infiere que los resultados de estas pruebas siguen una distribución normal, respaldando la hipótesis H_0 . Esto es crucial para aplicar la Prueba T en el análisis.

Prueba de hipótesis T-Student

Hipótesis

H0: La dosificación de cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, no influye significativamente en la remoción de Zinc.

H1: La dosificación de cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, influye significativamente en la remoción de Zinc.

El contraste es bilateral, por lo tanto $0,05 / 2 = 0,025$

$P > 0.025$ se aprueba la *H0*

$P < 0.025$ se aprueba la *H1*

Tabla 47

Prueba de muestras emparejadas dosificando Cloruro Férrico para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Zinc

	Diferencias emparejadas					t	gl	Significación bilateral
	Media	Desv. estándar	Media de error estándar	95 de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Zn.7.5 - Zn.7.5.FeCl3	-0.04656	0.00009	0.00005	-0.04678	-0.04634	-925.053	2	<.001
Zn.8.0 - Zn.8.0.FeCl3	-0.02383	0.00005	0.00003	-0.02394	-0.02371	-915.208	2	<.001
Zn.8.5 - Zn.8.5.FeCl3	-0.00453	0.00014	0.00008	-0.00488	-0.00419	-56.038	2	<.001
Zn.9.0 - Zn.9.0.FeCl3	-0.00172	0.00001	0.00001	-0.00174	-0.0017	-297.913	2	<.001
Zn.9.5 - Zn.9.5.FeCl3	-0.00098	0.00001	0	-0.00099	-0.00096	-293.000	2	<.001

Fuente. Elaboración propia

Para el caso del parámetro de Zinc, la prueba t de student entre las medias de los porcentajes de remoción de este metal, dosificando y sin dosificar Cloruro férrico (20mg/l), resultó en un nivel de significancia menor que 0.025 (0.05 dividido entre 2 para un contraste bilateral). Por lo tanto, se acepta la hipótesis de que " La dosificación de cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 influye significativamente en la remoción de Zinc.", lo que demuestra que el porcentaje de

remoción de Zinc; es mayor al dosificar cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio.

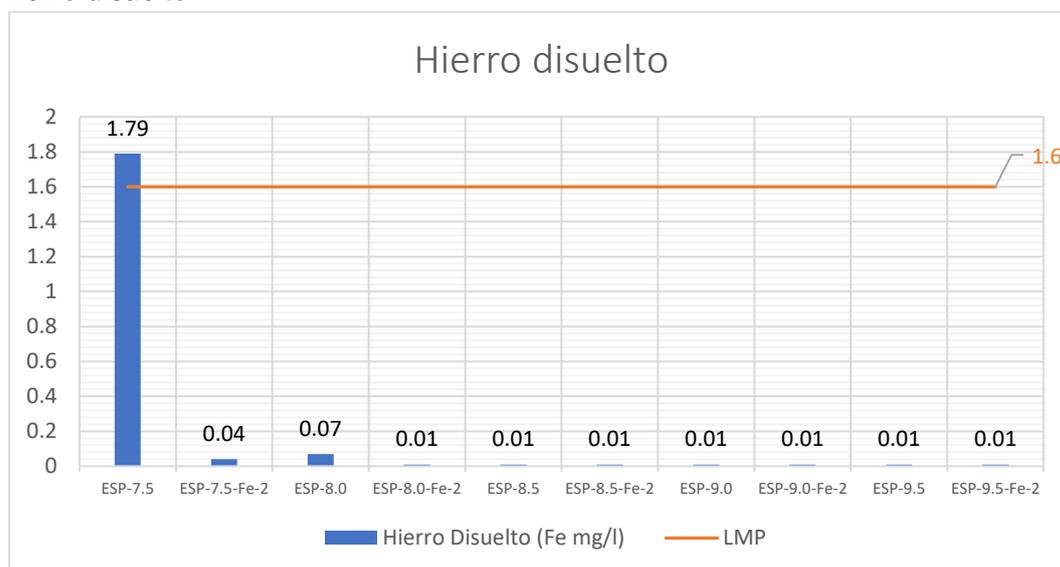
HIERRO DISUELTO – Dosificando cloruro férrico

El agua ácida proveniente de la relavera Quiulacocha fue sometida a un proceso de tratamiento con una concentración inicial de 967.25 mg/l de Hierro disuelto.

El resultado del análisis del Hierro disuelto como parámetro, obtenido después de pasar por el sistema de tratamiento dosificando y sin dosificar cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio se representa en la figura 67, donde se muestra que se cumple con el valor establecido en los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas D.S N° 010-2010-MINAM. Exceptuando la prueba ESP-7.5, cuyo valor es de 1.79 mg/l, siendo mayor que lo establecido por el LMP: 1.60 mg/l.

Figura 67

Resultados del tratamiento dosificando Cloruro Férrico (20 mg/l) comparado con el LMP – Hierro disuelto



Fuente. Elaboración propia

Prueba de Normalidad

Se lleva a cabo el análisis de normalidad de los datos obtenidos base al porcentaje de remoción de Hierro disuelto, considerando tanto la presencia como la ausencia de dosificación del coagulante (cloruro férrico). Estos datos se obtuvieron empleando diferentes niveles de pH: 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5.

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Los datos examinados presentan una distribución normal.
- Hipótesis alternativa (H_1): Los datos examinados no presentan una distribución normal.

Los supuestos asociados a esta prueba son los siguientes:

- Si el valor de significancia (P) es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0).
- Si el valor de significancia (P) es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alternativa (H_1)

Tabla 48

Prueba de normalidad de Hierro disuelto en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5

	Kolmogorov-Smirnov ^a		Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Fedis.7.5	0.314	3	.	0.893	3	0.363
Fedis.7.5.FeCl3	0.175	3	.	1	3	1.000
Fedis.8.0	0.253	3	.	0.964	3	0.637
Fedis.8.0.FeCl3	.	3	.	.	3	.
Fedis.8.5	.	3	.	.	3	.
Fedis.8.5.FeCl3	.	3	.	.	3	.
Fedis.9.0	.	3	.	.	3	.
Fedis.9.0.FeCl3	.	3	.	.	3	.
Fedis.9.5	.	3	.	.	3	.
Fedis.9.5.FeCl3	.	3	.	.	3	.

Fuente. Elaboración propia

La tabla 48 muestra los resultados del test de Shapiro-Wilk para una muestra pequeña en las pruebas realizadas. Los valores de significancia (P) para Fedis.7.5, Fedis.7.5.FeCl3 y Fedis.8.0 son mayores a 0.05. Por consiguiente, se infiere que los resultados de estas pruebas siguen una distribución normal, respaldando la hipótesis H_0 . Esto es crucial para aplicar la Prueba T en el análisis.

Prueba de hipótesis T-Student

Hipótesis

H0: La dosificación de cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, no influye significativamente en la remoción de Hierro disuelto.

H1: La dosificación de cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, influye significativamente en la remoción de Hierro disuelto.

El contraste es bilateral, por lo tanto $0,05 / 2 = 0,025$

$P > 0.025$ se aprueba la *H0*

$P < 0.025$ se aprueba la *H1*

Tabla 49

Prueba de muestras emparejadas dosificando Cloruro Férrico para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Hierro

	Diferencias emparejadas					t	gl	Significación bilateral
	Media	Desv. estándar	Media de error estándar	95 de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Fedis.7.5 - Fedis.7.5.FeCl3	-0.00181	0.00003	0.00002	-0.00188	-0.00174	-118.492	2	<.001

Fuente. Elaboración propia

Para el caso del parámetro de Hierro disuelto y considerando un nivel de pH de 7.5, la prueba t de student entre las medias de los porcentajes de remoción de este metal, dosificando y sin dosificar Cloruro férrico (20mg/l), resultó en un nivel de significancia menor que 0.025 (0.05 dividido entre 2 para un contraste bilateral). Por lo tanto, se acepta la hipótesis de que " La dosificación de cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5 influye significativamente en la remoción de Aluminio. Sin embargo, a un nivel de pH de 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 se tiene un nivel de significancia mayor que 0.025, lo que rechaza la hipótesis para estos niveles de pH.

Tabla 50

Resumen de resultados de la hipótesis nula (Ho) e hipótesis alterna (Ha) utilizando Cloruro Férrico

Parámetros	Hipótesis nula (Ho)	Hipótesis alterna (Ha)	Tabla de análisis estadístico
Aluminio Total (Al)	Se rechaza para pH de 9.0 y 9.5	Se acepta para pH de 7.5, 8.0 y 8.5	Tabla 18
Arsénico Total (As)	Se rechaza para pH de 9.0 y 9.5	Se acepta para pH de 7.5, 8.0 y 8.5	Tabla 20
Bario Total (Ba)	Se rechaza para pH de 8.5, 9.0 y 9.5	Se acepta para pH de 7.5 y 8.0	Tabla 22
Berilio Total (Be)	No aplica	No aplica	Tabla 23
Boro Total (B)	No aplica	No aplica	Tabla 24
Cadmio Total (Cd)	Se rechaza	Se aprueba	Tabla 26
Cobalto Total (Co)	Se aprueba	Se rechaza	Tabla 28
Cobre Total (Cu)	Se rechaza	Se aprueba	Tabla 30
Cromo Total (Cr)	Se aprueba	Se rechaza	Tabla 32
Hierro Total (Fe)	Se rechaza para pH de 9.0 y 9.5	Se acepta para pH de 7.5, 8.0 y 8.5	Tabla 34
Litio Total (Li)	Se aprueba	Se rechaza	Tabla 36
Magnesio Total (Mg)	Se rechaza	Se aprueba	Tabla 38
Manganeso Total (Mn)	Se rechaza	Se aprueba	Tabla 40
Mercurio Total (Hg)	No aplica	No aplica	Tabla 41
Níquel Total (Ni)	No aplica	No aplica	Tabla 42
Plomo Total (Pb)	Se rechaza	Se aprueba	Tabla 44
Selenio Total (Se)	No aplica	No aplica	Tabla 45
Zinc Total (Zn)	Se rechaza	Se aprueba	Tabla 47
Hierro Disuelto (Fe)	Se rechaza para pH de 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5	Se acepta para pH de 7.5	Tabla 49

Fuente. Elaboración propia

De acuerdo a la tabla 50, se puede validar que, para el caso de Al, As y Fe, se rechaza la hipótesis nula para los valores de pH de 9.0 y 9.5 y se acepta la hipótesis alterna para pH de 7.5, 8.0 y 8.5; por lo tanto, el cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio influye significativamente en el tratamiento de aguas acidas para pH 7.5, 8.0 y 8.5.

Para el caso de Ba, se rechaza la hipótesis nula para valores de pH de 8.5, 9.0 y 9.5 y se acepta la hipótesis alterna para pH de 7.5 y 8.0; y para Fe disuelto, se acepta solo para un pH de 7.5.

Con respecto a Be, B, Li, Hg, Ni y Se, posterior a la prueba de normalidad se evidencia que estos datos no siguen una distribución normal, por lo tanto, no es aplicable la prueba de T-student. Por consiguiente, se concluye que no tiene influencia significativa como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas.

Finalmente, para los metales Cd, Cu, Mg, Mn, Pb y Zn, se rechaza la hipótesis nula y se aprueba la hipótesis alterna, concluyendo que el cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio influye significativamente en el tratamiento de aguas acidas para los valores de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5.

4.3.2. Dosificando sulfato de aluminio

Tabla 51

Porcentaje (%) de remoción de metales usando Sulfato de Aluminio – 7.5 pH, 8.0 pH, 8.5 pH, 9.0 pH, 9.5 pH

Parámetros	ESP-7.5	ESP-7.5-Al-2	ESP-8.0	ESP-8.0-Al-2	ESP-8.5	ESP-8.5-Al-2	ESP-9.0	ESP-9.0-Al-2	ESP-9.5	ESP-9.5-Al-2
Aluminio Total (Al)	96.66	99.56	98.64	99.77	99.78	99.86	99.72	99.76	99.66	99.72
Arsénico Total (As)	96.46	99.77	98.23	99.59	99.48	99.74	99.59	99.70	99.76	99.75
Bario Total (Ba)	3.96	4.45	16.38	10.07	21.08	20.98	18.00	16.97	20.59	20.20
Berilio Total (Be)	89.29	89.29	89.29	89.29	89.29	89.29	89.29	89.29	89.29	89.29
Boro Total (B)	45.24	47.62	45.24	47.62	54.76	73.81	57.14	64.29	42.86	42.86
Cadmio Total (Cd)	89.08	98.79	92.74	99.48	93.89	99.94	95.50	99.97	99.52	99.95
Cobalto Total (Co)	97.37	97.96	97.82	97.74	98.82	98.63	98.60	98.85	98.55	98.66
Cobre Total (Cu)	95.59	98.21	96.53	99.06	96.98	99.11	97.28	99.27	98.23	99.41
Cromo Total (Cr)	88.33	93.33	95.56	98.89	91.67	98.33	91.67	91.67	93.89	96.67
Hierro Total (Fe)	98.69	99.50	99.76	99.91	99.83	99.91	99.89	99.96	99.96	99.96
Litio Total (Li)	26.16	28.66	28.23	25.23	31.12	31.50	32.10	29.37	23.38	24.41
Magnesio Total (Mg)	16.58	21.78	20.32	29.48	29.56	43.04	56.39	74.59	65.58	88.40
Manganeso Total (Mn)	84.52	94.37	89.69	97.56	91.88	99.76	95.96	99.77	99.39	99.85
Mercurio Total (Hg)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Níquel Total (Ni)	98.93	98.68	98.85	99.01	99.09	99.42	99.42	99.18	99.67	99.42
Plomo Total (Pb)	96.37	99.90	97.76	99.91	98.65	99.91	99.09	99.91	99.34	99.96
Selenio Total (Se)	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
Zinc Total (Zn)	95.24	99.43	97.57	99.67	99.52	99.97	99.80	99.96	99.88	99.99
Hierro Disuelto (Fe)	99.82	99.87	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Fuente. Elaboración propia

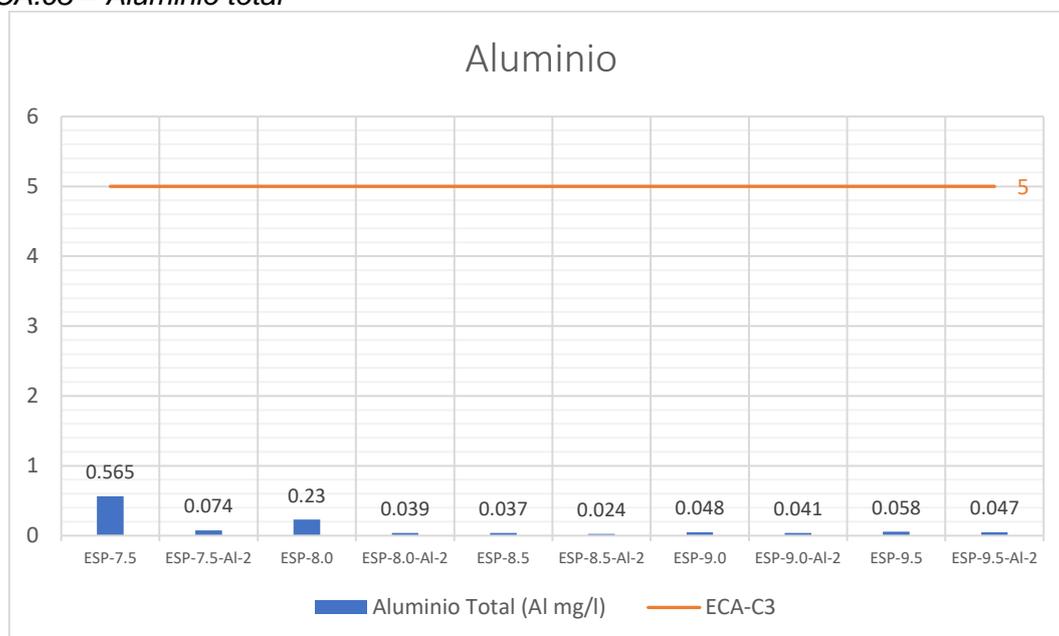
ALUMINIO – Dosificando sulfato de aluminio

El agua ácida proveniente de la relavera Quiulacocha fue sometida a un proceso de tratamiento con una concentración inicial de 16.907 mg/l.

El resultado del análisis del aluminio como parámetro, obtenido después de pasar por el sistema de tratamiento utilizando y sin utilizar sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio, se representa en la figura 68. Donde se muestra que los valores cumplen con el valor establecido en el D.S. N° 004-2017-MINAM, el cual define los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría 3.

Figura 68

Resultados del tratamiento dosificando Sulfato de Aluminio (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Aluminio total



Fuente. Elaboración propia

Prueba de Normalidad

Se lleva a cabo el análisis de normalidad de los datos obtenidos base al porcentaje de remoción de Aluminio, considerando tanto la presencia como la ausencia de dosificación del coagulante (sulfato de aluminio). Estos datos se obtuvieron empleando diferentes niveles de pH: 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5.

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Los datos examinados presentan una distribución normal.
- Hipótesis alternativa (H_1): Los datos examinados no presentan una distribución normal.

Los supuestos asociados a esta prueba son los siguientes:

- Si el valor de significancia (P) es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0).
- Si el valor de significancia (P) es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alternativa (H_1)

$P < 0.05$ se aprueba la H_1

Tabla 52

Prueba de normalidad de Aluminio en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Al.7.5	0.274	3	.	0.944	3	0.544
Al.7.5.Al2.SO4.3	0.202	3	.	0.994	3	0.854
Al.8.0	0.274	3	.	0.944	3	0.544
Al.8.0.Al2.SO4.3	0.202	3	.	0.994	3	0.854
Al.8.5	0.274	3	.	0.944	3	0.544
Al.8.5.Al2.SO4.3	0.271	3	.	0.948	3	0.559
Al.9.0	0.278	3	.	0.94	3	0.526
Al.9.0.Al2.SO4.3	0.303	3	.	0.909	3	0.416
Al.9.5	0.28	3	.	0.938	3	0.519
Al.9.5.Al2.SO4.3	0.329	3	.	0.868	3	0.289

Fuente. Elaboración propia

La tabla 52 muestra los resultados del test de Shapiro-Wilk para una muestra pequeña en las pruebas realizadas. Los valores de significancia (P) para Al.7.5, Al.7.5.Al2.SO4.3, Al.8.0, Al.8.0.Al2.SO4.3, Al.8.5, Al.8.5.Al2.SO4.3, Al.9.0, Al.9.0.Al2.SO4.3, Al.9.5 y Al.9.5.Al2.SO4.3 son mayores a 0.05. Por consiguiente, se infiere que los resultados de estas pruebas siguen una distribución normal, respaldando la hipótesis H_0 . Esto es crucial para aplicar la Prueba T en el análisis.

Prueba de hipótesis T-Student

Hipótesis

H0: La dosificación de sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, no influye significativamente en la remoción de Aluminio.

H1: La dosificación de sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, influye significativamente en la remoción de Aluminio.

El contraste es bilateral, por lo tanto $0,05 / 2 = 0,025$

$P > 0.025$ se aprueba la *H0*

$P < 0.025$ se aprueba la *H1*

Tabla 53

Prueba de muestras emparejadas dosificando Sulfato de Aluminio para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Aluminio

	Diferencias emparejadas					t	gl	Significación bilateral
	Media	Desv. estándar	Media de error estándar	95 de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Al.7.5 - Al.7.5.Al2.SO4.3	-0.02907	0.00007	0.00004	-0.02924	-0.0289	-726.75	2	<.001
Al.8.0 - Al.8.0.Al2.SO4.3	-0.01132	0.00007	0.00004	-0.01149	-0.01115	-283.000	2	<.001
Al.8.5 - Al.8.5.Al2.SO4.3	-0.00075	0.00054	0.00031	-0.00208	0.00058	-2.413	2	0.137
Al.9.0 - Al.9.0.Al2.SO4.3	-0.0004	0.00024	0.00014	-0.00099	0.00019	-2.897	2	0.101
Al.9.5 - Al.9.5.Al2.SO4.3	-0.00067	0.00048	0.00028	-0.00188	0.00053	-2.409	2	0.138

Fuente. Elaboración propia

Para el caso del parámetro de Aluminio y considerando un nivel de pH de 7.5 y 8.0, la prueba t de student entre las medias de los porcentajes de remoción de este metal dosificando y sin dosificar Sulfato de aluminio (20mg/l), resultó en un nivel de significancia menor que 0.025 (0.05 dividido entre 2 para un contraste bilateral). Por lo tanto, se acepta la hipótesis de que " La dosificación de sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera

Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, y 8.5, influye significativamente en la remoción de Aluminio.”, lo que demuestra que el porcentaje de remoción de Aluminio a nivel de pH 7.5, 8.0, y 8.5; es mayor al dosificar sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio. Sin embargo, a un nivel de pH de 8.5, 9.0 y 9.5 se tiene un nivel de significancia mayor que 0.025. Esto indica que el sulfato de aluminio no influye en el tratamiento de agua utilizando hidróxido de calcio a esos niveles de pH.

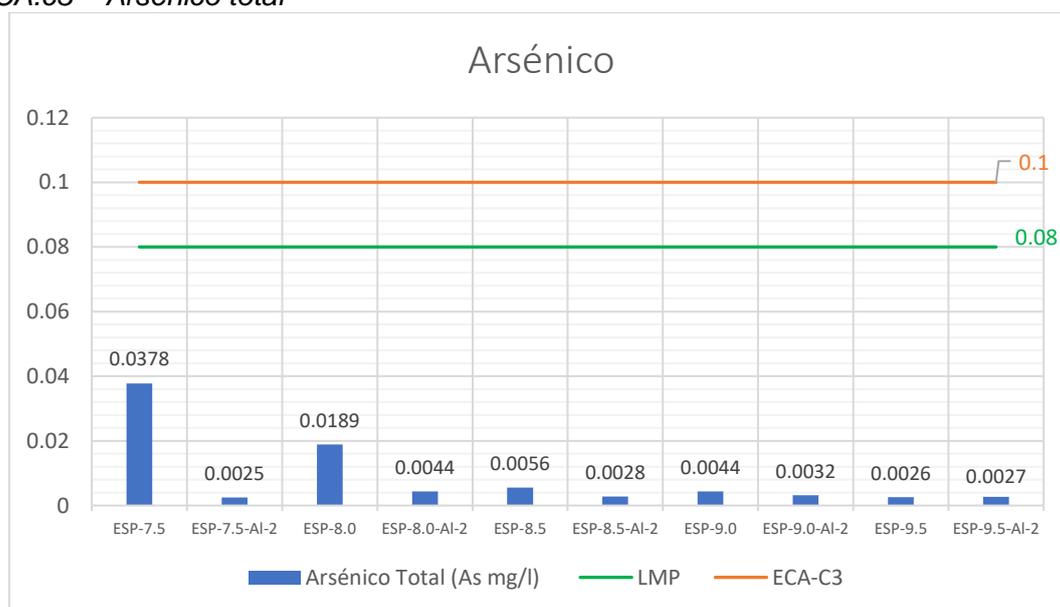
ARSÉNICO – Dosificando sulfato de aluminio

El agua ácida proveniente de la relavera Quiulacocha fue sometida a un proceso de tratamiento con una concentración inicial de 1.0692 mg/l de arsénico.

El resultado del análisis del Arsénico como parámetro, obtenido después de pasar por el sistema de tratamiento utilizando y sin utilizar sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio se representa en la figura 69, donde se muestra que se cumple con el valor establecido en los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas D.S N° 010-2010-MINAM y con el D.S. N° 004-2017-MINAM, el cual define los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría 3.

Figura 69

Resultados del tratamiento dosificando Sulfato de Aluminio (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Arsénico total



Fuente. Elaboración propia

Prueba de Normalidad

Se lleva a cabo el análisis de normalidad de los datos obtenidos base al porcentaje de remoción de Arsénico, considerando tanto la presencia como la ausencia de dosificación del coagulante (sulfato de aluminio). Estos datos se obtuvieron empleando diferentes niveles de pH: 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5.

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Los datos examinados presentan una distribución normal.
- Hipótesis alternativa (H_1): Los datos examinados no presentan una distribución normal.

Los supuestos asociados a esta prueba son los siguientes:

- Si el valor de significancia (P) es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0).
- Si el valor de significancia (P) es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alternativa (H_1)

Tabla 54

Prueba de normalidad de Arsénico en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5

	Kolmogorov-Smirnov ^a		Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
As.7.5	0.291	3	.	0.925	3	0.47
As.7.5.Al2.SO4.3	0.309	3	.	0.901	3	0.388
As.8.0	0.338	3	.	0.852	3	0.245
As.8.0.Al2.SO4.3	0.317	3	.	0.887	3	0.346
As.8.5	0.338	3	.	0.852	3	0.245
As.8.5.Al2.SO4.3	0.327	3	.	0.871	3	0.299
As.9.0	0.25	3	.	0.967	3	0.65
As.9.0.Al2.SO4.3	0.194	3	.	0.997	3	0.888
As.9.5	0.223	3	.	0.985	3	0.767
As.9.5.Al2.SO4.3	0.317	3	.	0.887	3	0.346

Fuente. Elaboración propia

La tabla 54 muestra los resultados del test de Shapiro-Wilk para una muestra pequeña en las pruebas realizadas. Los valores de significancia (P) para As.7.5, As.7.5.AI2.SO4.3, As.8.0, As.8.0.AI2.SO4.3, As.8.5, As.8.5.AI2.SO4.3, As.9.0, As.9.0.AI2.SO4.3, As.9.5 y As.9.5.AI2.SO4.3 son mayores a 0.05. Por consiguiente, se infiere que los resultados de estas pruebas siguen una distribución normal, respaldando la hipótesis H_0 . Esto es crucial para aplicar la Prueba T en el análisis.

Prueba de hipótesis T-Student

Hipótesis

H_0 : La dosificación de sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, no influye significativamente en la remoción de Arsénico.

H_1 : La dosificación de sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, influye significativamente en la remoción de Arsénico.

El contraste es bilateral, por lo tanto $0,05 / 2 = 0,025$

$P > 0.025$ se aprueba la H_0

$P < 0.025$ se aprueba la H_1

Tabla 55

Prueba de muestras emparejadas dosificando Sulfato de Aluminio para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Arsénico

	Diferencias emparejadas					t	gl	Significación bilateral
	Media	Desv. estándar	Media de error estándar	95 de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
As.7.5 - As.7.5.AI2.SO4.3	-0.03305	0.00014	0.00008	-0.03341	-0.0327	-400.503	2	<.001
As.8.0 - As.8.0.AI2.SO4.3	-0.01353	0.00014	0.00008	-0.01387	-0.01319	-170.462	2	<.001
As.8.5 - As.8.5.AI2.SO4.3	-0.00259	0.00011	0.00006	-0.00285	-0.00232	-41.900	2	<.001
As.9.0 - As.9.0.AI2.SO4.3	-0.00112	0.0009	0.00052	-0.00336	0.00111	-2.162	2	0.163

As.9.5 - As.9.5.AI2.SO4.3	0.00006	0.00046	0.00027	-0.00109	0.00122	0.236	2	0.835
------------------------------	---------	---------	---------	----------	---------	-------	---	-------

Fuente. Elaboración propia

Para el caso del parámetro de Arsénico y considerando un nivel de pH de 7.5, 8.0 y 8.5, la prueba t de student entre las medias de los porcentajes de remoción de este metal, dosificando y sin dosificar Sulfato de aluminio (20mg/l), resultó en un nivel de significancia menor que 0.025 (0.05 dividido entre 2 para un contraste bilateral). Por lo tanto, se acepta la hipótesis de que " La dosificación de sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, y 8.5 influye significativamente en la remoción de Arsénico.", lo que demuestra que el porcentaje de remoción de Arsénico a nivel de pH 7.5, 8.0 y 8.5; es mayor al dosificar sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio.

Sin embargo, a un nivel de pH de 9.0 y 9.5 se tiene un nivel de significancia mayor que 0.025. Esto indica que el sulfato de aluminio no influye en el tratamiento de agua utilizando hidróxido de calcio a eso niveles de pH.

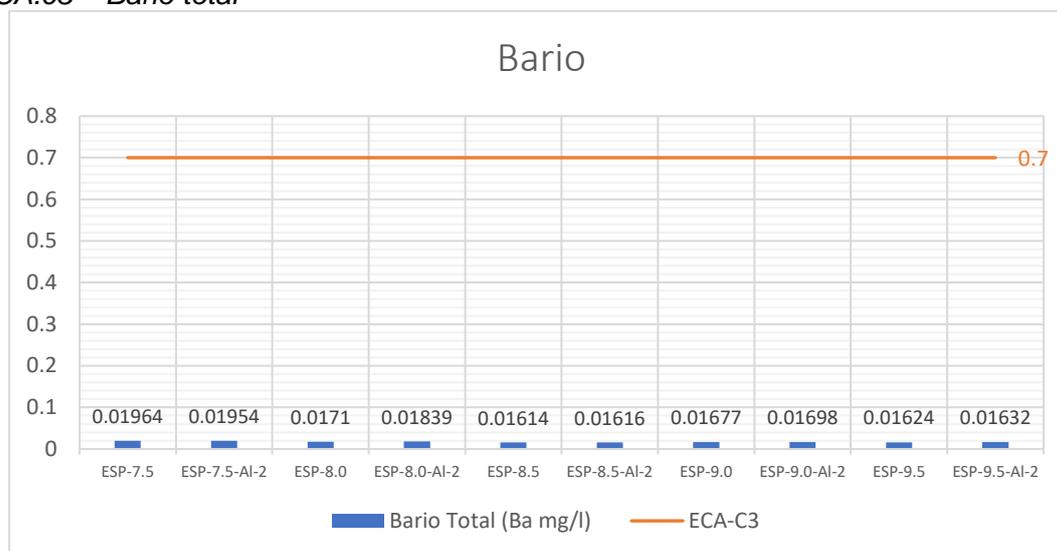
BARIO – Dosificando sulfato de aluminio

El agua ácida proveniente de la relavera Quiulacocha fue sometida a un proceso de tratamiento con una concentración inicial de 0.02051 mg/l de Bario.

El resultado del análisis del Bario como parámetro, obtenido después de pasar por el sistema de tratamiento utilizando y sin utilizar sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio se representa en la figura 70, donde se muestra que se cumple con el valor establecido en el D.S. N° 004-2017-MINAM, el cual define los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría 3.

Figura 70

Resultados del tratamiento dosificando Sulfato de Aluminio (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Bario total



Fuente. Elaboración propia

Prueba de Normalidad

Se lleva a cabo el análisis de normalidad de los datos obtenidos base al porcentaje de remoción de Bario, considerando tanto la presencia como la ausencia de dosificación del coagulante (sulfato de aluminio). Estos datos se obtuvieron empleando diferentes niveles de pH: 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5.

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Los datos examinados presentan una distribución normal.
- Hipótesis alternativa (H_1): Los datos examinados no presentan una distribución normal.

Los supuestos asociados a esta prueba son los siguientes:

- Si el valor de significancia (P) es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0).
- Si el valor de significancia (P) es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alternativa (H_1)

Tabla 56*Prueba de normalidad de Bario en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5*

	Kolmogorov-Smirnov ^a		Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Ba.7.5	0.328	3	.	0.87	3	0.296
Ba.7.5.Al2.SO4.3	0.322	3	.	0.88	3	0.325
Ba.8.0	0.327	3	.	0.871	3	0.299
Ba.8.0.Al2.SO4.3	0.321	3	.	0.881	3	0.328
Ba.8.5	0.372	3	.	0.783	3	0.074
Ba.8.5.Al2.SO4.3	0.322	3	.	0.88	3	0.325
Ba.9.0	0.327	3	.	0.871	3	0.299
Ba.9.0.Al2.SO4.3	0.378	3	.	0.767	3	0.037
Ba.9.5	0.327	3	.	0.871	3	0.299
Ba.9.5.Al2.SO4.3	0.23	3	.	0.981	3	0.736

Fuente. Elaboración propia

La tabla 56 muestra los resultados del test de Shapiro-Wilk para una muestra pequeña en las pruebas realizadas. Los valores de significancia (P) para Ba.7.5, Ba.7.5.Al2.SO4.3, Ba.8.0, Ba.8.0.Al2.SO4.3, Ba.8.5, Ba.8.5.Al2.SO4.3, Ba.9.0, Ba.9.0.Al2.SO4.3, Ba.9.5 y Ba.9.5.Al2.SO4.3 son mayores a 0.05. Por consiguiente, se infiere que los resultados de estas pruebas siguen una distribución normal, respaldando la hipótesis H_0 . Esto es crucial para aplicar la Prueba T en el análisis.

Prueba de hipótesis T-Student

Hipótesis

H_0 : La dosificación de sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, no influye significativamente en la remoción de Bario.

H_1 : La dosificación de sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, influye significativamente en la remoción de Bario.

El contraste es bilateral, por lo tanto $0,05 / 2 = 0,025$

$P > 0.025$ se aprueba la H_0

$P < 0.025$ se aprueba la H_1

Tabla 57

Prueba de muestras emparejadas dosificando Sulfato de Aluminio para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Bario

	Diferencias emparejadas					t	gl	Significación bilateral
	Media	Desv. estándar	Media de error estándar	95 de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Ba.7.5 - Ba.7.5.AI2.SO4.3	-0.00456	0.00028	0.00016	-0.00527	-0.00386	-27.939	2	0.001
Ba.8.0 - Ba.8.0.AI2.SO4.3	0.06341	0.00028	0.00016	0.0627	0.06411	388.204	2	<.001
Ba.8.5 - Ba.8.5.AI2.SO4.3	0.00114	0.00489	0.00282	-0.01102	0.01329	0.402	2	0.726
Ba.9.0 - Ba.9.0.AI2.SO4.3	0.01044	0.02852	0.01646	-0.0604	0.08127	0.634	2	0.591
Ba.9.5 - Ba.9.5.AI2.SO4.3	0.00391	0.00551	0.00318	-0.00978	0.0176	1.228	2	0.344

Fuente. Elaboración propia

Para el caso del parámetro de Bario y considerando un nivel de pH de 7.5 y 8.0, la prueba t de student entre las medias de los porcentajes de remoción de este metal, dosificando y sin dosificar Sulfato de aluminio (20mg/l), resultó en un nivel de significancia menor que 0.025 (0.05 dividido entre 2 para un contraste bilateral). Por lo tanto, se acepta la hipótesis de que " La dosificación de sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5 y 8.5 influye significativamente en la remoción de Bario.", lo que demuestra que el porcentaje de remoción de Bario a nivel de pH 7.5 y 8.0; es mayor al dosificar sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio. Sin embargo, a un nivel de pH de 8.5, 9.0 y 9.5 se tiene un nivel de significancia mayor que 0.025. Esto indica que el sulfato de aluminio no influye en el tratamiento de agua utilizando hidróxido de calcio a eso niveles de pH.

BERILIO – Dosificando sulfato de aluminio

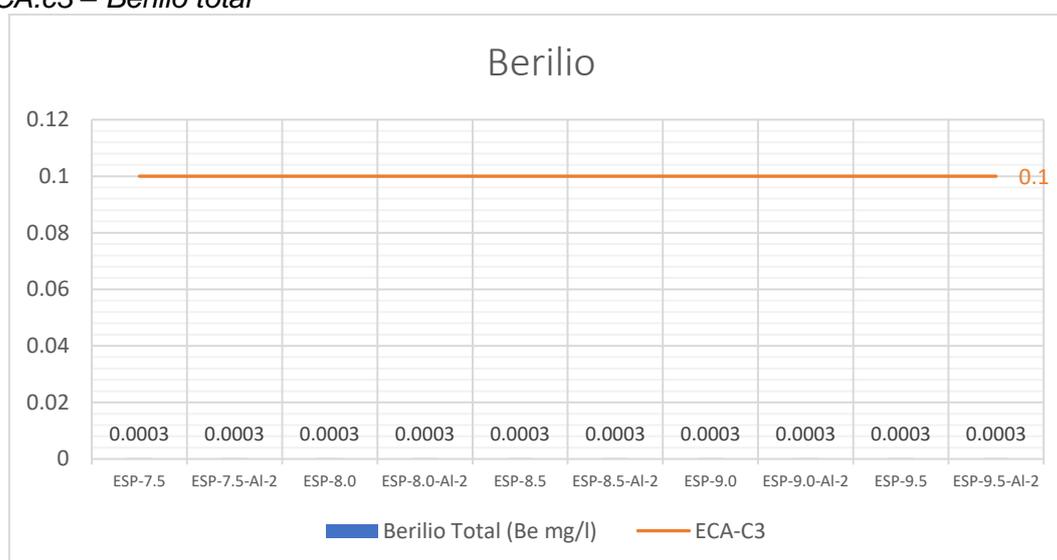
El agua ácida proveniente de la relavera Quiulacocha fue sometida a un proceso de tratamiento con una concentración inicial de 0.028 mg/l de Berilio.

El resultado del análisis del Berilio como parámetro, obtenido después de pasar por el sistema de tratamiento utilizando y sin utilizar sulfato de aluminio como

coadyuvante del hidróxido de calcio se representa en la figura 71, donde se muestra que se cumple con el valor establecido en el D.S. N° 004-2017-MINAM, el cual define los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría 3.

Figura 71

Resultados del tratamiento dosificando Sulfato de Aluminio (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Berilio total



Fuente. Elaboración propia

Prueba de Normalidad

Se lleva a cabo el análisis de normalidad de los datos obtenidos base al porcentaje de remoción de Berilio, considerando tanto la presencia como la ausencia de dosificación del coagulante (sulfato de aluminio). Estos datos se obtuvieron empleando diferentes niveles de pH: 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5.

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Los datos examinados presentan una distribución normal.
- Hipótesis alternativa (H_1): Los datos examinados no presentan una distribución normal.

Los supuestos asociados a esta prueba son los siguientes:

- Si el valor de significancia (P) es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0).

- Si el valor de significancia (P) es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alternativa (H_1)

Tabla 58

Prueba de normalidad de Berilio en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5

	Kolmogorov-Smirnov ^a		Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Be.7.5	.	3	.	.	3	.
Be.7.5.Al2.SO4.3	.	3	.	.	3	.
Be.8.0	.	3	.	.	3	.
Be.8.0.Al2.SO4.3	.	3	.	.	3	.
Be.8.5	.	3	.	.	3	.
Be.8.5.Al2.SO4.3	.	3	.	.	3	.
Be.9.0	.	3	.	.	3	.
Be.9.0.Al2.SO4.3	.	3	.	.	3	.
Be.9.5	.	3	.	.	3	.
Be.9.5.Al2.SO4.3	.	3	.	.	3	.

Fuente. Elaboración propia

La tabla 58 muestra los resultados del test de Shapiro-Wilk para una muestra pequeña en las pruebas realizadas. Los valores de significancia (P) son menores a 0.05, por consiguiente, se infiere que los resultados de estas pruebas no siguen una distribución normal. Por lo tanto, no aplica realizar la Prueba T en el análisis. Adicionalmente se observa en los resultados de los informes de ensayo que el parámetro Berilio esta por debajo de límite máximo de detección, lo cual magnifica el sustento de no proseguir con la prueba de t student.

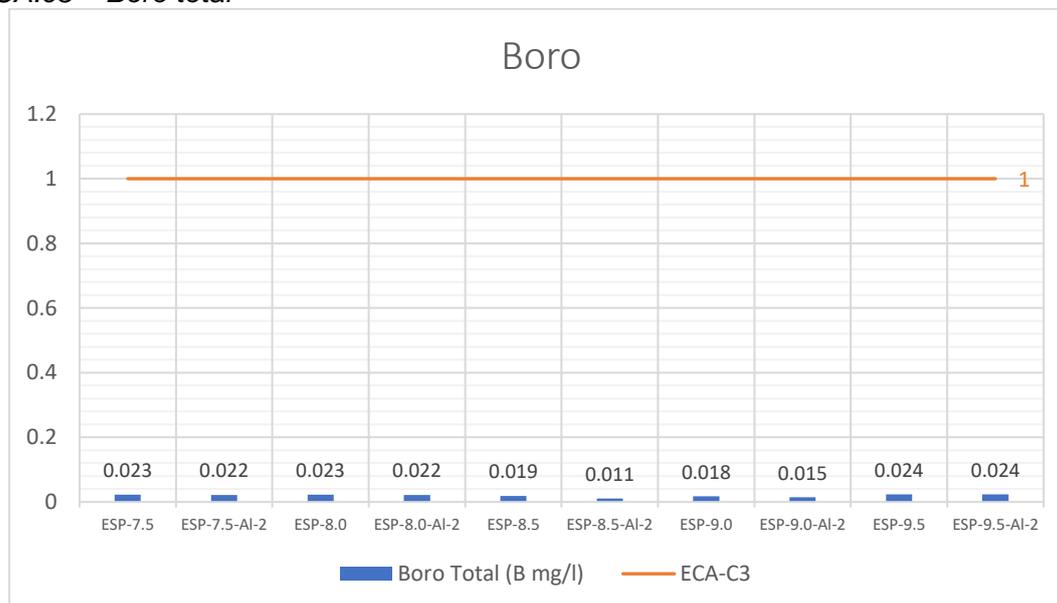
BORO – Dosificando sulfato de aluminio

El agua ácida proveniente de la relavera Quiulacocha fue sometida a un proceso de tratamiento con una concentración inicial de 0.042 mg/l de Boro.

El resultado del análisis del Boro como parámetro, obtenido después de pasar por el sistema de tratamiento utilizando y sin utilizar sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio se representa en la figura 72, donde se muestra que se cumple con el valor establecido en el D.S. N° 004-2017-MINAM, el cual define los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría 3.

Figura 72

Resultados del tratamiento dosificando Sulfato de Aluminio (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Boro total



Fuente. Elaboración propia

Prueba de Normalidad

Se lleva a cabo el análisis de normalidad de los datos obtenidos base al porcentaje de remoción de Boro, considerando tanto la presencia como la ausencia de dosificación del coagulante (sulfato de aluminio). Estos datos se obtuvieron empleando diferentes niveles de pH: 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5.

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Los datos examinados presentan una distribución normal.
- Hipótesis alternativa (H_1): Los datos examinados no presentan una distribución normal.

Los supuestos asociados a esta prueba son los siguientes:

- Si el valor de significancia (P) es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0).
- Si el valor de significancia (P) es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alternativa (H_1)

Tabla 59*Prueba de normalidad de Boro en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5*

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
B.7.5	0.337	3	.	0.855	3	0.253
B.7.5.AI2.SO4.3	0.292	3	.	0.923	3	0.463
B.8.0	0.385	3	.	0.75	3	<.001
B.8.0.AI2.SO4.3	0.253	3	.	0.964	3	0.637
B.8.5	0.314	3	.	0.893	3	0.363
B.8.5.AI2.SO4.3	0.328	3	.	0.871	3	0.298
B.9.0	0.253	3	.	0.964	3	0.637
B.9.0.AI2.SO4.3	0.385	3	.	0.75	3	<.001
B.9.5	0.385	3	.	0.75	3	<.001
B.9.5.AI2.SO4.3	0.253	3	.	0.964	3	0.637

Fuente. Elaboración propia

La tabla 59 muestra los resultados del test de Shapiro-Wilk para una muestra pequeña en las pruebas realizadas. Los valores de significancia (P) para B.7.5, B.8.5, B.8.5.AI2.SO4.3, B.9.0, B.9.0.AI2.SO4.3 y B.9.5 son mayores a 0.05. Sin embargo, los resultados que servirán para realizar la comparación del porcentaje de tratamiento no tienen un valor de significancia mayor a 0.05. Por consiguiente, no se puede aplicar la prueba de T student.

CADMIO – Dosificando sulfato de aluminio

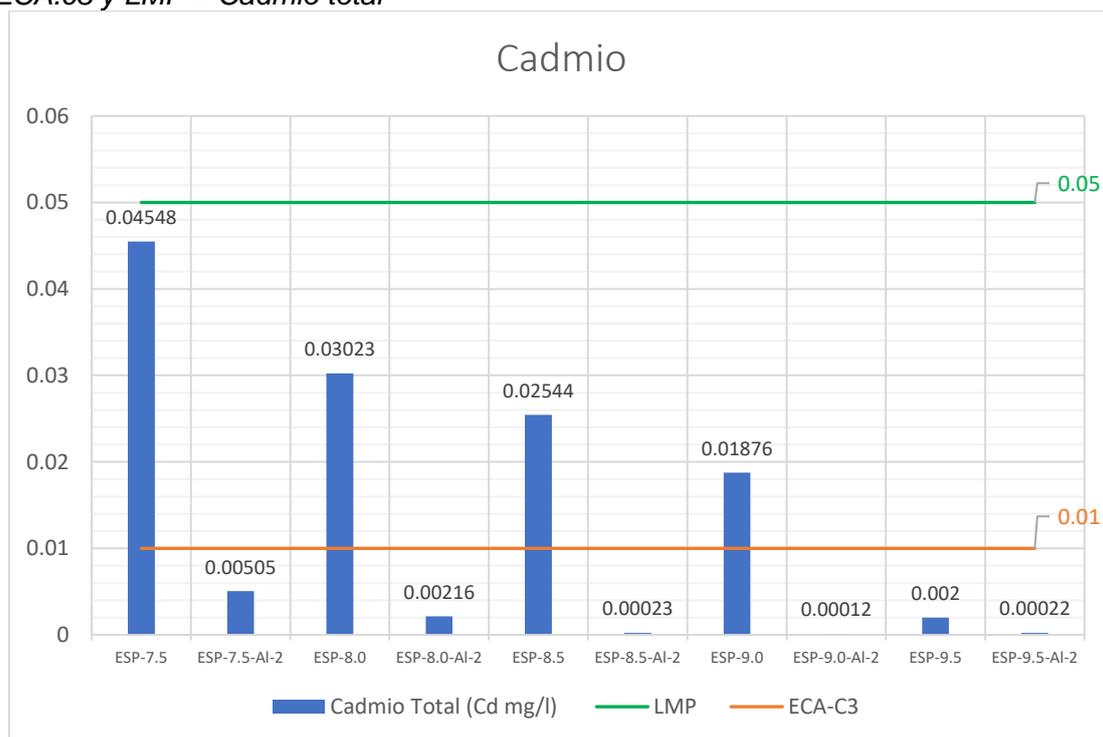
El agua ácida proveniente de la relavera Quiulacocha fue sometida a un proceso de tratamiento con una concentración inicial de 0.41659 mg/l de Cadmio.

El resultado del análisis del Cadmio como parámetro, obtenido después de pasar por el sistema de tratamiento utilizando y sin utilizar sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio se representa en la figura 73, donde se muestra que se cumple con el valor establecido en el D.S. N° 004-2017-MINAM, el cual define los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría 3. Sin embargo, los resultados, sin considerar la dosificación del sulfato de aluminio, no cumplen con el valor establecido en los Límites Máximos Permisibles para la descarga

de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas D.S N° 010-2010-MINAM. No obstante, si se dosifica el coadyuvante, se llega a cumplir con los LMP en todos los niveles de Ph.

Figura 73

Resultados del tratamiento dosificando Sulfato de Aluminio (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 y LMP – Cadmio total



Fuente. Elaboración propia

Prueba de Normalidad

Se lleva a cabo el análisis de normalidad de los datos obtenidos base al porcentaje de remoción de Cadmio, considerando tanto la presencia como la ausencia de dosificación del coagulante (sulfato de aluminio). Estos datos se obtuvieron empleando diferentes niveles de pH: 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5.

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Los datos examinados presentan una distribución normal.
- Hipótesis alternativa (H_1): Los datos examinados no presentan una distribución normal.

Los supuestos asociados a esta prueba son los siguientes:

- Si el valor de significancia (P) es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0).
- Si el valor de significancia (P) es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alternativa (H_1)

Tabla 60

Prueba de normalidad de Cadmio en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5

	Kolmogorov-Smirnov ^a		Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Cd.7.5	0.273	3	.	0.945	3	0.549
Cd.7.5.Al2.SO4.3	0.177	3	.	1	3	0.962
Cd.8.0	0.363	3	.	0.801	3	0.118
Cd.8.0.Al2.SO4.3	0.253	3	.	0.964	3	0.637
Cd.8.5	0.272	3	.	0.947	3	0.554
Cd.8.5.Al2.SO4.3	0.328	3	.	0.871	3	0.298
Cd.9.0	0.269	3	.	0.949	3	0.567
Cd.9.0.Al2.SO4.3	0.282	3	.	0.936	3	0.51
Cd.9.5	0.175	3	.	1	3	1
Cd.9.5.Al2.SO4.3	0.338	3	.	0.852	3	0.246

Fuente. Elaboración propia

La tabla 60 muestra los resultados del test de Shapiro-Wilk para una muestra pequeña en las pruebas realizadas. Los valores de significancia (P) para Cd.7.5, Cd.7.5.Al2.SO4.3, Cd.8.0, Cd.8.0.Al2.SO4.3, Cd.8.5, Cd.8.5.Al2.SO4.3, Cd.9.0, Cd.9.0.Al2.SO4.3, Cd.9.5 y Cd.9.5.Al2.SO4.3 son mayores a 0.05. Por consiguiente, se infiere que los resultados de estas pruebas siguen una distribución normal, respaldando la hipótesis H_0 . Esto es crucial para aplicar la Prueba T en el análisis.

Prueba de hipótesis T-Student

Hipótesis

H_0 : La dosificación de sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de

pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, no influye significativamente en la remoción de Cadmio.

H1: La dosificación de sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, influye significativamente en la remoción de Cadmio.

El contraste es bilateral, por lo tanto $0,05 / 2 = 0,025$

$P > 0.025$ se aprueba la H_0

$P < 0.025$ se aprueba la H_1

Tabla 61

Prueba de muestras emparejadas dosificando Sulfato de Aluminio para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Cadmio

	Diferencias emparejadas					t	gl	Significación bilateral
	Media	Desv. estándar	Media de error estándar	95 de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Cd.7.5 - Cd.7.5.AI2.SO4.3	-0.09704	0.00025	0.00014	-0.09766	-0.09643	-678.148	2	<.001
Cd.8.0 - Cd.8.0.AI2.SO4.3	-0.06736	0.00016	0.00009	-0.06776	-0.06697	-737.437	2	<.001
Cd.8.5 - Cd.8.5.AI2.SO4.3	-0.06051	0.00004	0.00002	-0.06061	-0.06041	-2593.429	2	<.001
Cd.9.0 - Cd.9.0.AI2.SO4.3	-0.04473	0.00013	0.00007	-0.04505	-0.04442	-608.118	2	<.001
Cd.9.5 - Cd.9.5.AI2.SO4.3	-0.00428	0.00021	0.00012	-0.00481	-0.00376	-35.117	2	<.001

Fuente. Elaboración propia

Para el caso del parámetro de Cadmio, la prueba t de student entre las medias de los porcentajes de remoción de este metal, dosificando y sin dosificar Sulfato de aluminio (20mg/l), resultó en un nivel de significancia menor que 0.025 (0.05 dividido entre 2 para un contraste bilateral). Por lo tanto, se acepta la hipótesis de que " La dosificación de sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 influye significativamente en la remoción de Cadmio.", lo que demuestra

que el porcentaje de remoción de Cadmio a nivel de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5; es mayor al dosificar sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio.

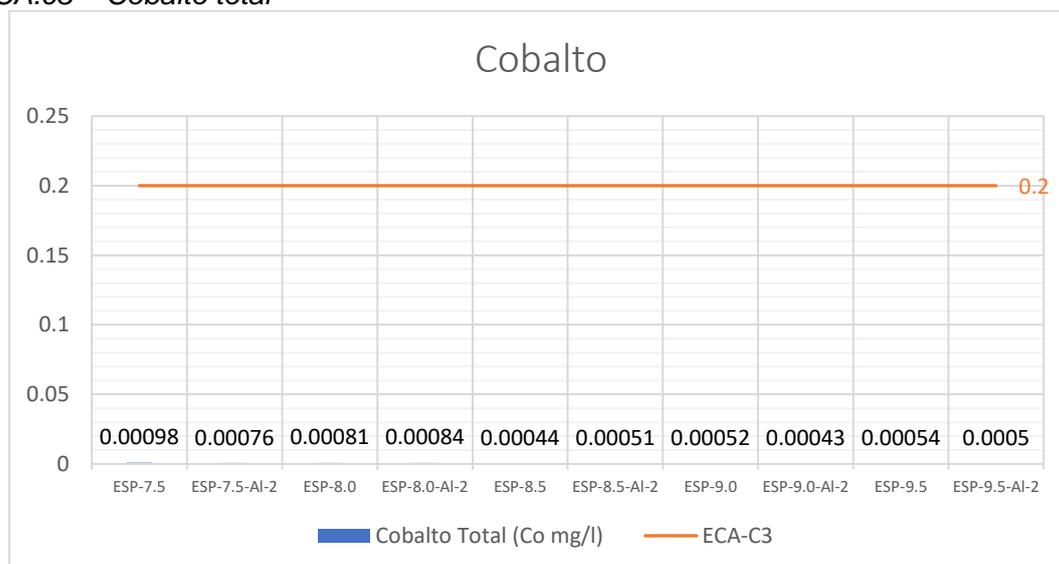
COBALTO – Dosificando sulfato de aluminio

El agua ácida proveniente de la relavera Quiulacocha fue sometida a un proceso de tratamiento con una concentración inicial de 0.03724 mg/l de Cobalto.

El resultado del análisis del Cobalto como parámetro, obtenido después de pasar por el sistema de tratamiento utilizando y sin utilizar sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio se representa en la figura 74, donde se muestra que se cumple con el valor establecido en el D.S. N° 004-2017-MINAM, el cual define los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría 3.

Figura 74

Resultados del tratamiento dosificando Sulfato de Aluminio (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Cobalto total



Fuente. Elaboración propia

Prueba de Normalidad

Se lleva a cabo el análisis de normalidad de los datos obtenidos base al porcentaje de remoción de Cobalto, considerando tanto la presencia como la ausencia de dosificación del coagulante (sulfato de aluminio). Estos datos se obtuvieron empleando diferentes niveles de pH: 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5.

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Los datos examinados presentan una distribución normal.
- Hipótesis alternativa (H_1): Los datos examinados no presentan una distribución normal.

Los supuestos asociados a esta prueba son los siguientes:

- Si el valor de significancia (P) es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0).
- Si el valor de significancia (P) es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alternativa (H_1)

Tabla 62

Prueba de normalidad de Cobalto en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5

	Kolmogorov-Smirnov ^a		Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Co.7.5	0.304	3	.	0.907	3	0.409
Co.7.5.AI2.SO4.3	0.313	3	.	0.894	3	0.366
Co.8.0	0.292	3	.	0.924	3	0.466
Co.8.0.AI2.SO4.3	0.253	3	.	0.965	3	0.639
Co.8.5	0.314	3	.	0.893	3	0.365
Co.8.5.AI2.SO4.3	0.175	3	.	1	3	0.997
Co.9.0	0.327	3	.	0.871	3	0.299
Co.9.0.AI2.SO4.3	0.275	3	.	0.943	3	0.54
Co.9.5	0.385	3	.	0.75	3	<.001
Co.9.5.AI2.SO4.3	0.327	3	.	0.872	3	0.3

Fuente. Elaboración propia

La tabla 62 muestra los resultados del test de Shapiro-Wilk para una muestra pequeña en las pruebas realizadas. Los valores de significancia (P) para Co.7.5, Co.7.5.AI2.SO4.3, Co.8.0, Co.8.0.AI2.SO4.3, Co.8.5, Co.8.5.AI2.SO4.3, Co.9.0, Co.9.0.AI2.SO4.3, Co.9.5 y Co.9.5.AI2.SO4.3 son mayores a 0.05. Por consiguiente, se infiere que los resultados de estas pruebas siguen una distribución normal, respaldando la hipótesis H_0 . Esto es crucial para aplicar la Prueba T en el análisis.

Prueba de hipótesis T-Student

Hipótesis

H0: La dosificación de sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, no influye significativamente en la remoción de Cobalto.

H1: La dosificación de sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, influye significativamente en la remoción de Cobalto.

El contraste es bilateral, por lo tanto $0,05 / 2 = 0,025$

$P > 0.025$ se aprueba la *H0*

$P < 0.025$ se aprueba la *H1*

Tabla 63

Prueba de muestras emparejadas dosificando Sulfato de Aluminio para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Cobalto

	Diferencias emparejadas					t	gl	Significación bilateral
	Media	Desv. estándar	Media de error estándar	95 de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Co.7.5 - Co.7.5.AI2.SO4.3	-0.00600	0.00194	0.00112	-0.01082	-0.00117	-5.349	2	0.033
Co.8.0 - Co.8.0.AI2.SO4.3	0.00098	0.00276	0.00159	-0.00587	0.00784	0.617	2	0.6
Co.8.5 - Co.8.5.AI2.SO4.3	0.00188	0.00256	0.00148	-0.00449	0.00824	1.269	2	0.332
Co.9.0 - Co.9.0.AI2.SO4.3	-0.00251	0.00162	0.00094	-0.00654	0.00152	-2.675	2	0.116
Co.9.5 - Co.9.5.AI2.SO4.3	-0.00108	0.00176	0.00102	-0.00545	0.00329	-1.062	2	0.399

Fuente. Elaboración propia

Para el caso del parámetro de Cobalto, la prueba t de student entre las medias de los porcentajes de remoción de este metal, dosificando y sin dosificar Sulfato de aluminio (20mg/l), resultó en un nivel de significancia mayor a 0.025 (0.05 dividido entre 2 para un contraste bilateral). Por lo tanto, se rechaza la hipótesis de que " La

dosificación de sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas ácidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 influye significativamente en la remoción de Cobalto.”.

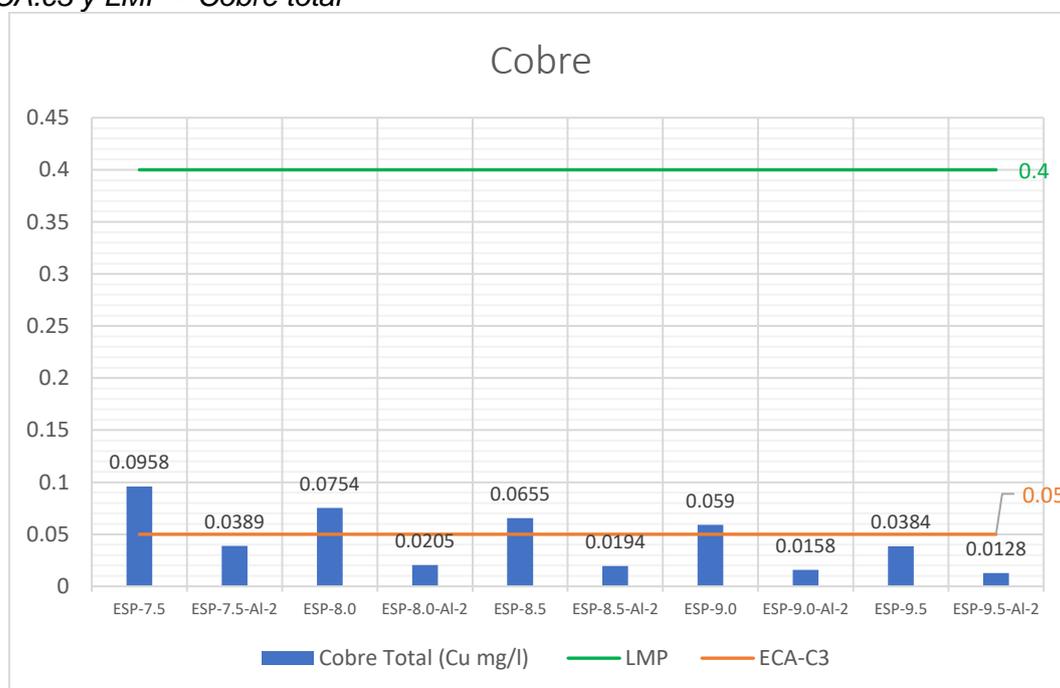
COBRE – Dosificando sulfato de aluminio

El agua ácida proveniente de la relavera Quiulacocha fue sometida a un proceso de tratamiento con una concentración inicial de 2.1710 mg/l de Cobre.

El resultado del análisis del Arsénico como parámetro, obtenido después de pasar por el sistema de tratamiento utilizando y sin utilizar sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio se representa en la figura 75, donde se muestra que cumple con el valor establecido en los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas D.S N° 010-2010-MINAM. Sin embargo, los valores solo cumplen con el ECA-C3 al dosificar el sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio.

Figura 75

Resultados del tratamiento dosificando Sulfato de Aluminio (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 y LMP – Cobre total



Fuente. Elaboración propia

Prueba de Normalidad

Se lleva a cabo el análisis de normalidad de los datos obtenidos base al porcentaje de remoción de Cobre, considerando tanto la presencia como la ausencia de dosificación del coagulante (sulfato de aluminio). Estos datos se obtuvieron empleando diferentes niveles de pH: 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5.

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Los datos examinados presentan una distribución normal.
- Hipótesis alternativa (H_1): Los datos examinados no presentan una distribución normal.

Los supuestos asociados a esta prueba son los siguientes:

- Si el valor de significancia (P) es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0).
- Si el valor de significancia (P) es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alternativa (H_1).

Tabla 64

Prueba de normalidad de Cobre en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Cu.7.5	0.207	3	.	0.992	3	0.833
Cu.7.5.Al2.SO4.3	0.267	3	.	0.951	3	0.576
Cu.8.0	0.295	3	.	0.919	3	0.45
Cu.8.0.Al2.SO4.3	0.177	3	.	1	3	0.97
Cu.8.5	0.366	3	.	0.795	3	0.103
Cu.8.5.Al2.SO4.3	0.286	3	.	0.93	3	0.49
Cu.9.0	0.233	3	.	0.979	3	0.721
Cu.9.0.Al2.SO4.3	0.307	3	.	0.904	3	0.398
Cu.9.5	0.385	3	.	0.75	3	<.001
Cu.9.5.Al2.SO4.3	0.307	3	.	0.904	3	0.398

Fuente. Elaboración propia

La tabla 64 muestra los resultados del test de Shapiro-Wilk para una muestra pequeña en las pruebas realizadas. Los valores de significancia (P) para Cu.7.5,

Cu.7.5.AI2.SO4.3, Cu.8.0, Cu.8.0.AI2.SO4.3, Cu.8.5, Cu.8.5.AI2.SO4.3, Cu.9.0, Cu.9.0.AI2.SO4.3, Cu.9.5 y Cu.9.5.AI2.SO4.3 son mayores a 0.05. Por consiguiente, se infiere que los resultados de estas pruebas siguen una distribución normal, respaldando la hipótesis H_0 . Esto es crucial para aplicar la Prueba T en el análisis.

Prueba de hipótesis T-Student

Hipótesis

H_0 : La dosificación de sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, no influye significativamente en la remoción de Cobre.

H_1 : La dosificación de sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, influye significativamente en la remoción de Cobre.

El contraste es bilateral, por lo tanto $0,05 / 2 = 0,025$

$P > 0.025$ se aprueba la H_0

$P < 0.025$ se aprueba la H_1

Tabla 65

Prueba de muestras emparejadas dosificando Sulfato de Aluminio para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Cobre

	Diferencias emparejadas					t	gl	Significación bilateral
	Media	Desv. estándar	Media de error estándar	95 de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Cu.7.5 - Cu.7.5.AI2.SO4.3	-0.02618	0.00019	0.00011	-0.02665	-0.02572	-241.607	2	<.001
Cu.8.0 - Cu.8.0.AI2.SO4.3	-0.02527	0.00014	0.00008	-0.02563	-0.02492	-306.234	2	<.001
Cu.8.5 - Cu.8.5.AI2.SO4.3	-0.02126	0.00037	0.00022	-0.02219	-0.02034	-98.772	2	<.001
Cu.9.0 - Cu.9.0.AI2.SO4.3	-0.0199	0.00037	0.00021	-0.02082	-0.01898	-93.156	2	<.001
Cu.9.5 - Cu.9.5.AI2.SO4.3	-0.01178	0.00042	0.00024	-0.01283	-0.01073	-48.239	2	<.001

Fuente. Elaboración propia

Para el caso del parámetro de Cobre, la prueba t de student entre las medias de los porcentajes de remoción de este metal, dosificando y sin dosificar Sulfato de aluminio (20mg/l), resultó en un nivel de significancia menor que 0.025 (0.05 dividido entre 2 para un contraste bilateral). Por lo tanto, se acepta la hipótesis de que "La dosificación de sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 influye significativamente en la remoción de Aluminio.", lo que demuestra que los porcentajes de remoción de Cobre a nivel de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5; es mayor al dosificar sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio.

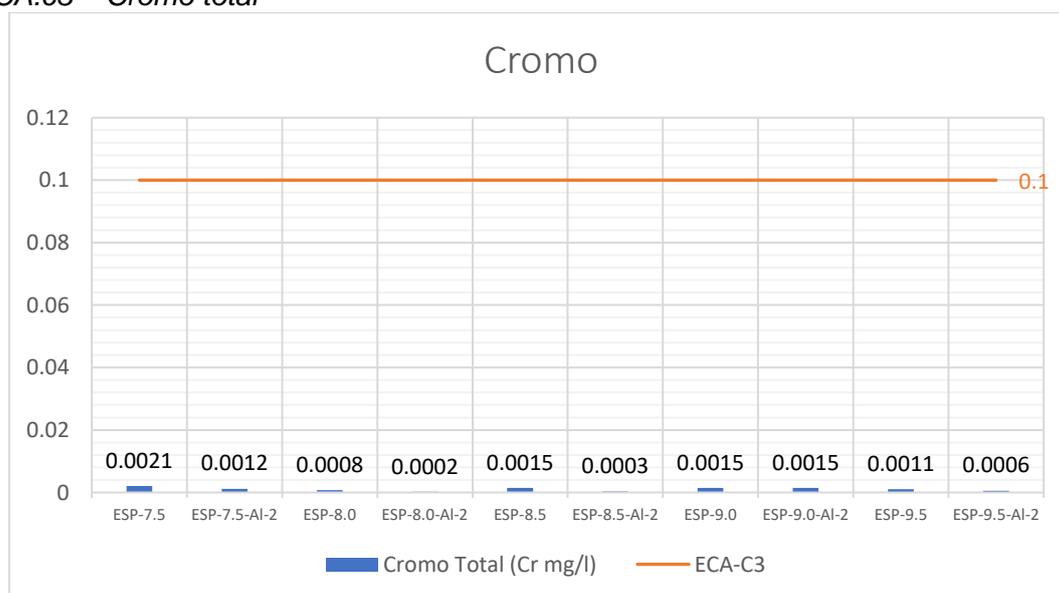
CROMO – Dosificando sulfato de aluminio

El agua ácida proveniente de la relavera Quiulacocha fue sometida a un proceso de tratamiento con una concentración inicial de 0.0180 mg/l de Cromo.

El resultado del análisis del Cromo como parámetro, obtenido después de pasar por el sistema de tratamiento, se representa en la figura 76 que demuestra que se cumple con el valor establecido en el D.S. N° 004-2017-MINAM, el cual define los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría 3.

Figura 76

Resultados del tratamiento dosificando Sulfato de Aluminio (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Cromo total



Fuente. Elaboración propia

Prueba de Normalidad

Se lleva a cabo el análisis de normalidad de los datos obtenidos base al porcentaje de remoción de Cromo, considerando tanto la presencia como la ausencia de dosificación del coagulante (sulfato de aluminio). Estos datos se obtuvieron empleando diferentes niveles de pH: 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5.

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Los datos examinados presentan una distribución normal.
- Hipótesis alternativa (H_1): Los datos examinados no presentan una distribución normal.

Los supuestos asociados a esta prueba son los siguientes:

- Si el valor de significancia (P) es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0).
- Si el valor de significancia (P) es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alternativa (H_1).

Tabla 66

Prueba de normalidad de Cromo en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Cr.7.5	0.385	3	.	0.75	3	<.001
Cr.7.5.Al2.SO4.3	0.175	3	.	1	3	0.999
Cr.8.0	0.385	3	.	0.75	3	<.001
Cr.8.0.Al2.SO4.3	0.385	3	.	0.75	3	<.001
Cr.8.5	0.292	3	.	0.923	3	0.464
Cr.8.5.Al2.SO4.3	0.385	3	.	0.75	3	<.001
Cr.9.0	0.385	3	.	0.75	3	<.001
Cr.9.0.Al2.SO4.3	0.253	3	.	0.964	3	0.637
Cr.9.5	0.385	3	.	0.75	3	<.001
Cr.9.5.Al2.SO4.3	0.385	3	.	0.75	3	<.001

Fuente. Elaboración propia

La tabla 66 muestra los resultados del test de Shapiro-Wilk para una muestra pequeña en las pruebas realizadas. Los valores de significancia (P) para Cr.7.5,

Cr.7.5.AI2.SO4.3, Cr.8.0 y Cr.8.0.AI2.SO4.3 son mayores a 0.05. Por consiguiente, se infiere que los resultados de estas pruebas siguen una distribución normal, respaldando la hipótesis H_0 . Esto es crucial para aplicar la Prueba T en el análisis.

Prueba de hipótesis T-Student

Hipótesis

H_0 : La dosificación de sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, no influye significativamente en la remoción de Cromo.

H_1 : La dosificación de sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, influye significativamente en la remoción de Cromo.

El contraste es bilateral, por lo tanto $0,05 / 2 = 0,025$

$P > 0.025$ se aprueba la H_0

$P < 0.025$ se aprueba la H_1

Tabla 67

Prueba de muestras emparejadas dosificando Sulfato de Aluminio para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Cromo

	Diferencias emparejadas					t	gl	Significación bilateral
	Media	Desv. estándar	Media de error estándar	95 de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Cr.7.5 - Cr.7.5.AI2.SO4.3	-0.05185	0.00641	0.0037	-0.06778	-0.03593	-14.008	2	0.005
Cr.8.0 - Cr.8.0.AI2.SO4.3	-0.03333	0.053	0.0306	-0.165	0.09833	-1.089	2	0.39
Cr.8.5 - Cr.8.5.AI2.SO4.3	-0.06667	0.02421	0.01398	-0.12681	-0.00652	-4.769	2	0.041
Cr.9.0 - Cr.9.0.AI2.SO4.3	-0.00371	0.00321	0.00185	-0.01168	0.00427	-2.000	2	0.184
Cr.9.5 - Cr.9.5.AI2.SO4.3	-0.02963	0.01603	0.00926	-0.06946	0.01019	-3.201	2	0.085

Fuente. Elaboración propia

Para el caso del parámetro de Cromo y considerando un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 la prueba t de student entre las medias de los porcentajes de remoción de este metal, dosificando y sin dosificar Sulfato de aluminio (20mg/l), resultó en un nivel

de significancia mayor que 0.025 (0.05 dividido entre 2 para un contraste bilateral). Por lo tanto, se rechaza la hipótesis de que " La dosificación de sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 influye significativamente en la remoción de Cromo."

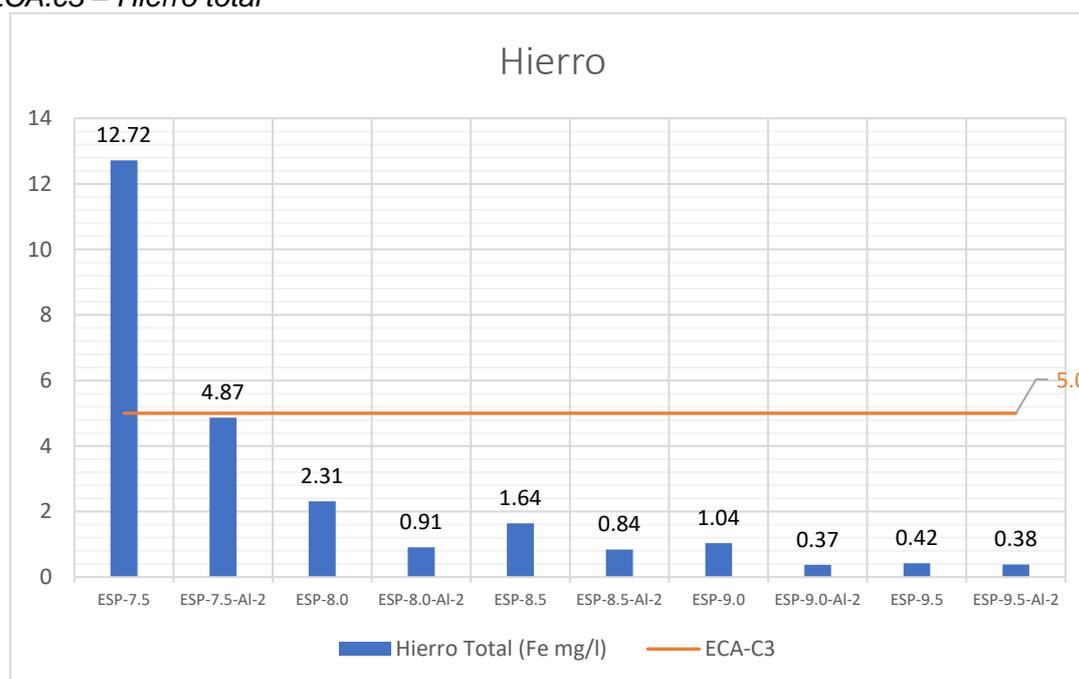
HIERRO – Dosificando sulfato de aluminio

El agua ácida proveniente de la relavera Quiulacocha fue sometida a un proceso de tratamiento con una concentración inicial de 969.78 mg/l de Hierro.

El resultado del análisis del Arsénico como parámetro, obtenido después de pasar por el sistema de tratamiento utilizando y sin utilizar sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio se representa en la figura 77, donde se muestra que se cumple con el valor establecido en el D.S. N° 004-2017-MINAM, el cual define los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría 3, con excepción de la muestra ESP-7.5, cuyo nivel de tratamiento fue de 7.5 de pH y no se dosificó sulfato de aluminio.

Figura 77

Resultados del tratamiento dosificando Sulfato de Aluminio (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Hierro total



Fuente. Elaboración propia

Prueba de Normalidad

Se lleva a cabo el análisis de normalidad de los datos obtenidos base al porcentaje de remoción de Hierro, considerando tanto la presencia como la ausencia de dosificación del coagulante (sulfato de aluminio). Estos datos se obtuvieron empleando diferentes niveles de pH: 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5.

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Los datos examinados presentan una distribución normal.
- Hipótesis alternativa (H_1): Los datos examinados no presentan una distribución normal.

Los supuestos asociados a esta prueba son los siguientes:

- Si el valor de significancia (P) es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0).
- Si el valor de significancia (P) es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alternativa (H_1)

Tabla 68

Prueba de normalidad de Hierro en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Fe.7.5	0.219	3	.	0.987	3	0.780
Fe.7.5.Al2.SO4.3	0.175	3	.	1	3	1.000
Fe.8.0	0.253	3	.	0.964	3	0.637
Fe.8.0.Al2.SO4.3	0.253	3	.	0.964	3	0.637
Fe.8.5	0.385	3	.	0.75	3	<.001
Fe.8.5.Al2.SO4.3	0.253	3	.	0.964	3	0.637
Fe.9.0	0.204	3	.	0.993	3	0.843
Fe.9.0.Al2.SO4.3	0.328	3	.	0.871	3	0.298
Fe.9.5	0.292	3	.	0.923	3	0.463
Fe.9.5.Al2.SO4.3	0.385	3	.	0.75	3	<.001

Fuente. Elaboración propia

La tabla 68 muestra los resultados del test de Shapiro-Wilk para una muestra pequeña en las pruebas realizadas. Los valores de significancia (P) para Fe.7.5, Fe.7.5.Al2.SO4.3, Fe.8.0, Fe.8.0.Al2.SO4.3, Fe.8.5, Fe.8.5.Al2.SO4.3, Fe.9.0, Fe.9.0.Al2.SO4.3, Fe.9.5 y Fe.9.5.Al2.SO4.3 son mayores a 0.05. Por consiguiente, se infiere que los resultados de estas pruebas siguen una distribución normal, respaldando la hipótesis H_0 . Esto es crucial para aplicar la Prueba T en el análisis.

Prueba de hipótesis T-Student

Hipótesis

H_0 : La dosificación de sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, no influye significativamente en la remoción de Hierro.

H_1 : La dosificación de sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, influye significativamente en la remoción de Hierro.

El contraste es bilateral, por lo tanto $0,05 / 2 = 0,025$

$P > 0.025$ se aprueba la H_0

$P < 0.025$ se aprueba la H_1

Tabla 69

Prueba de muestras emparejadas dosificando Sulfato de Aluminio para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Hierro

	Diferencias emparejadas					t	gl	Significación bilateral
	Media	Desv. estándar	Media de error estándar	95 de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Fe.7.5 - Fe.7.5.Al2.SO4.3	-0.00810	0.00003	0.00002	-0.00818	-0.00803	-459.416	2	<.001
Fe.8.0 - Fe.8.0.Al2.SO4.3	-0.00144	0.00003	0.00002	-0.00151	-0.00137	-83.138	2	<.001
Fe.8.5 - Fe.8.5.Al2.SO4.3	-0.00081	0.00003	0.00001	-0.00088	-0.00075	-55.977	2	<.001
Fe.9.0 - Fe.9.0.Al2.SO4.3	-0.00069	0.00006	0.00004	-0.00085	-0.00053	-19.137	2	0.003
Fe.9.5 - Fe.9.5.Al2.SO4.3	-0.00005	0.00009	0.00005	-0.00028	0.00018	-0.870	2	0.476

Fuente. Elaboración propia

Para el caso del parámetro de Hierro y considerando un nivel de pH de 7.5, 8.0 y 8.5, la prueba t de student entre las medias de los porcentajes de remoción de este metal, dosificando y sin dosificar Sulfato de aluminio (20mg/l), resultó en un nivel de significancia menor que 0.025 (0.05 dividido entre 2 para un contraste bilateral). Por lo tanto, se acepta la hipótesis de que " La dosificación de sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, y 8.5 influye significativamente en la remoción de Hierro.", lo que demuestra que los porcentajes de remoción de Hierro a nivel de pH 7.5, 8.0 y 8.5; es mayor al dosificar sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio.

Sin embargo, a un nivel de pH de 9.0 y 9.5 se tiene un nivel de significancia mayor que 0.025. Esto indica que el sulfato de aluminio no influye en el tratamiento de agua utilizando hidróxido de calcio a esos niveles de pH.

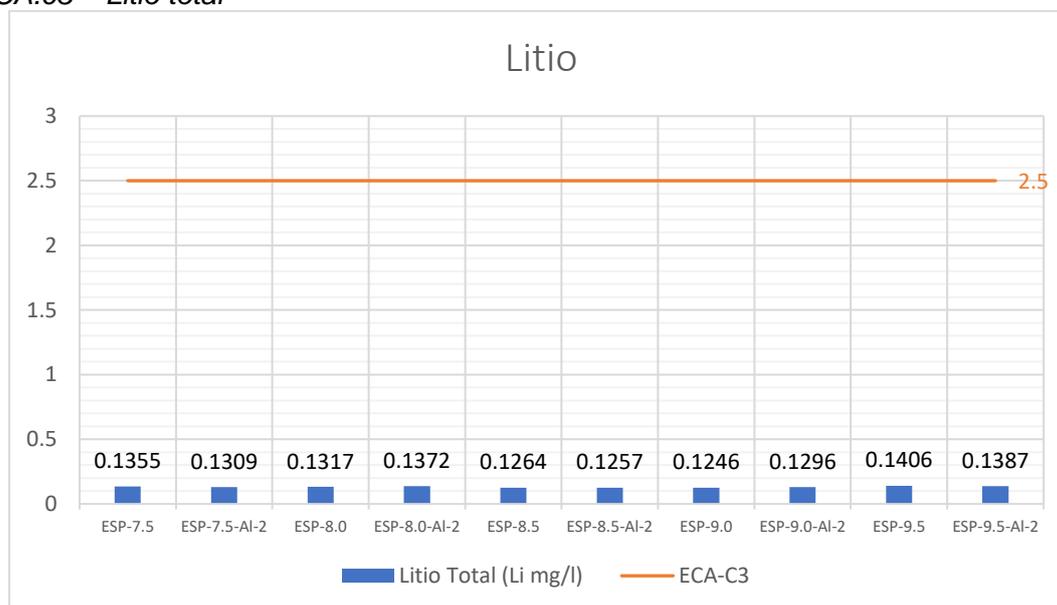
LITIO – Dosificando sulfato de aluminio

El agua ácida proveniente de la relavera Quiulacocha fue sometida a un proceso de tratamiento con una concentración inicial de 0.1835 mg/l de Litio.

El resultado del análisis del Arsénico como parámetro, obtenido después de pasar por el sistema de tratamiento utilizando y sin utilizar sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio se representa en la figura 78, donde se muestra que se cumple con el valor establecido en el D.S. N° 004-2017-MINAM, el cual define los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría 3.

Figura 78

Resultados del tratamiento dosificando Sulfato de Aluminio (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Litio total



Fuente. Elaboración propia

Prueba de Normalidad

Se lleva a cabo el análisis de normalidad de los datos obtenidos base al porcentaje de remoción de Litio, considerando tanto la presencia como la ausencia de dosificación del coagulante (sulfato de aluminio). Estos datos se obtuvieron empleando diferentes niveles de pH: 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5.

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Los datos examinados presentan una distribución normal.
- Hipótesis alternativa (H_1): Los datos examinados no presentan una distribución normal.

Los supuestos asociados a esta prueba son los siguientes:

- Si el valor de significancia (P) es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0).
- Si el valor de significancia (P) es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alternativa (H_1)

Tabla 70*Prueba de normalidad de Litio en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5*

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Li.7.5	0.352	3	.	0.824	3	0.174
Li.7.5.AI2.SO4.3	0.253	3	.	0.964	3	0.637
Li.8.0	0.201	3	.	0.994	3	0.857
Li.8.0.AI2.SO4.3	0.248	3	.	0.969	3	0.661
Li.8.5	0.302	3	.	0.91	3	0.417
Li.8.5.AI2.SO4.3	0.253	3	.	0.964	3	0.636
Li.9.0	0.184	3	.	0.999	3	0.926
Li.9.0.AI2.SO4.3	0.293	3	.	0.922	3	0.459
Li.9.5	0.296	3	.	0.919	3	0.448
Li.9.5.AI2.SO4.3	0.237	3	.	0.976	3	0.705

Fuente. Elaboración propia

La tabla 70 muestra los resultados del test de Shapiro-Wilk para una muestra pequeña en las pruebas realizadas. Los valores de significancia (P) para Li.7.5, Li.7.5.AI2.SO4.3, Li.8.0, Li.8.0.AI2.SO4.3, Li.8.5, Li.8.5.AI2.SO4.3, Li.9.0, Li.9.0.AI2.SO4.3 Li.9.5 y Li.9.5.AI2.SO4.3 son mayores a 0.05. Por consiguiente, se infiere que los resultados de estas pruebas siguen una distribución normal, respaldando la hipótesis H_0 . Esto es crucial para aplicar la Prueba T en el análisis.

Prueba de hipótesis T-Student

Hipótesis

H_0 : La dosificación de sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, no influye significativamente en la remoción de Litio.

H_1 : La dosificación de sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, influye significativamente en la remoción de Litio.

El contraste es bilateral, por lo tanto $0,05 / 2 = 0,025$

$P > 0.025$ se aprueba la H_0

$P < 0.025$ se aprueba la H_1

Tabla 71

Prueba de muestras emparejadas dosificando Sulfato de Aluminio para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Litio

	Diferencias emparejadas					t	gl	Significación bilateral
	Media	Desv. estándar	Media de error estándar	95 de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Li.7.5 - Li.7.5.A12.SO4.3	-0.02507	0.01908	0.01101	-0.07245	0.02232	-2.276	2	0.151
Li.8.0 - Li.8.0.A12.SO4.3	0.02979	0.03503	0.02023	-0.05724	0.11682	1.473	2	0.279
Li.8.5 - Li.8.5.A12.SO4.3	-0.004	0.018	0.01039	-0.0487	0.0407	-0.385	2	0.737
Li.9.0 - Li.9.0.A12.SO4.3	0.02688	0.05037	0.02908	-0.09823	0.152	0.925	2	0.453
Li.9.5 - Li.9.5.A12.SO4.3	-0.00999	0.04468	0.0258	-0.12099	0.10101	-0.387	2	0.736

Fuente. Elaboración propia

Para el caso del parámetro de Litio, la prueba t de Student entre las medias de los porcentajes de remoción de este metal, dosificando y sin dosificar Sulfato de aluminio (20mg/l), resultó en un nivel de significancia mayor que 0.025 (0.05 dividido entre 2 para un contraste bilateral). Por lo tanto, se rechaza la hipótesis de que " La dosificación de sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 influye significativamente en la remoción de Litio."

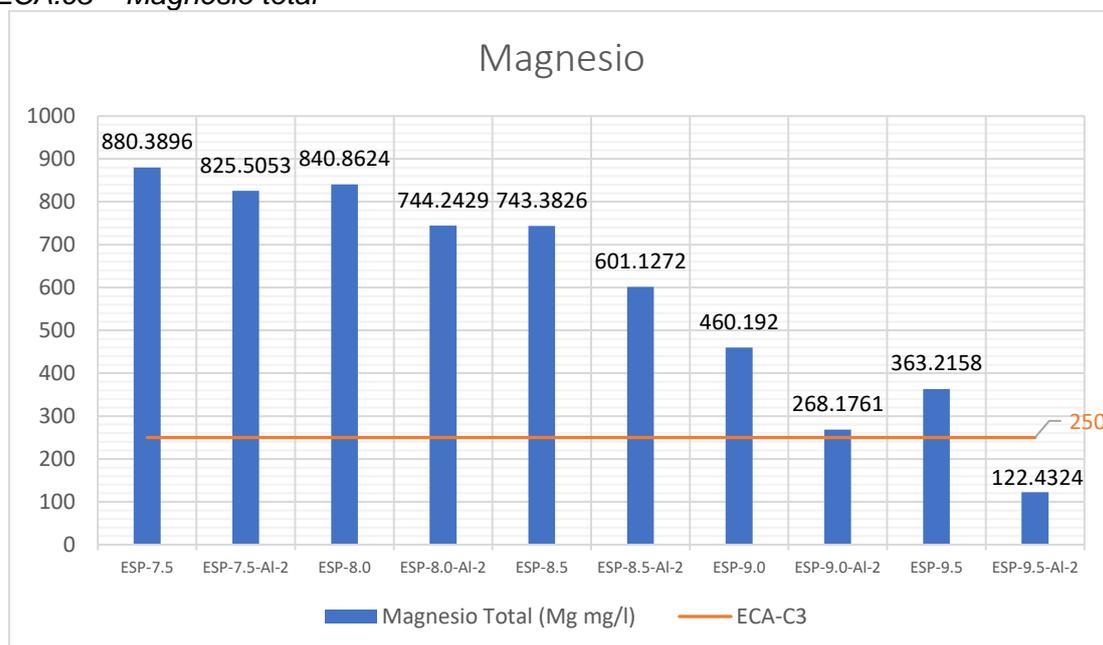
MAGNESIO – Dosificando sulfato de aluminio

El agua ácida proveniente de la relavera Quiulacocha fue sometida a un proceso de tratamiento con una concentración inicial de 1055.3487 mg/l de Magnesio.

El resultado del análisis del Arsénico como parámetro, obtenido después de pasar por el sistema de tratamiento utilizando y sin utilizar sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio se representa en la figura 79, donde se muestra que no se cumple con el valor establecido en los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría 3, con excepción de la prueba ESP-9.5-Fe-2, que se refiere al tratamiento con un nivel de pH de 9.5 y utilizando el coagulante sulfato de aluminio a una concentración de 20mg/l.

Figura 79

Resultados del tratamiento dosificando Sulfato de Aluminio (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Magnesio total



Fuente. Elaboración propia

Prueba de Normalidad

Se lleva a cabo el análisis de normalidad de los datos obtenidos base al porcentaje de remoción de Magnesio, considerando tanto la presencia como la ausencia de dosificación del coagulante (sulfato de aluminio). Estos datos se obtuvieron empleando diferentes niveles de pH: 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5.

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Los datos examinados presentan una distribución normal.
- Hipótesis alternativa (H_1): Los datos examinados no presentan una distribución normal.

Los supuestos asociados a esta prueba son los siguientes:

- Si el valor de significancia (P) es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0).
- Si el valor de significancia (P) es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alternativa (H_1)

Tabla 72*Prueba de normalidad de Magnesio en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5*

	Kolmogorov-Smirnov ^a		Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Mg.7.5	0.219	3	.	0.987	3	0.780
Mg.7.5.Al2.SO4.3	0.36	3	.	0.809	3	0.137
Mg.8.0	0.35	3	.	0.829	3	0.185
Mg.8.0.Al2.SO4.3	0.186	3	.	0.998	3	0.921
Mg.8.5	0.261	3	.	0.957	3	0.602
Mg.8.5.Al2.SO4.3	0.352	3	.	0.825	3	0.176
Mg.9.0	0.323	3	.	0.879	3	0.322
Mg.9.0.Al2.SO4.3	0.175	3	.	1	3	1
Mg.9.5	0.371	3	.	0.784	3	0.077
Mg.9.5.Al2.SO4.3	0.184	3	.	0.999	3	0.927

Fuente. Elaboración propia

La tabla 72 muestra los resultados del test de Shapiro-Wilk para una muestra pequeña en las pruebas realizadas. Los valores de significancia (P) para Mg.7.5, Mg.7.5.Al2.SO4.3, Mg.8.0, Mg.8.0.Al2.SO4.3, Mg.8.5, Mg.8.5.Al2.SO4.3, Mg.9.0, Mg.9.0.Al2.SO4.3, Mg.9.5 y Mg.9.5.Al2.SO4.3 son mayores a 0.05. Por consiguiente, se infiere que los resultados de estas pruebas siguen una distribución normal, respaldando la hipótesis H_0 . Esto es crucial para aplicar la Prueba T en el análisis.

Prueba de hipótesis T-Student

Hipótesis

H_0 : La dosificación de sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, no influye significativamente en la remoción de Magnesio.

H_1 : La dosificación de sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, influye significativamente en la remoción de Magnesio.

El contraste es bilateral, por lo tanto $0,05 / 2 = 0,025$

$P > 0.025$ se aprueba la H_0

$P < 0.025$ se aprueba la H_1

Tabla 73

Prueba de muestras emparejadas dosificando Sulfato de Aluminio para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Magnesio

	Diferencias emparejadas					t	gl	Significación bilateral
	Media	Desv. estándar	Media de error estándar	95 de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Mg.7.5 - Mg.7.5.Al2.SO4.3	-0.05200	0.00048	0.00028	-0.0532	-0.05081	-186.909	2	<.001
Mg.8.0 - Mg.8.0.Al2.SO4.3	-0.09155	0.00039	0.00022	-0.09252	-0.09059	-409.121	2	<.001
Mg.8.5 - Mg.8.5.Al2.SO4.3	-0.13479	0.00061	0.00035	-0.1363	-0.13328	-384.323	2	<.001
Mg.9.0 - Mg.9.0.Al2.SO4.3	-0.18195	0.00035	0.0002	-0.18282	-0.18107	-894.459	2	<.001
Mg.9.5 - Mg.9.5.Al2.SO4.3	-0.22816	0.00127	0.00074	-0.23132	-0.22499	-310.287	2	<.001

Fuente. Elaboración propia

Para el caso del parámetro de Magnesio, la prueba t de student entre las medias de los porcentajes de remoción de este metal, dosificando y sin dosificar Sulfato de aluminio (20mg/l), resultó en un nivel de significancia menor que 0.025 (0.05 dividido entre 2 para un contraste bilateral). Por lo tanto, se acepta la hipótesis de que " La dosificación de sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 influye significativamente en la remoción de Magnesio.", lo que demuestra que el porcentaje de remoción de Magnesio; es mayor al dosificar sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio.

MANGANESO – Dosificando sulfato de aluminio

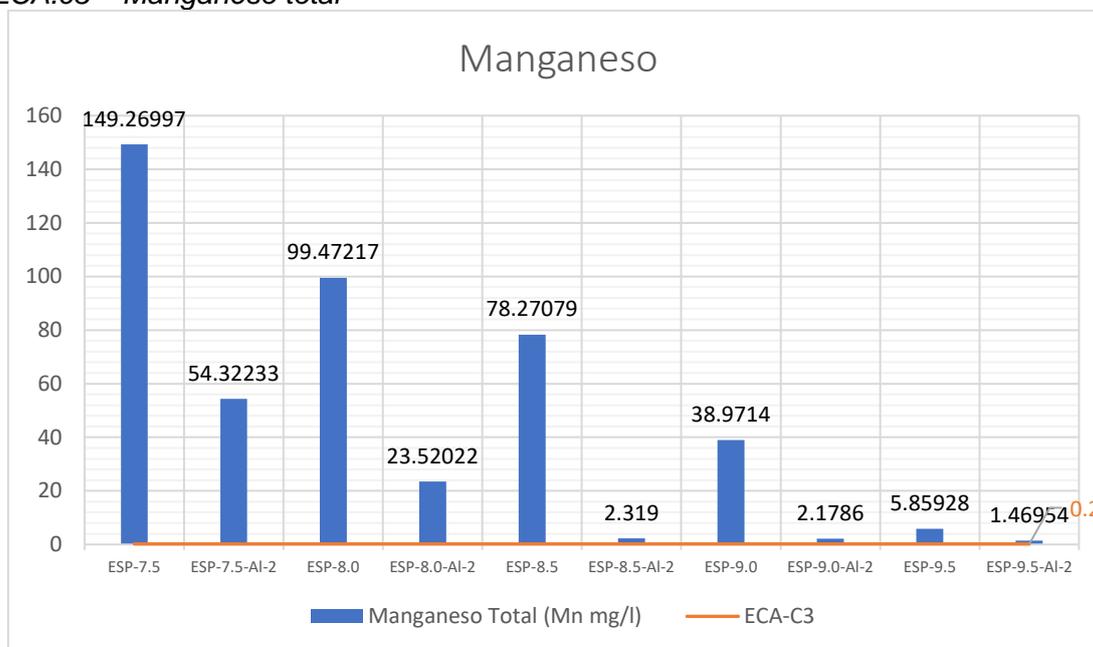
El agua ácida proveniente de la relavera Quiulacocha fue sometida a un proceso de tratamiento con una concentración inicial de 964.36562 mg/l de Manganeseo.

El resultado del análisis del Manganeseo como parámetro, obtenido después de pasar por el sistema de tratamiento utilizando y sin utilizar sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio se representa en la figura 80, donde se muestra

que no se cumple con el valor establecido en los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría 3.

Figura 80

Resultados del tratamiento dosificando Sulfato de Aluminio (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Manganeseo total



Fuente. Elaboración propia

Prueba de Normalidad

Se lleva a cabo el análisis de normalidad de los datos obtenidos base al porcentaje de remoción de Manganeseo, considerando tanto la presencia como la ausencia de dosificación del coagulante (sulfato de aluminio). Estos datos se obtuvieron empleando diferentes niveles de pH: 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5.

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Los datos examinados presentan una distribución normal.
- Hipótesis alternativa (H_1): Los datos examinados no presentan una distribución normal.

Los supuestos asociados a esta prueba son los siguientes:

- Si el valor de significancia (P) es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0).
- Si el valor de significancia (P) es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alternativa (H_1)

Tabla 74

Prueba de normalidad de Manganeso en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Mn.7.5	0.223	3	.	0.985	3	0.763
Mn.7.5.Al2.SO4.3	0.35	3	.	0.829	3	0.186
Mn.8.0	0.263	3	.	0.955	3	0.593
Mn.8.0.Al2.SO4.3	0.216	3	.	0.988	3	0.794
Mn.8.5	0.177	3	.	1	3	0.964
Mn.8.5.Al2.SO4.3	0.253	3	.	0.964	3	0.637
Mn.9.0	0.197	3	.	0.996	3	0.875
Mn.9.0.Al2.SO4.3	0.343	3	.	0.842	3	0.22
Mn.9.5	0.385	3	.	0.75	3	<.001
Mn.9.5.Al2.SO4.3	0.269	3	.	0.949	3	0.567

Fuente. Elaboración propia

La tabla 74 muestra los resultados del test de Shapiro-Wilk para una muestra pequeña en las pruebas realizadas. Los valores de significancia (P) para Mn.7.5, Mn.7.5.Al2.SO4.3, Mn.8.0, Mn.8.0.Al2.SO4.3, Mn.8.5, Mn.8.5.Al2.SO4.3, Mn.9.0, Mn.9.0.Al2.SO4.3, Mn.9.5 y Mn.9.5.Al2.SO4.3 son mayores a 0.05. Por consiguiente, se infiere que los resultados de estas pruebas siguen una distribución normal, respaldando la hipótesis H_0 . Esto es crucial para aplicar la Prueba T en el análisis.

Prueba de hipótesis T-Student

Hipótesis

H_0 : La dosificación de sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, no influye significativamente en la remoción de Manganeso.

H1: La dosificación de sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, influye significativamente en la remoción de Manganeseo.

El contraste es bilateral, por lo tanto $0,05 / 2 = 0,025$

$P > 0.025$ se aprueba la H_0

$P < 0.025$ se aprueba la H_1

Tabla 75

Prueba de muestras emparejadas dosificando Sulfato de Aluminio para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Manganeseo

	Diferencias emparejadas					t	gl	Significación bilateral
	Media	Desv. estándar	Media de error estándar	95 de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Mn.7.5 - Mn.7.5.A12.SO4.3	-0.09846	0.00042	0.00024	-0.09949	-0.09743	-410.91	2	<.001
Mn.8.0 - Mn.8.0.A12.SO4.3	-0.07876	0.00012	0.00007	-0.07905	-0.07847	-1157.068	2	<.001
Mn.8.5 - Mn.8.5.A12.SO4.3	-0.07876	0.0006	0.00034	-0.08025	-0.07728	-228.313	2	<.001
Mn.9.0 - Mn.9.0.A12.SO4.3	-0.03815	0.00049	0.00028	-0.03937	-0.03694	-134.827	2	<.001
Mn.9.5 - Mn.9.5.A12.SO4.3	-0.00455	0.00004	0.00002	-0.00464	-0.00446	-218.575	2	<.001

Fuente. Elaboración propia

Para el caso del parámetro de Manganeseo, la prueba t de student entre las medias de los porcentajes de remoción de este metal, dosificando y sin dosificar Sulfato de aluminio (20mg/l), resultó en un nivel de significancia menor que 0.025 (0.05 dividido entre 2 para un contraste bilateral). Por lo tanto, se acepta la hipótesis de que " La dosificación de sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 influye significativamente en la remoción de Manganeseo.", lo que demuestra que el porcentaje de remoción de Manganeseo; es mayor al dosificar sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio.

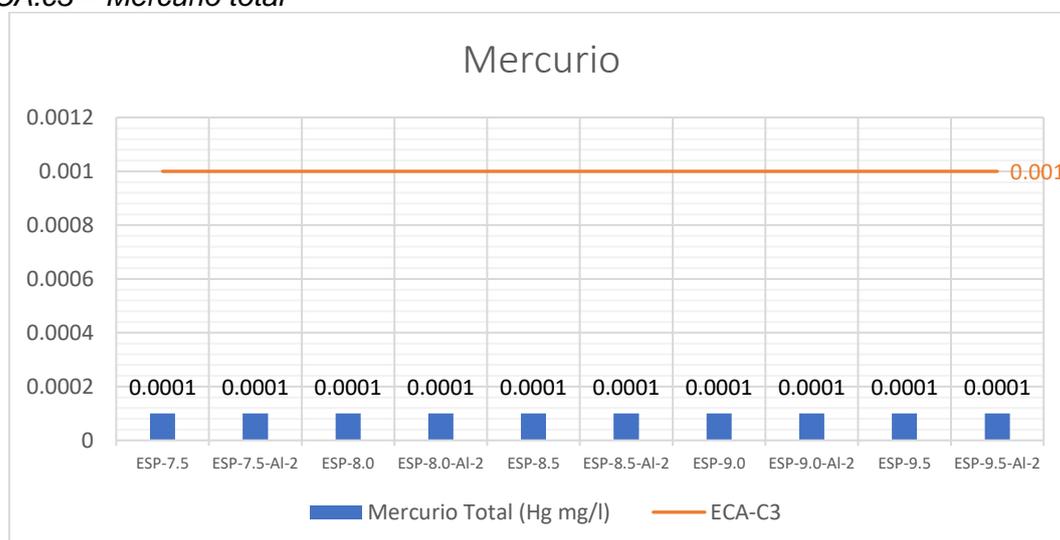
MERCURIO – Dosificando sulfato de aluminio

El agua ácida proveniente de la relavera Quiulacocha fue sometida a un proceso de tratamiento con una concentración inicial de <math><0.0001\text{ mg/l}</math> de Mercurio.

El resultado del análisis del Mercurio como parámetro para todas las pruebas realizadas mantiene su valor (menor al límite máximo de detección) que cumple con el valor establecido en el D.S. N° 004-2017-MINAM, el cual define los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría 3.

Figura 81

Resultados del tratamiento dosificando Sulfato de Aluminio (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Mercurio total



Fuente. Elaboración propia

Prueba de Normalidad

Se lleva a cabo el análisis de normalidad de los datos obtenidos base al porcentaje de remoción de Bario, considerando tanto la presencia como la ausencia de dosificación del coagulante (sulfato de aluminio). Estos datos se obtuvieron empleando diferentes niveles de pH: 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5.

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Los datos examinados presentan una distribución normal.

- Hipótesis alternativa (H_1): Los datos examinados no presentan una distribución normal.

Los supuestos asociados a esta prueba son los siguientes:

- Si el valor de significancia (P) es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0).
- Si el valor de significancia (P) es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alternativa (H_1)

Tabla 76

Prueba de normalidad de Mercurio en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5

	Kolmogorov-Smirnov ^a		Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Hg.7.5	.	3	.	.	3	.
Hg.7.5.Al2.SO4.3	.	3	.	.	3	.
Hg.8.0	.	3	.	.	3	.
Hg.8.0.Al2.SO4.3	.	3	.	.	3	.
Hg.8.5	.	3	.	.	3	.
Hg.8.5.Al2.SO4.3	.	3	.	.	3	.
Hg.9.0	.	3	.	.	3	.
Hg.9.0.Al2.SO4.3	.	3	.	.	3	.
Hg.9.5	.	3	.	.	3	.
Hg.9.5.Al2.SO4.3	.	3	.	.	3	.

Fuente. Elaboración propia

La tabla 76 muestra los resultados del test de Shapiro-Wilk para una muestra pequeña en las pruebas realizadas. Los valores de significancia (P) son menores a 0.05. Por consiguiente, se infiere que los resultados de estas pruebas no siguen una distribución normal, por lo tanto, no aplica realizar la Prueba T en el análisis

NIQUEL – Dosificando sulfato de aluminio

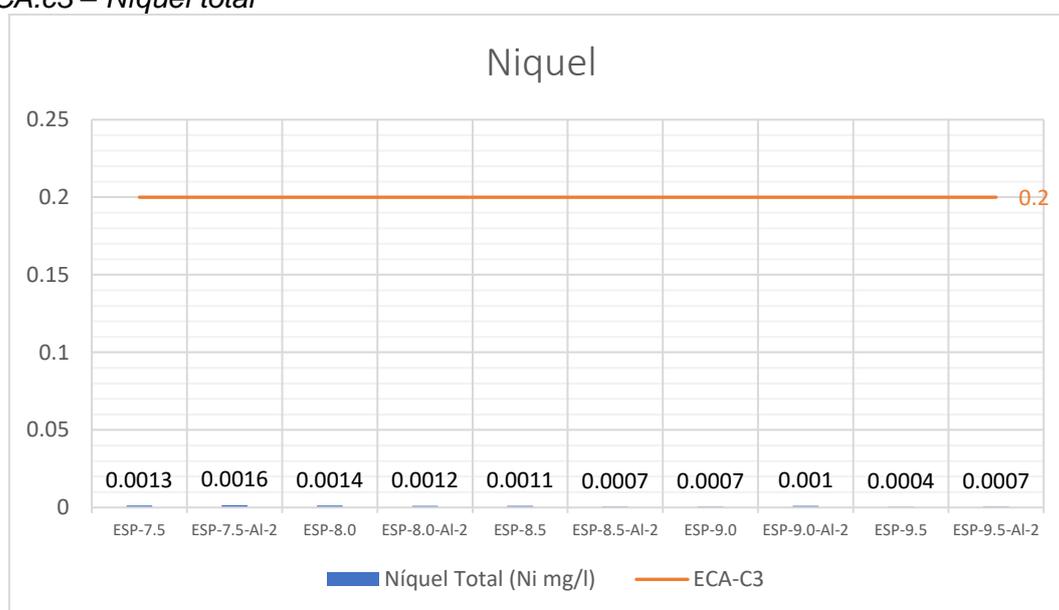
El agua ácida proveniente de la relavera Quiulacocha fue sometida a un proceso de tratamiento con una concentración inicial de 0.1214 mg/l de Niquel.

El resultado del análisis del Niquel como parámetro, obtenido después de pasar por el sistema de tratamiento utilizando y sin utilizar sulfato de aluminio como

coadyuvante del hidróxido de calcio se representa en la figura 82, donde se muestra que todos los valores se encuentran por debajo de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría 3.

Figura 82

Resultados del tratamiento dosificando Sulfato de Aluminio (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Níquel total



Fuente. Elaboración propia

Prueba de Normalidad

Se lleva a cabo el análisis de normalidad de los datos obtenidos base al porcentaje de remoción de Níquel, considerando tanto la presencia como la ausencia de dosificación del coagulante (sulfato de aluminio). Estos datos se obtuvieron empleando diferentes niveles de pH: 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5.

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Los datos examinados presentan una distribución normal.
- Hipótesis alternativa (H_1): Los datos examinados no presentan una distribución normal.

Los supuestos asociados a esta prueba son los siguientes:

- Si el valor de significancia (P) es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0).
- Si el valor de significancia (P) es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alternativa (H_1)

Tabla 77

Prueba de normalidad de Níquel en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Ni.7.5	0.385	3	.	0.75	3	<.001
Ni.7.5.Al2.SO4.3	0.385	3	.	0.75	3	<.001
Ni.8.0	0.175	3	.	1	3	0.993
Ni.8.0.Al2.SO4.3	0.385	3	.	0.75	3	<.001
Ni.8.5	0.254	3	.	0.964	3	0.634
Ni.8.5.Al2.SO4.3	0.254	3	.	0.964	3	0.034
Ni.9.0	0.385	3	.	0.75	3	<.001
Ni.9.0.Al2.SO4.3	0.385	3	.	0.75	3	<.001
Ni.9.5	0.22	3	.	0.986	3	0.776
Ni.7.5	0.385	3	.	0.75	3	<.001

Fuente. Elaboración propia

La tabla 77 muestra los resultados del test de Shapiro-Wilk para una muestra pequeña en las pruebas realizadas. Los valores de significancia (P) son menores a 0.05. Por consiguiente, se infiere que los resultados de estas pruebas no siguen una distribución normal, por lo tanto, no aplica realizar la Prueba T en el análisis

PLOMO – Dosificando sulfato de aluminio

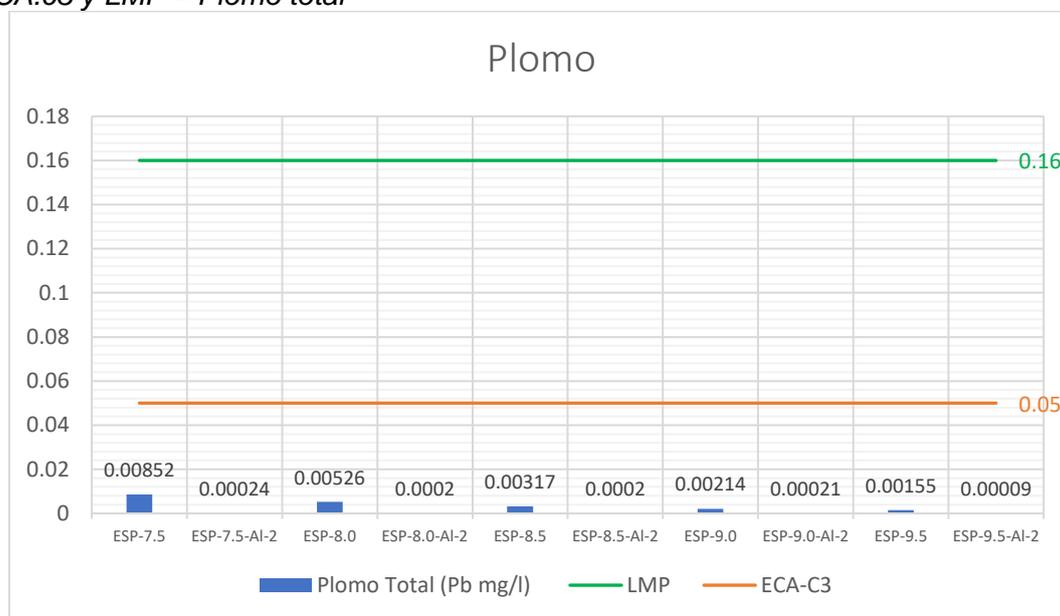
El agua ácida proveniente de la relavera Quiulacocha fue sometida a un proceso de tratamiento con una concentración inicial de 0.23453 mg/l de Plomo.

El resultado del análisis del Plomo como parámetro, obtenido después de pasar por el sistema de tratamiento utilizando y sin utilizar sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio se representa en la figura 83, donde se muestra que se cumple con el valor establecido en los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas D.S N° 010-2010-

MINAM y con el D.S. N° 004-2017-MINAM, el cual define los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría 3.

Figura 83

Resultados del tratamiento dosificando Sulfato de Aluminio (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 y LMP – Plomo total



Fuente. Elaboración propia

Prueba de Normalidad

Se lleva a cabo el análisis de normalidad de los datos obtenidos base al porcentaje de remoción de Plomo, considerando tanto la presencia como la ausencia de dosificación del coagulante (sulfato de aluminio). Estos datos se obtuvieron empleando diferentes niveles de pH: 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5.

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Los datos examinados presentan una distribución normal.
- Hipótesis alternativa (H_1): Los datos examinados no presentan una distribución normal.

Los supuestos asociados a esta prueba son los siguientes:

- Si el valor de significancia (P) es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0).

- Si el valor de significancia (P) es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alternativa (H_1)

Tabla 78

Prueba de normalidad de Plomo en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5

	Kolmogorov-Smirnov ^a		Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Pb.7.5	0.195	3	.	0.996	3	0.883
Pb.7.5.AI2.SO4.3	0.351	3	.	0.828	3	0.183
Pb.8.0	0.265	3	.	0.954	3	0.586
Pb.8.0.AI2.SO4.3	0.227	3	.	0.983	3	0.747
Pb.8.5	0.265	3	.	0.953	3	0.583
Pb.8.5.AI2.SO4.3	0.242	3	.	0.973	3	0.685
Pb.9.0	0.253	3	.	0.964	3	0.637
Pb.9.0.AI2.SO4.3	0.307	3	.	0.903	3	0.396
Pb.9.5	0.358	3	.	0.813	3	0.147
Pb.9.5.AI2.SO4.3	0.299	3	.	0.915	3	0.433

Fuente. Elaboración propia

La tabla 78 muestra los resultados del test de Shapiro-Wilk para una muestra pequeña en las pruebas realizadas. Los valores de significancia (P) para Pb.7.5, Pb.7.5.AI2.SO4.3, Pb.8.0, Pb.8.0.AI2.SO4.3, Pb.8.5, Pb.8.5.AI2.SO4.3, Pb.9.0, Pb.9.0.AI2.SO4.3, Pb.9.5 y Pb.9.5.AI2.SO4.3 son mayores a 0.05. Por consiguiente, se infiere que los resultados de estas pruebas siguen una distribución normal, respaldando la hipótesis H_0 . Esto es crucial para aplicar la Prueba T en el análisis.

Prueba de hipótesis T-Student

Hipótesis

H_0 : La dosificación de sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, no influye significativamente en la remoción de Plomo.

H_1 : La dosificación de sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, influye significativamente en la remoción de Plomo.

El contraste es bilateral, por lo tanto $0,05 / 2 = 0,025$

$P > 0.025$ se aprueba la H_0

$P < 0.025$ se aprueba la H_1

Tabla 79

Prueba de muestras emparejadas dosificando Sulfato de Aluminio para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Plomo

	Diferencias emparejadas					t	gl	Significación bilateral
	Media	Desv. estándar	Media de error estándar	95 de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Pb.7.5 - Pb.7.5.AI2.SO4.3	-0.03530	0.00009	0.00005	-0.03551	-0.03509	-718.964	2	<.001
Pb.8.0 - Pb.8.0.AI2.SO4.3	-0.0216	0.00024	0.00014	-0.02218	-0.02102	-159.093	2	<.001
Pb.8.5 - Pb.8.5.AI2.SO4.3	-0.01264	0.00028	0.00016	-0.01332	-0.01195	-79.481	2	<.001
Pb.9.0 - Pb.9.0.AI2.SO4.3	-0.00822	0.00025	0.00015	-0.00884	-0.00759	-56.596	2	<.001
Pb.9.5 - Pb.9.5.AI2.SO4.3	-0.00624	0.0004	0.00023	-0.00723	-0.00525	-27.251	2	0.001

Fuente. Elaboración propia

Para el caso del parámetro de Plomo, la prueba t de student entre las medias de los porcentajes de remoción de este metal, dosificando y sin dosificar Sulfato de aluminio (20mg/l), resultó en un nivel de significancia menor que 0.025 (0.05 dividido entre 2 para un contraste bilateral). Por lo tanto, se acepta la hipótesis de que " La dosificación de sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 influye significativamente en la remoción de Plomo.", lo que demuestra que el porcentaje de remoción de Plomo; es mayor al dosificar sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio.

SELENIO – Dosificando sulfato de aluminio

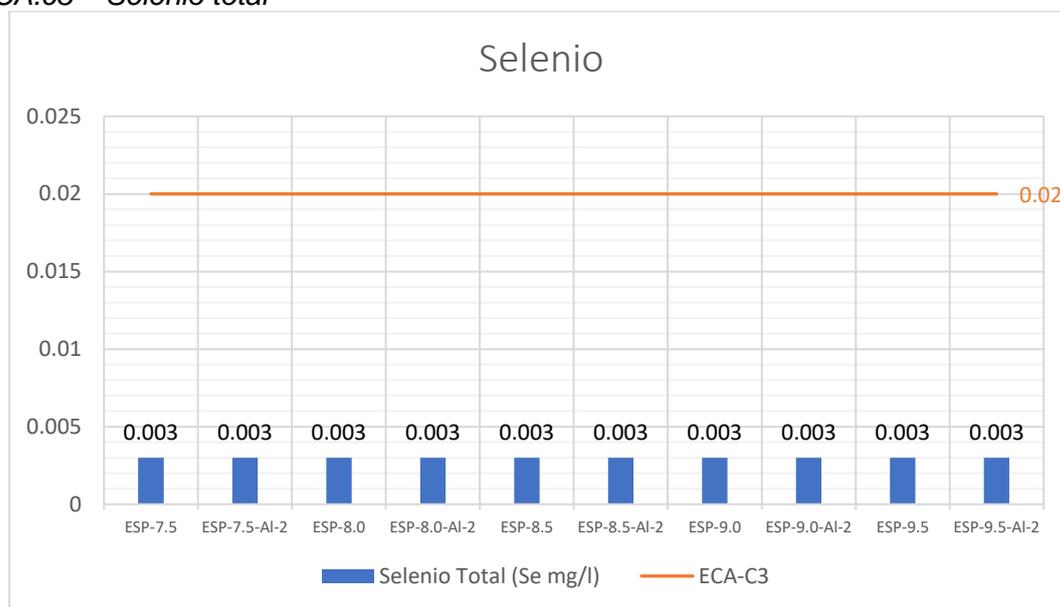
El agua ácida proveniente de la relavera Quiulacocha fue sometida a un proceso de tratamiento con una concentración inicial de 0.004 mg/l de Selenio.

El resultado del análisis del Mercurio como parámetro para todas las pruebas realizadas mantiene su valor (menor al límite máximo de detección) que cumple con el

valor establecido en el D.S. N° 004-2017-MINAM, el cual define los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría 3.

Figura 84

Resultados del tratamiento dosificando Sulfato de Aluminio (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Selenio total



Fuente. Elaboración propia

Prueba de Normalidad

Se lleva a cabo el análisis de normalidad de los datos obtenidos base al porcentaje de remoción de Selenio, considerando tanto la presencia como la ausencia de dosificación del coagulante (sulfato de aluminio). Estos datos se obtuvieron empleando diferentes niveles de pH: 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5.

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Los datos examinados presentan una distribución normal.
- Hipótesis alternativa (H_1): Los datos examinados no presentan una distribución normal.

Los supuestos asociados a esta prueba son los siguientes:

- Si el valor de significancia (P) es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0).

- Si el valor de significancia (P) es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alternativa (H_1)

Tabla 80

Prueba de normalidad de Selenio en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5

	Kolmogorov-Smirnov ^a		Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Se.7.5	.	3	.	.	3	.
Se.7.5.Al2.SO4.3	.	3	.	.	3	.
Se.8.0	.	3	.	.	3	.
Se.8.0.Al2.SO4.3	.	3	.	.	3	.
Se.8.5	.	3	.	.	3	.
Se.8.5.Al2.SO4.3	.	3	.	.	3	.
Se.9.0	.	3	.	.	3	.
Se.9.0.Al2.SO4.3	.	3	.	.	3	.
Se.9.5	.	3	.	.	3	.
Se.9.5.Al2.SO4.3	.	3	.	.	3	.

Fuente. Elaboración propia

La tabla 80 muestra los resultados del test de Shapiro-Wilk para una muestra pequeña en las pruebas realizadas. Los valores de significancia (P) son menores a 0.05. Por consiguiente, se infiere que los resultados de estas pruebas no siguen una distribución normal, por lo tanto, no aplica realizar la Prueba T en el análisis

ZINC – Dosificando sulfato de aluminio

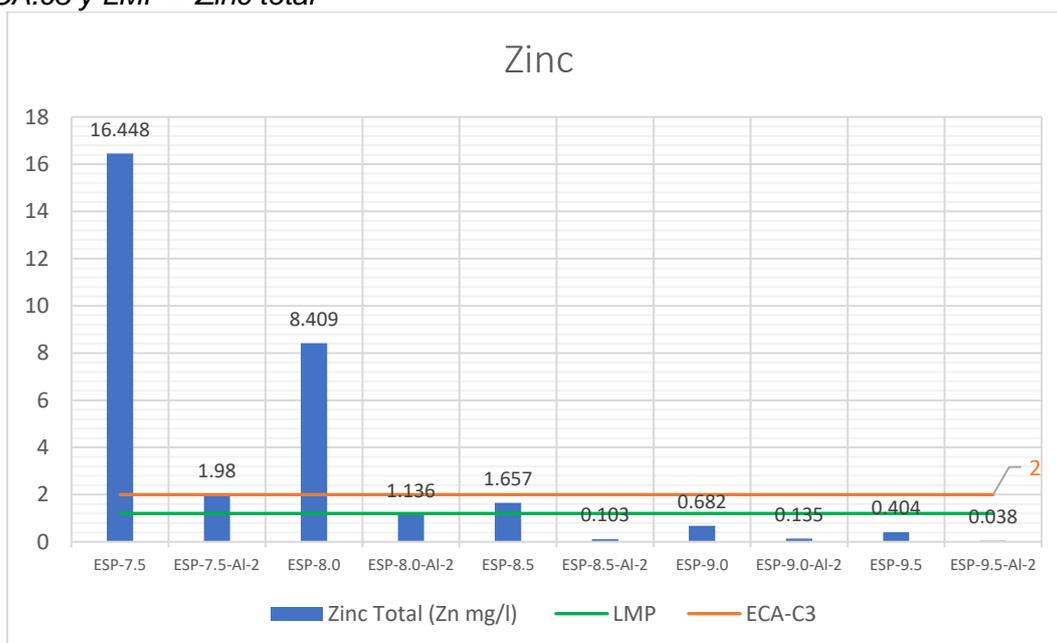
El agua ácida proveniente de la relavera Quiulacocha fue sometida a un proceso de tratamiento con una concentración inicial de 345.653 mg/l de Zinc.

El resultado del análisis del Zinc como parámetro, obtenido después de pasar por el sistema de tratamiento, se representa en la figura 85 que, para niveles de pH menores a 8.5 y sin la dosificación de cloruro férrico, no se cumple con el valor establecido en los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos

de actividades minero-metalúrgicas D.S N° 010-2010-MINAM y con el D.S. N° 004-2017-MINAM, el cual define los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua.

Figura 85

Resultados del tratamiento dosificando Sulfato de Aluminio (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 y LMP – Zinc total



Fuente. Elaboración propia

Prueba de Normalidad

Se lleva a cabo el análisis de normalidad de los datos obtenidos base al porcentaje de remoción de Zinc, considerando tanto la presencia como la ausencia de dosificación del coagulante (sulfato de aluminio). Estos datos se obtuvieron empleando diferentes niveles de pH: 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5.

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Los datos examinados presentan una distribución normal.
- Hipótesis alternativa (H_1): Los datos examinados no presentan una distribución normal.

Los supuestos asociados a esta prueba son los siguientes:

- Si el valor de significancia (P) es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0).
- Si el valor de significancia (P) es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alternativa (H_1)

Tabla 81

Prueba de normalidad de Zinc en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5

	Kolmogorov-Smirnov ^a		Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Zn.7.5	0.292	3	.	0.923	3	0.463
Zn.7.5.Al2.SO4.3	0.175	3	.	1	3	1.000
Zn.8.0	0.207	3	.	0.992	3	0.831
Zn.8.0.Al2.SO4.3	0.253	3	.	0.964	3	0.637
Zn.8.5	0.236	3	.	0.977	3	0.712
Zn.8.5.Al2.SO4.3	0.385	3	.	0.75	3	<.001
Zn.9.0	0.385	3	.	0.75	3	<.001
Zn.9.0.Al2.SO4.3	0.253	3	.	0.964	3	0.637
Zn.9.5	0.385	3	.	0.75	3	<.001
Zn.9.5.Al2.SO4.3	0.175	3	.	1	3	1

Fuente. Elaboración propia

La tabla 81 muestra los resultados del test de Shapiro-Wilk para una muestra pequeña en las pruebas realizadas. Los valores de significancia (P) para Zn.7.5, Zn.7.5.Al2.SO4.3, Zn.8.0, Zn.8.0.Al2.SO4.3, Zn.8.5, Zn.8.5.Al2.SO4.3, Zn.9.0, Zn.9.0.Al2.SO4.3, Zn.9.5 y Zn.9.5.Al2.SO4.3 son mayores a 0.05. Por consiguiente, se infiere que los resultados de estas pruebas siguen una distribución normal, respaldando la hipótesis H_0 . Esto es crucial para aplicar la Prueba T en el análisis.

Prueba de hipótesis T-Student

Hipótesis

H_0 : La dosificación de sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacochoa, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, no influye significativamente en la remoción de Zinc.

H1: La dosificación de sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, influye significativamente en la remoción de Zinc.

El contraste es bilateral, por lo tanto $0,05 / 2 = 0,025$

$P > 0.025$ se aprueba la H_0

$P < 0.025$ se aprueba la H_1

Tabla 82

Prueba de muestras emparejadas dosificando Sulfato de Aluminio para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Zinc

	Diferencias emparejadas					t	gl	Significación bilateral
	Media	Desv. estándar	Media de error estándar	95 de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Zn.7.5 - Zn.7.5.Al2.SO4.3	-0.04186	0.00005	0.00003	-0.04197	-0.04174	-1607.759	2	<.001
Zn.8.0 - Zn.8.0.Al2.SO4.3	-0.02104	0.00014	0.00008	-0.02138	-0.0207	-265.079	2	<.001
Zn.8.5 - Zn.8.5.Al2.SO4.3	-0.00450	0.0002	0.00011	-0.00499	-0.00401	-39.422	2	<.001
Zn.9.0 - Zn.9.0.Al2.SO4.3	-0.00158	0.00001	0.00001	-0.0016	-0.00156	-273.664	2	<.001
Zn.9.5 - Zn.9.5.Al2.SO4.3	-0.00106	0.00001	0	-0.00107	-0.00104	-317.000	2	<.001

Fuente. Elaboración propia

Para el caso del parámetro de Zinc, la prueba t de student entre las medias de los porcentajes de remoción de este metal, dosificando y sin dosificar Sulfato de aluminio (20mg/l), resultó en un nivel de significancia menor que 0.025 (0.05 dividido entre 2 para un contraste bilateral). Por lo tanto, se acepta la hipótesis de que " La dosificación de sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 influye significativamente en la remoción de Zinc.", lo que demuestra que el porcentaje de remoción de Zinc; es mayor al dosificar sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio.

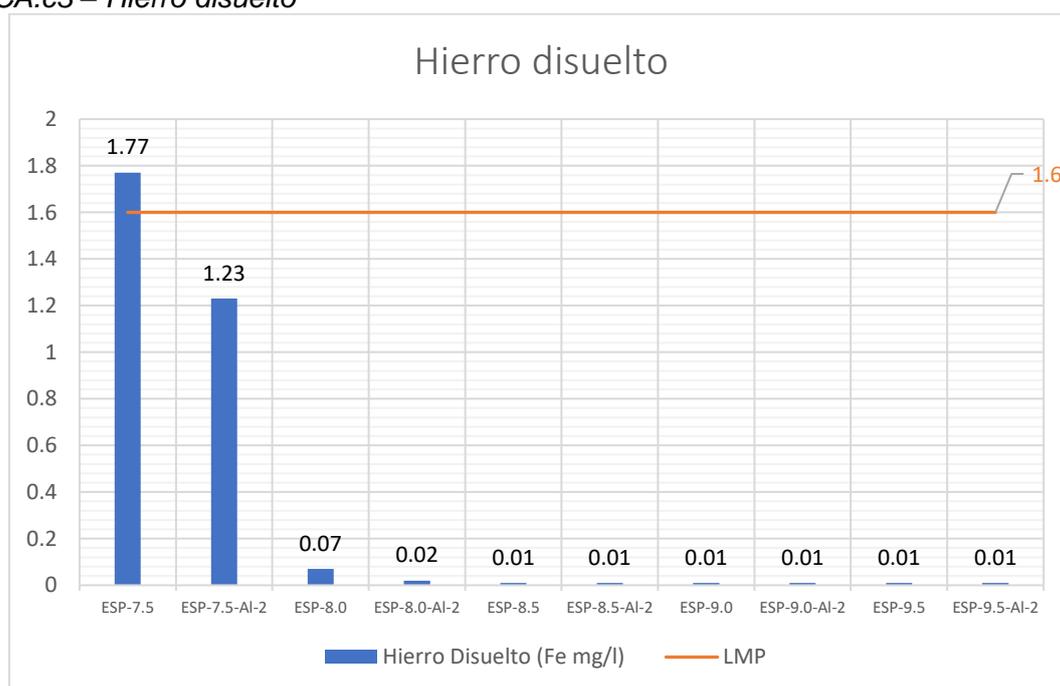
HIERRO DISUELTO – Dosificando sulfato de aluminio

El agua ácida proveniente de la relavera Quiulacocha fue sometida a un proceso de tratamiento con una concentración inicial de 967.25 mg/l de Hierro disuelto.

El resultado del análisis del Hierro disuelto como parámetro, obtenido después de pasar por el sistema de tratamiento utilizando y sin utilizar sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio se representa en la figura 86, donde se muestra que se cumple con el valor establecido en los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas D.S N° 010-2010-MINAM. Exceptuando la prueba ESP-7.5, cuyo valor es de 1.79 mg/l, siendo mayor que lo establecido por el LMP: 1.60 mg/l.

Figura 86

Resultados del tratamiento dosificando Sulfato de Aluminio (20 mg/l) comparado con el ECA.c3 – Hierro disuelto



Fuente. Elaboración propia

Prueba de Normalidad

Se lleva a cabo el análisis de normalidad de los datos obtenidos base al porcentaje de remoción de Hierro disuelto, considerando tanto la presencia como la

ausencia de dosificación del coagulante (sulfato de aluminio). Estos datos se obtuvieron empleando diferentes niveles de pH: 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5.

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Los datos examinados presentan una distribución normal.
- Hipótesis alternativa (H_1): Los datos examinados no presentan una distribución normal.

Los supuestos asociados a esta prueba son los siguientes:

- Si el valor de significancia (P) es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0).
- Si el valor de significancia (P) es menor que 0.05, se acepta la hipótesis alternativa (H_1)

Tabla 83

Prueba de normalidad de Hierro disuelto en niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Fedis.7.5	0.253	3	.	0.964	3	0.637
Fedis.7.5.A12.SO4.3	0.253	3	.	0.964	3	0.637
Fedis.8.0	0.314	3	.	0.893	3	0.363
Fedis.8.0.A12.SO4.3	.	3	.	.	3	.
Fedis.8.5	.	3	.	.	3	.
Fedis.8.5.A12.SO4.3	.	3	.	.	3	.
Fedis.9.0	.	3	.	.	3	.
Fedis.9.0.A12.SO4.3	.	3	.	.	3	.
Fedis.9.5	.	3	.	.	3	.
Fedis.9.5.A12.SO4.3	.	3	.	.	3	.

Fuente. Elaboración propia

La tabla 83 muestra los resultados del test de Shapiro-Wilk para una muestra pequeña en las pruebas realizadas. Los valores de significancia (P) para Fedis.7.5, Fedis.7.5.A12.SO4.3 y Fedis.8.0 son mayores a 0.05. Por consiguiente, se infiere que los resultados de estas pruebas siguen una distribución normal, respaldando la hipótesis H_0 . Esto es crucial para aplicar la Prueba T en el análisis.

Prueba de hipótesis T-Student

Hipótesis

H0: La dosificación de sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, no influye significativamente en la remoción de Hierro disuelto.

H1: La dosificación de sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5, influye significativamente en la remoción de Hierro disuelto.

El contraste es bilateral, por lo tanto $0,05 / 2 = 0,025$

$P > 0.025$ se aprueba la *H0*

$P < 0.025$ se aprueba la *H1*

Tabla 84

Prueba de muestras emparejadas dosificando Sulfato de Aluminio para niveles de pH 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 - Hierro disuelto

	Diferencias emparejadas					t	gl	Significación bilateral
	Media	Desv. estándar	Media de error estándar	95 de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Fedis.7.5 - Fedis.7.5.Al2.SO4.3	-0.00056	0.00003	0.00002	-0.00063	-0.00049	-32.332	2	<.001
Fedis.8.0 - Fedis.8.0.Al2.SO4.3	-0.00005	0.00003	0.00002	-0.00012	0.00002	-3.273	2	0.082

Fuente. Elaboración propia

Para el caso del parámetro de Hierro disuelto y considerando un nivel de pH de 7.5, la prueba t de student entre las medias de los porcentajes de remoción de este metal, dosificando y sin dosificar Sulfato de aluminio (20mg/l), resultó en un nivel de significancia menor que 0.025 (0.05 dividido entre 2 para un contraste bilateral). Por lo tanto, se acepta la hipótesis de que " La dosificación de sulfato de aluminio como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas de la relavera

Quiulacocha, a un nivel de pH de 7.5 influye significativamente en la remoción de Aluminio.”

Sin embargo, a un nivel de pH de 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5 se tiene un nivel de significancia mayor que 0.025, lo que rechaza la hipótesis para estos niveles de pH.

Tabla 85

Resumen de resultados de la hipótesis nula (Ho) e hipótesis alterna (Ha) utilizando Sulfato de Aluminio

Parámetros	Hipótesis nula (Ho)	Hipótesis alterna (Ha)	Tabla de análisis estadístico
Aluminio Total (Al)	Se rechaza para pH de 8.5, 9.0 y 9.5	Se acepta para pH de 7.5 y 8.0	tabla 53
Arsénico Total (As)	Se rechaza para pH de 9.0 y 9.5	Se acepta para pH de 7.5, 8.0 y 8.5	tabla 55
Bario Total (Ba)	Se rechaza para pH de 8.5, 9.0 y 9.5	Se acepta para pH de 7.5 y 8.0	tabla 57
Berilio Total (Be)	No aplica	No aplica	tabla 58
Boro Total (B)	No aplica	No aplica	tabla 59
Cadmio Total (Cd)	Se rechaza	Se aprueba	tabla 61
Cobalto Total (Co)	Se aprueba	Se rechaza	tabla 63
Cobre Total (Cu)	Se rechaza	Se aprueba	tabla 65
Cromo Total (Cr)	Se aprueba	Se rechaza	tabla 67
Hierro Total (Fe)	Se rechaza para pH de 9.0 y 9.5	Se acepta para pH de 7.5, 8.0 y 8.5	tabla 69
Litio Total (Li)	Se aprueba	Se rechaza	tabla 71
Magnesio Total (Mg)	Se rechaza	Se aprueba	tabla 73
Manganeso Total (Mn)	Se rechaza	Se aprueba	tabla 75
Mercurio Total (Hg)	No aplica	No aplica	tabla 76
Níquel Total (Ni)	No aplica	No aplica	tabla 77
Plomo Total (Pb)	Se rechaza	Se aprueba	tabla 79
Selenio Total (Se)	No aplica	No aplica	tabla 80
Zinc Total (Zn)	Se rechaza	Se aprueba	tabla 82
Hierro Disuelto (Fe)	Se rechaza para pH de 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5	Se acepta para pH de 7.5	tabla 84

Fuente. Elaboración propia

De acuerdo a la tabla 85, se puede validar que, para el caso de Al y Fe, se rechaza la hipótesis nula para los valores de pH de 9.0 y 9.5 y se acepta la hipótesis alterna para pH de 7.5, 8.0 y 8.5; por lo tanto, el cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio influye significativamente en el tratamiento de aguas acidas para pH 7.5, 8.0 y 8.5.

Para el caso de Ba y Al, se rechaza la hipótesis nula para valores de pH de 8.5, 9.0 y 9.5 y se acepta la hipótesis alterna para pH de 7.5 y 8.0; y para Fe disuelto, se acepta solo para un pH de 7.5.

Con respecto a Be, B, Li, Hg, Ni y Se, posterior a la prueba de normalidad se evidencia que estos datos no siguen una distribución normal, por lo tanto, no es aplicable la prueba de T-student. Por consiguiente, se concluye que no tiene influencia significativa como coadyuvante del hidróxido de calcio en el tratamiento de aguas acidas.

Finalmente, para los metales Cd, Cu, Mg, Mn, Pb y Zn, se rechaza la hipótesis nula y se aprueba la hipótesis alterna, concluyendo que el cloruro férrico como coadyuvante del hidróxido de calcio influye significativamente en el tratamiento de aguas acidas para los valores de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5.

Tabla 87

Resumen de porcentaje de eficiencia máxima de remoción por niveles de pH (%)

Parámetro	pH 7.5		pH 8.0		pH 8.5		pH 9.0		pH 9.5		Figura de remoción
	Cloruro férrico (mg/L)	Sulfato de Aluminio (mg/L)	Cloruro férrico (mg/L)	Sulfato de Aluminio (mg/L)	Cloruro férrico (mg/L)	Sulfato de Aluminio (mg/L)	Cloruro férrico (mg/L)	Sulfato de Aluminio (mg/L)	Cloruro férrico (mg/L)	Sulfato de Aluminio (mg/L)	
Al	99.75	99.56	99.83	99.77	99.92	99.86	99.81	99.76	99.82	99.72	figura 12 y 31
As	99.77	99.77	99.75	99.59	99.75	99.74	99.78	99.70	99.68	99.75	figura 13 y 32
Ba	5.27	4.45	17.41	10.07	21.75	20.98	19.75	16.97	22.14	20.20	figura 12 y 33
Be	89.29	89.29	89.29	89.29	89.29	89.29	89.29	89.29	89.29	89.29	figura 13 y 34
B	47.62	47.62	54.76	47.62	64.29	73.81	52.38	64.29	40.48	42.86	figura 12 y 35
Cd	99.02	98.79	99.60	99.48	99.94	99.94	99.96	99.97	99.93	99.95	figura 13 y 36
Co	98.07	97.96	98.82	97.74	99.06	98.63	99.01	98.85	98.82	98.66	figura 12 y 37
Cu	96.98	98.21	96.86	99.06	97.70	99.11	98.73	99.27	98.78	99.41	figura 13 y 38
Cr	88.33	93.33	88.89	98.89	92.22	98.33	93.89	91.67	95.56	96.67	figura 12 y 39
Fe	99.88	99.50	99.89	99.91	99.86	99.91	99.90	99.96	99.92	99.96	figura 13 y 40
Li	28.99	28.66	30.74	25.23	32.21	31.50	31.44	29.37	32.86	24.41	figura 12 y 41
Mg	23.36	21.78	25.41	29.48	39.92	43.04	64.64	74.59	81.31	88.40	figura 13 y 42
Mn	94.51	94.37	98.50	97.56	99.11	99.76	99.69	99.77	99.83	99.85	figura 12 y 43
Hg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	figura 13 y 44
Ni	98.85	98.68	99.18	99.01	99.42	99.42	99.34	99.18	99.92	99.42	figura 12 y 45
Pb	99.65	99.90	99.71	99.91	99.78	99.91	99.79	99.91	99.82	99.96	figura 13 y 46
Se	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	figura 12 y 47
Zn	99.92	99.43	99.94	99.67	99.97	99.97	99.98	99.96	99.98	99.99	figura 13 y 48
Fe	100.00	99.87	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	figura 12 y 49

Fuente. Elaboración propia

4.4. Análisis de costos

Para el análisis de los costos que conllevan los tratamientos, se realizará una comparación de ambas casuísticas: dosificando coagulante y sin dosificar coagulante, para lo cual se tiene la siguiente tabla de costos:

Tabla 88

Precios unitarios de insumos Químicos

	Unidad	Precio unitario (s/)
Sulfato de Aluminio	kg	89.76
Cloruro Férrico	kg	224.4
Hidróxido de Calcio	kg	0.69
Floculante	kg	47.52

Fuente. Elaboración propia

Para la comparación de precios, se realizará utilizando las dosificaciones empleadas para 7.5 y 9.5 de pH, debido a que es la máxima distancia aplicable a los parámetros analizados. Además de que los resultados de los metales presentan valores cercanos a estas condiciones mencionadas.

Asimismo, el análisis de precios será en función a 1 m³ de agua tratada, como podemos observar en las siguientes tablas 86, 87 y 88.

Tabla 89

Precio m³ de agua tratada dosificando sulfato de aluminio a 7.5 pH

	Dosificación (mg/L)	Precio unitario (s/)	Precio (s/)
Sulfato de Aluminio	20	89.76	1.80
Hidróxido de Calcio	7240	0.69	5.00
floculante	5	47.52	0.24
TOTAL			7.03

Fuente. Elaboración propia

Tabla 90

Precio m³ de agua tratada dosificando cloruro férrico a 7.5 pH

	Dosificación (mg/L)	Precio unitario (s/)	Precio (s/)
Cloruro Ferrico	20	224.4	4.49
Hidróxido de Calcio	7240	0.69	5.00
floculante	5	47.52	0.24
TOTAL			9.72

Fuente. Elaboración propia

Tabla 91*Precio m3 de agua tratada sin dosificación de coagulante a 9.5 pH*

	Dosificación (mg/L)	Precio unitario (s/)	Precio (s/)
Hidróxido de Calcio	10380	0.69	7.16
floculante	5	47.52	0.24
	TOTAL		7.40

Fuente. Elaboración propia

De las tablas anteriores, podemos evidenciar que el precio más alto es a través de la dosificación de cloruro férrico con un precio de s/ 9.72 por metro cubico de agua tratada, seguido por un precio de s/7.40 donde no se dosifica coagulante, pero se necesita mayor cantidad de hidróxido de calcio para lograr valores similares cuando se utiliza el coagulante. Finalmente, el precio más bajo es de s/ 7.03 que corresponde al uso de sulfato de aluminio a un ph de 7.5.

Conclusiones

Con respecto al objetivo general, luego de la evidencia científica, se demuestra que, a través de la prueba de T- student, la dosificación del sulfato de aluminio y cloruro férrico como coadyuvantes del hidróxido de calcio influyen significativamente en el tratamiento de aguas ácidas; esto es aplicable de metales: cadmio (Cd), cobre (Cu), magnesio (Mg), manganeso (Mn), plomo (Pb) y zinc (Zn) a niveles de pH de 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 y 9.5; en aluminio (Al), arsénico (As), hierro (Fe) a niveles de pH de 7.5, 8.0 y 8.5 y en hierro disuelto (Fe dis) a niveles de pH de 7.5. Sin embargo, no tiene influencia significativa en los parámetros berilio (Be), boro (B), cobalto (Co), cromo (Cr), litio (Li), níquel (Ni), mercurio (Hg) y selenio (Se); tal como se muestra en las Tablas 50 y 85.

Con respecto al objetivo específico 1, Se evaluó la calidad del agua ácida proveniente de la relavera Quiulacocha, determinando que los parámetros como el manganeso (Mn), arsénico (As), cobre (Cu), hierro (Fe), plomo (Pb), cadmio (Cd) y zinc (Zn) superan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y los Límites Máximos Permisibles (LMP), debido a que dichos parámetros presentan valores de 129.1 mg/L, 2.243 mg/L, 5.714 mg/L, 272.2 mg/L, 0.588 mg/L, 0.1666 mg/L, 32.19 mg/L respectivamente, no siendo apta para la descarga al cuerpo receptor; tal como se muestra en la Tabla 10.

Con respecto al objetivo específico 2, Se determinó que la dosis óptima de cloruro férrico y sulfato de aluminio en el tratamiento de las aguas ácidas de la relavera de Quiulacocha fue de 20mg/l para ambos casos, ya que estas dosis fue la que más disminuyó las concentraciones de los parámetros evaluados en comparación al tratamiento sin la dosificación de estos coagulantes. (Tabla 14 y 15).

Con respecto al objetivo específico 3, Se realizó la comparación entre la eficiencia en la remoción de metales dosificando sulfato de aluminio y cloruro férrico como coadyuvantes del hidróxido de calcio y la eficiencia de remoción de metales sin

la dosificación de estos coagulantes, concluyéndose que para los parámetros aluminio, arsénico, cadmio, cobre, magnesio, manganeso, plomo, zinc y hierro disuelto existe una mejora en el porcentaje de remoción, sin embargo, en los parámetros de berilio, boro, cobalto, cromo, litio, níquel, mercurio y selenio, no se evidencia mejora alguna; tal como se muestra en las Tablas 16 y 51.

Adicionalmente, se concluye que:

- Los estudios y tesis revisados demuestran que la coagulación química y la floculación son técnicas efectivas para la remoción de metales pesados de aguas contaminadas, incluyendo arsénico, níquel, zinc, hierro, manganeso, plomo y otros.
- La elección del coagulante adecuado y la dosificación óptima son factores clave para lograr altas tasas de remoción de metales pesados. En muchos casos, se encontró una dosis específica que permitió alcanzar niveles de eliminación satisfactorios.
- El ajuste del pH también es esencial para el éxito del tratamiento, ya que puede influir significativamente en la capacidad de los coagulantes para precipitar y eliminar los metales pesados.
- Los resultados de los estudios respaldan la viabilidad de utilizar técnicas de coagulación química en la remediación de aguas contaminadas por metales pesados, y estos métodos pueden ayudar a cumplir con los límites máximos permisibles establecidos por las normativas ambientales.
- Si bien, con estas pruebas se logran demostrar que la hipótesis es aceptada en los parámetros aluminio, arsénico, cadmio, cobre, magnesio, manganeso, plomo, zinc y hierro disuelto, es decir, el tratamiento de sulfato de aluminio y cloruro férrico con sus 4 tratamientos, influye en la reducción de aguas tratadas, sin embargo, se demuestra que, para los parámetros berilio, boro, cobalto, cromo, litio, níquel, mercurio y selenio no tiene influencia

Recomendaciones

Para futuras investigaciones y proyectos de tratamiento de aguas contaminadas, se recomienda llevar a cabo pruebas de laboratorio y posteriores experimentos piloto para determinar la dosificación óptima de coagulantes y el ajuste de pH adecuado para las condiciones específicas del agua a tratar.

Se debe realizar un monitoreo continuo de la calidad del agua antes, durante y después del tratamiento para evaluar la efectividad y la eficiencia del proceso de remoción de metales pesados.

Se recomienda realizar mayores investigaciones y pruebas de tratamiento de agua acida aumentando el rango de nivel de pH, específicamente en rangos menores a 7 y mayores a 9.5. Esto con el objetivo de determinar el comportamiento de los coagulantes a estos niveles de pH. Adicionalmente emplear diferentes floculantes y coagulantes para diseñar sistemas de tratamiento.

Se recomienda realizar mayores investigaciones en el uso de coagulantes químico y naturales en el tratamiento de aguas acidas.

Referencias Bibliográficas

- Aguilar, M. (2002). Tratamiento Físico-químico de Aguas Residuales. Coagulación Floculación. [en línea]. España: Universidad de Murcia.
- Aguirre, W., y Huaman, R. (2019). Eficiencia del tratamiento del drenaje ácido de mina en la bocamina prosperidad con método químico empleando cal a nivel de laboratorio [Universidad Privada del Norte]. Tomado de la página web: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/15018>
- Arboleda, J. (1992). Teoría de la coagulación del agua en Teoría y práctica de la purificación del agua. Bogotá, Colombia. Editorial ACODAL.
- Atil H, Unver Y (2001). Múltiple Comparisons. Online Journal of Biological Sciences 1(8): 723- 727
- Ayala, R. (2018). Influencia de la dosificación de cal en el tratamiento de las aguas ácidas de la quebrada Mesa de Plata Hualgayoc – 2018 [Universidad Privada del Norte]. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/14135>
- Barraqué, C. (1979). Manual técnico del agua. Bilbao, España. Editorial Degrémont
- Barrenechea A. (2004). Tratamiento de agua para consumo humano. Capítulo 4 coagulación (Pag.174-176, 196-198). Perú: Lima.
- Bianchini, F., y Grassi, L. (2018). Estudios en poblaciones afectadas por metales pesados en pasco. SOURCE INTERNATIONAL DE ITALIA, 102.
- Broughton, L. (1995). Guía Ambiental para el Manejo de Drenaje Acido de Minas, 6, 1–50.
- Broughton, L., y Robertson, A. (1992). Acid Rock Drainage from Mines- Where We are Now, 1–19.
- Calvo, D., Jordi Casado, Zamora, G., y Alfonzo, P. (2013). Estudio para el Tratamiento de las Aguas Ácidas por Neutralización- Precipitación en Interior de la Mina Santa Fé, Bolivia. 14.
- Cardenas, Y. A. (2000). Tratamiento de agua: coagulación y floculación. Lima:

Sedapal.

Chaparro, L. (2015). Drenajes ácidos de mina formación y manejo. Revista ESAICA, 1, 53. <https://doi.org/10.15649/24225126.272>

Chaparro, L. (2015). Drenajes ácidos de mina formación y manejo. Revista ESAICA, 1, 53. <https://doi.org/10.15649/24225126.27>

Chávez C. y Salazar E. (2019) “Eficiencia del floculante sulfato de aluminio y polifloc (policloruro de aluminio) en la remoción de metales y depuración de aguas residuales de una empresa minera en Cajamarca, 2019

Chee Yang Teh, la bella Mori Budiman, Katrina Pui Yee Shak y Ta Yeong Wu (2016). Investigación en Química Industrial e Ingeniería 55 (16), 4363-4389. DOI: 10.1021 / acs. iecr.5b04703

Costello, C. (2003). Acid Mine Drainage : Innovative Treatment Technologies, 1–47.

Cuadros S. y Santiago A. (2020) en su trabajo denominado Reducción del zinc mediante sulfato de aluminio y superfloc a-110: nivel laboratorio

Díaz, J. (2014). Coagulantes- Floculantes orgánicos e inorgánicos elaborados de plantas y del reciclaje de la chatarra, para el tratamiento de aguas contaminadas. (Tesis de maestría). Universidad Pedagógica Nacional Francisco Morazán. Tegucigalpa, Honduras.

Ferguson, K., y Erickson, P. (1987). Will it generate AMD. An overview of methods to predict acid mine drainage. British Columbia Mine Reclamation Symposium, 41–70.

Ferguson, K., y Erickson, P. (1987). Will it generate AMD. An overview of methods to predict acid mine drainage. British Columbia Mine Reclamation Symposium, 41–70

Gurdián, L. (2012). Coagulantes naturales y tradicionales para depuración aguas residuales: Estudio comparativo de coagulantes naturales y sustancias químicas para el tratamiento de aguas residuales. Barcelona, España. Editorial Académica Española.

- Gutiérrez, H. Vara, S. (2008). Análisis y diseño de experimentos. (2 Ed). México. Editorial Mc Graw Hill.
- Heinke, G. W. y Glynn. Ingeniería ambiental. México, PRENTICE HALL.1999
- Hernández, A. (1998). Depuración de aguas residuales. Madrid, España. Editorial Paraninfo.
- Hernández, A. (1998). Depuración de aguas residuales. Madrid, España. Editorial Paraninfo.
- Jiang, J.Q.; Graham, N.J.D. y Harward, C. (1993) Comparison of polyferric sulphate with other coagulants for the removal of algae and algae-derived organic matter. Revista Water Science and Technology.
- Kefeni, K., Msagati, y Mamba, B. B. (2017). Acid mine drainage: Prevention, treatment options, and resource recovery: A review. Journal of Cleaner 80 Production, 151, 475–493. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.082>
- Kirschbaum, A., y Murray, J. (1997a). Minería y aguas ácidas : contaminación y prevención, 40–51.
- Kuyucak, N. (2000). Microorganisms, Biotechnology and Acid Rock Drainage - Emphasis on Passive-Biological Control and Treatment Methods. Minerals and Metallurgical Processing, 85–95.
- Lapakko, K. (2002). Metal Mine Rock and Waste Characterization Tools : An Overview. Mining, Minerals and Sustainable Development, 67, 30.
- Lee, G., Bigham, J. M., & Faure, G. (2002). Removal of trace metals by coprecipitation with Fe , Al and Mn from natural waters contaminated with acid mine drainage in the Ducktown Mining District , Tennessee. Applied Geochemistry, 17(5), 569–581.
- Loayza, R. (2015). Extenso – Daños ambientales de la Minería en el Perú: ¿Qué hacer con ellos? | III Conferencia Académica.
<http://www.metasbicentenario.consorcio.edu.pe/mineria-yambiente/extenso-danosambientales-de-la-mineria-en-el-peru-quehacer-con-ellos/>

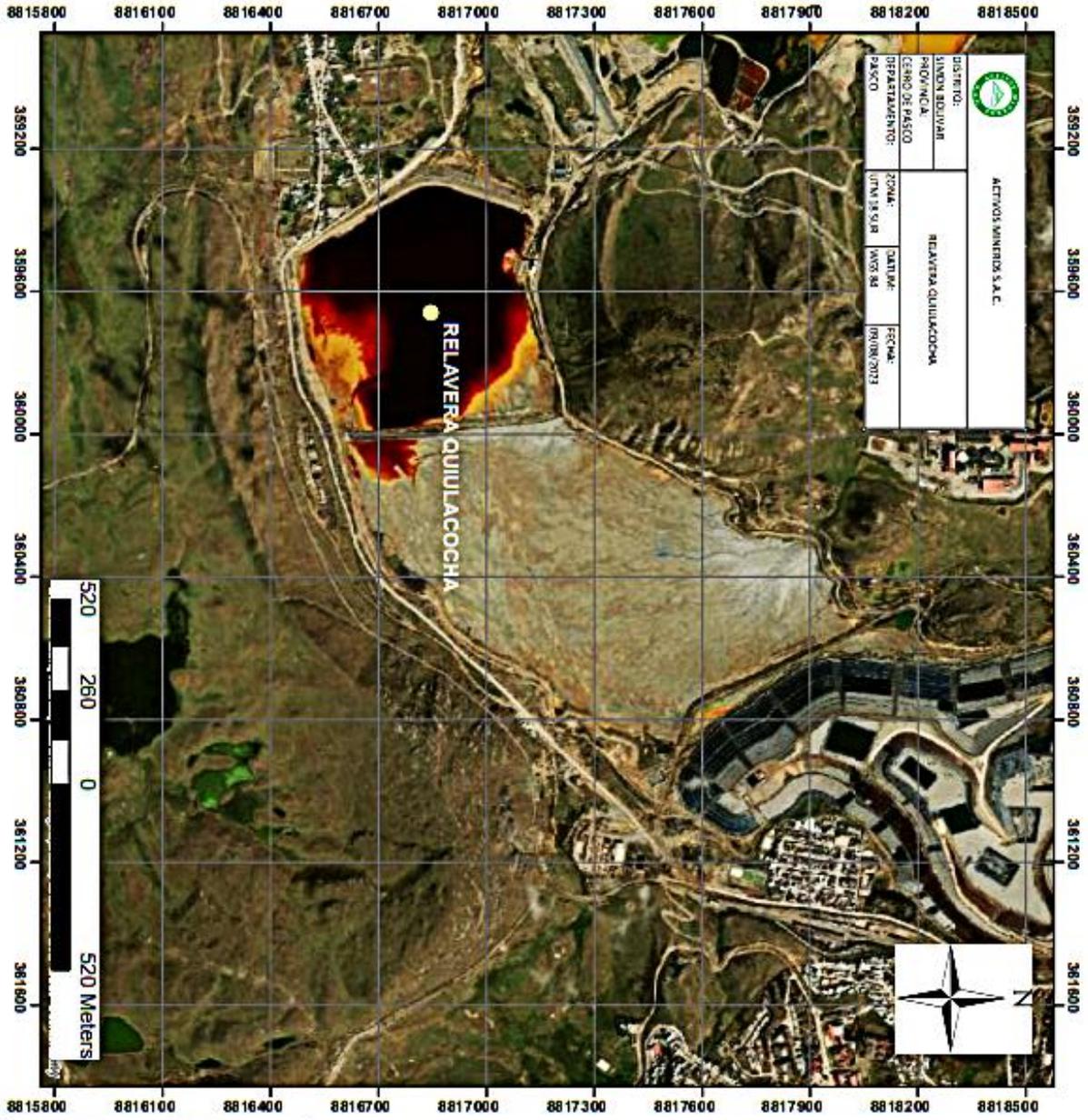
- López, Aduvire, y Baretino. (2002). Tratamientos pasivos de drenajes ácidos de mina: Estado actual y perspectivas de futuro. 19.
- M.L. Castro de Esparza. (2008) Remoción del arsénico en el agua para bebida Y biorremediación de suelos. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Mexico Congreso Iternacional.
- Murillo, D. (2011). Análisis de la influencia de dos materias primas coagulantes en el aluminio residual del agua tratada. Pereira, Colombia. Editorial UTP. sitio web: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/2081/628161M977.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Nordstrom, D., y Alpers, C. (1999). Geochemistry of acid mine waters. In The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits (Vol. 6A, pp. 133–160). Littleton, Colorado
- Pérez, J. (1986). Manual de Potabilización del agua. Trabajo realizado durante el año sabático. Medellín, Colombia. Repositorio de la Universidad Nacional de Colombia
- Proceso de coagulación química, adaptado de Chee Yang Teh, la bella Mori Budiman, Katrina Pui Yee Shak y Ta Yeong Wu. Investigación en Química Industrial e Ingeniería 2016 55 (16), 4363-4389. DOI: 10.1021 / acs. iecr.5b04703
- Ramírez V., B. y A. Castillo M. (1985). Estudio de las zonas de rechazo del análisis de varianza y algunas pruebas de comparaciones múltiples, para el caso de tres medias. Agro ciencia Núm. 61: 65-78
- Rimarachin, P., y Huaranga, F. (2015). Tratamiento de aguas de efluentes minero – metalúrgicos utilizando, métodos pasivos y activos en sistemas experimentales. Universidad Nacional de Trujillo, 18.
- Romero, J. (2004). Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. Bogotá, Colombia. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Romero, J. (2009). Calidad del agua. Bogotá, Colombia. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

- Sanz, J. (2013). Química: Equilibrios químicos teoría, ejercicios resueltos, y prácticas. Madrid, España. Editorial Visión Libros.
- Servicio Nacional de Aprendizaje, SENA. (2000). Operación de sistemas de potabilización de aguas- Norma 3- Monitorear y ajustar la operación de sistemas de tratamiento de aguas. Bogotá, Colombia.
- Tafur, L., y Quevedo, R. (2014). Alternativa para el tratamiento de aguas residuales cromadas con quitosano extraído del exoesqueleto del camarón. Recuperado de: <http://repository.ut.edu.co/handle/001/1250>.
- Tucto R. (2019) en su tesis Optimización del consumo del floculante para el tratamiento del Aluminio y Manganeso del agua de mina Unidad Minera Orcopampa – Buenaventura - Arequipa, 2019
- Zotter K., Licskó I. (1992) Coagulación y floculación en medios alcalinos: el papel de los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} . Tratamiento químico de aguas y aguas residuales II. Springer, Berlín, Heidelberg. Editoriales Klute R., Hahn H
- Zumarán, J., Barbosa, O., y De Souza, V. (2004). Métodos de laboratorio para predecir el potencial de drenaje ácido en relaves mineros, 7, 305–315.

Anexos

Anexo 1: Mapa de Ubicación	1
Anexo 2: Matriz de consistencia	3
Anexo 3: Panel fotográfico.....	5
Anexo 4: Informes de ensayo	17

Anexo 1: Mapa de Ubicación



Anexo 2: Matriz de consistencia

influencia del sulfato de aluminio y el cloruro férrico como coadyuvantes del hidróxido de calcio para el tratamiento de agua acida de la relavera Quiulacocha – Cerro de Pasco

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLE E INDICADORES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN Y MUESTRA
<p>Problema ¿Cuál es el nivel de influencia del sulfato de aluminio y el cloruro férrico como coadyuvantes del hidróxido de calcio para el tratamiento de agua acida de la relavera Quiulacocha – Cerro de Pasco?</p>	<p>Objetivo: Determinar el nivel de influencia del sulfato de aluminio y el cloruro férrico como coadyuvantes del hidróxido de calcio para el tratamiento de agua acida de la relavera Quiulacocha – Cerro de Pasco</p> <p>Objetivos Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evaluar de la calidad del agua acida, Hp. La dosificación de comparándola con los Límites Máximos Permisibles y los Estándares de calidad ambiental para agua – categoría 3, según la Legislación Peruana vigente. • Determinar la dosis optima del sulfato de aluminio y el cloruro férrico, como coadyuvantes del hidróxido de calcio, para la reducción de metales disueltos y metales pesados del agua ácida • Realizar la comparación entre la eficiencia de remoción de metales dosificando sulfato de aluminio y cloruro férrico como coadyuvantes del hidróxido de calcio y la eficiencia de remoción de metales sin la dosificación de estos coagulantes. 	<p>Hipótesis: La dosificación de sulfato de aluminio y cloruro férrico como coadyuvantes del hidróxido de calcio influyen significativamente en el tratamiento de las aguas ácidas de la relavera Quiulacocha.</p>	<p>Variables Independiente: Tratamiento de sulfato de aluminio y cloruro férrico</p> <p>Variables dependientes: Concentración de metales totales y disueltos.</p>	<p>Enfoque: Básico</p> <p>Tipo: Cuantitativo</p> <p>Nivel: Experimental</p> <p>Alcance: Pre experimental</p> <p>Diseño: Experimental</p>	<p>Población: Aguas ácidas de la Relavera Quiulacocha, ubicada en el distrito de Simón Bolívar, provincia de Cerro de Pasco, Departamento Pasco.</p> <p>Muestra: 200 litros de muestra de las aguas ácidas provenientes de la Relavera Quiulacocha- Cerro de Pasco.</p>

Anexo 3: Panel fotográfico

Fotografía 1: Relavera Quiulacocha



Fotografía 2: Toma de muestras de aguas acida



Fotografía 3: Toma de muestras de aguas acida - envasado



Fotografía 4: Medición de parámetro de campo



Fotografía 5 y 6: Traslado de muestras hacia el laboratorio



Fotografía 7: Muestras en laboratorio



Fotografía 8: Coagulantes sulfato de aluminio y cloruro férrico



Fotografía 9: Preparación de coagulantes y floculante



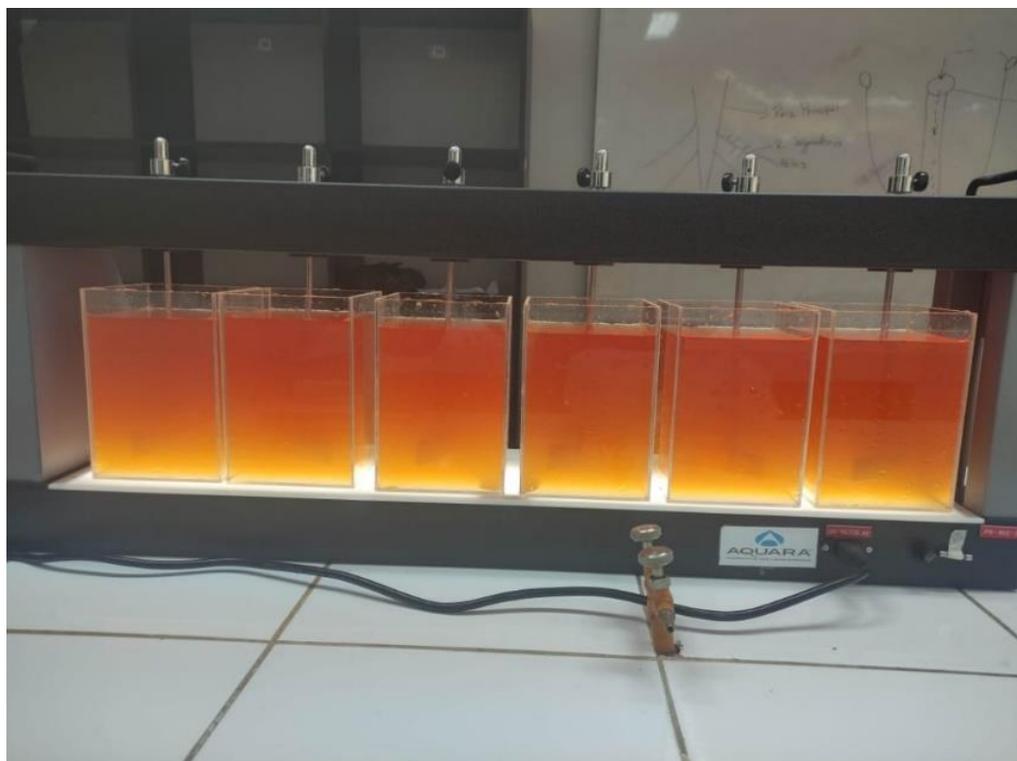
Fotografía 10 y 11: Dosificación de coagulantes



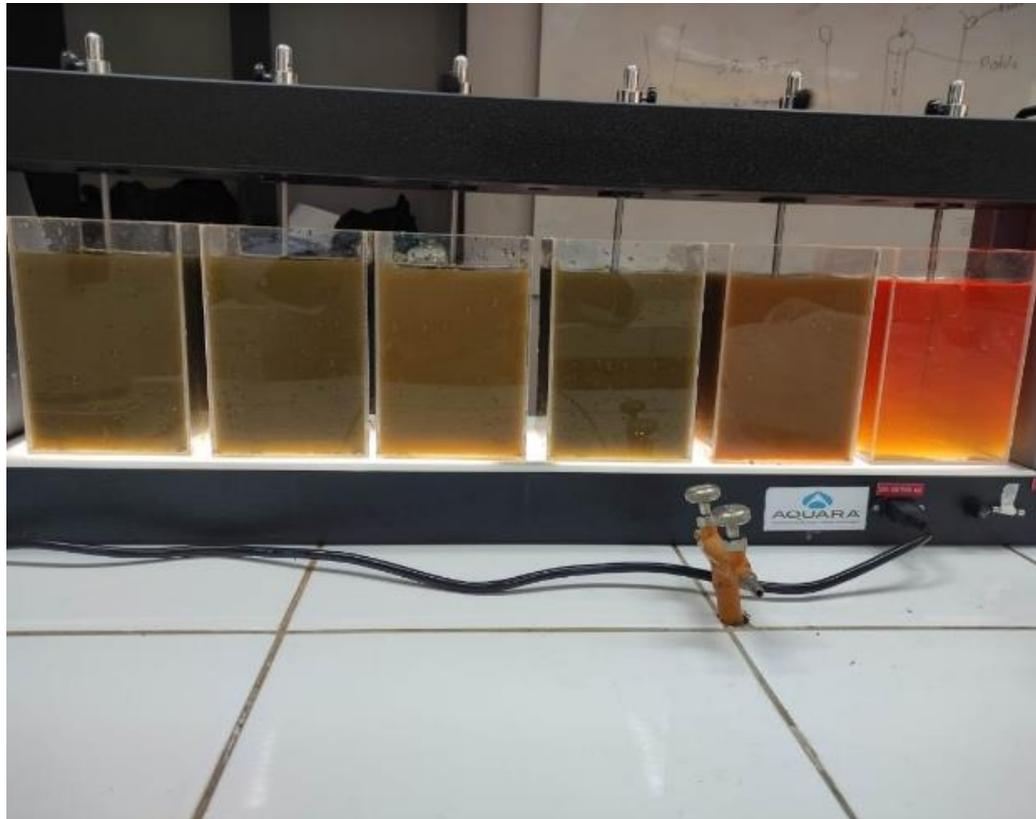
Fotografía 10 y 11: Dosificación de floculante



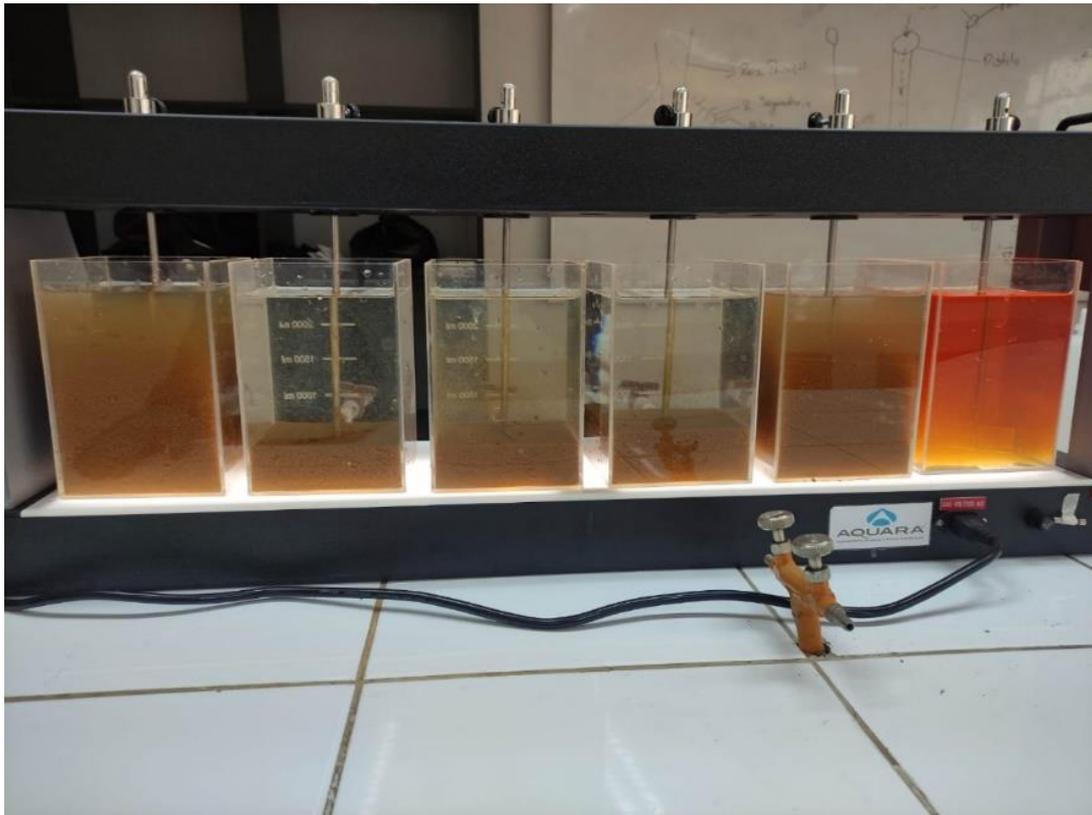
Fotografía 12: Prueba de jarras – agua acida



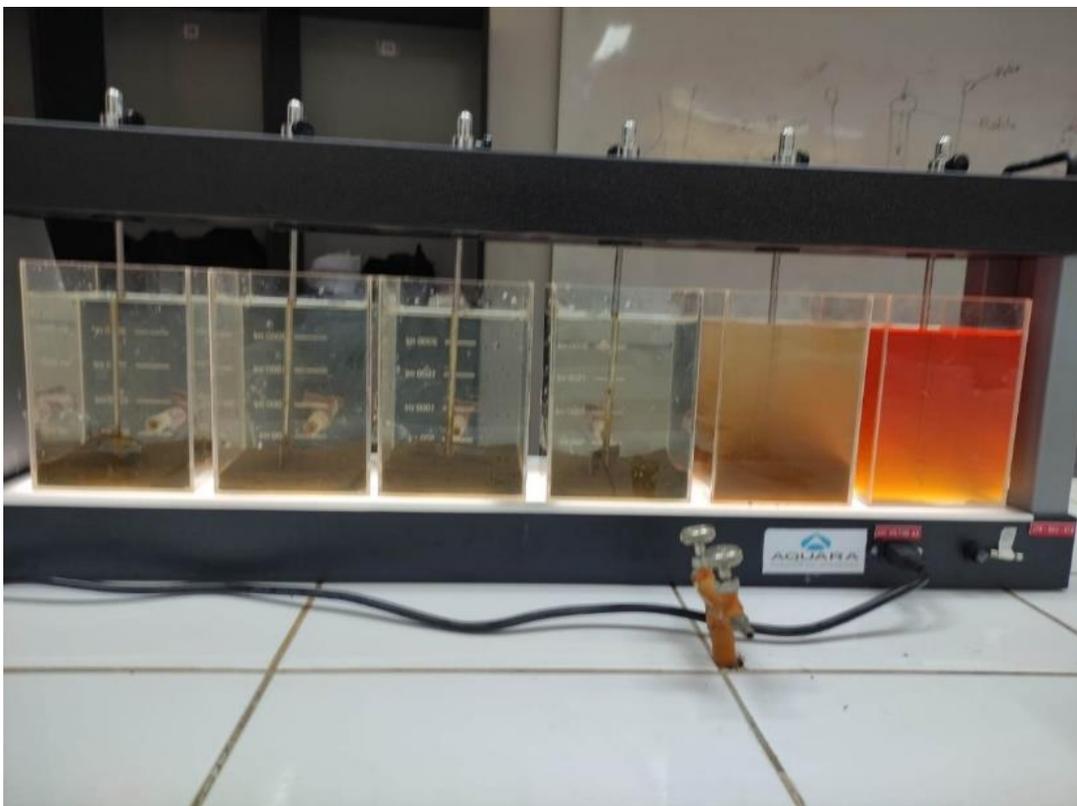
Fotografías 13 y 14: Prueba de jarras – agua acida con lechada de cal



Fotografía 15: Prueba de jarras – previo al tiempo de reposo



Fotografía 15: Prueba de jarras – después al tiempo de reposo



Fotografía 16: Prueba de jarras – muestras finales



Fotografía 17: Toma de muestras finales



Fotografía 17: Preservación de muestras finales



Fotografía 19: Muestreo y preservación de muestras



Anexo 4: Informes de ensayo

INFORME DE ENSAYO

RESULTADOS

Muestras		Ensayos													
N°	Codigo de Servicio Ensayo Unidad Limite de Detección LD	MON0000 Fecha Muestreo	MON0000 Tipo Muestra	MA1000 Nor* WGS-84	MA1000 Est* WGS-84	MA1000 Altitud* msnm	MA1000 Temperatura* °C	MA1000 pH* Unid de pH	MA1000 Conductiv.* µS/cm	MA0174 STS mg/L 5	MA0747 Ag (t) mg/L 0.00001	MA0748 Ag (d) mg/L 0.00001	MA0747 Al (t) mg/L 0.001	MA0748 Al (d) mg/L 0.001	MA0747 As (t) mg/L 0.0001
1	ESP-9.5	2023-05-26 14:30	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	12.2	8.55	5900	270	<0.00001	<0.00001	0.006	0.001	0.0044
2	ESP-9.0	2023-05-26 14:35	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	12.4	8.28	6100	102	<0.00001	<0.00001	0.005	<0.001	0.0044
3	ESP-8.5	2023-05-26 14:40	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	12.3	8.20	6460	109	<0.00001	<0.00001	0.039	<0.001	0.0057
4	ESP-8.0	2023-05-26 14:45	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	12.3	7.75	6820	217	<0.00001	<0.00001	0.232	<0.001	0.0190
5	ESP-7.5	2023-05-26 14:50	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	12.2	7.40	7300	87	<0.00001	<0.00001	0.567	<0.001	0.0380
6	ESP-0.0	2023-05-26 14:55	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	12.2	2.66	6900	118	<0.00001	<0.00001	16.907	13.520	1.0692

Las Coordenadas*, Altitud*, Temperatura*, pH*, Conductiv.*: son datos proporcionados por el cliente.

LD: Límite de Detección (Limite Reportable) que es tomado en base al Límite de Cuantificación del Método LCM.

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748
	Ensayo	As (d)	B (t)	B (d)	Ba (t)	Ba (d)	Be (t)	Be (d)	Bi (t)	Bi (d)	Ca (t)	Ca (d)	Cd (t)	Cd (d)	Ce (t)	Ce (d)	Co (t)	Co (d)	Cr (t)	Cr (d)
	Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	Limite de Detección LD	0.0001	0.004	0.004	0.00005	0.00005	0.0003	0.0003	0.00003	0.00003	0.02	0.02	0.00005	0.00005	0.00001	0.00001	0.00009	0.00009	0.0005	0.0005
1	ESP-9.5	0.0020	0.024	0.019	0.01628	0.01608	<0.0003	<0.0003	<0.00003	<0.00003	596.13	529.95	0.00198	<0.00005	0.00002	<0.00001	0.00051	0.00040	0.0012	0.0006
2	ESP-9.0	0.0021	0.020	0.013	0.01681	0.01425	<0.0003	<0.0003	<0.00003	<0.00003	587.38	477.39	0.01876	0.00011	0.00001	<0.00001	0.00048	0.00037	0.0015	0.0008
3	ESP-8.5	0.0036	0.016	0.011	0.01618	0.01428	<0.0003	<0.0003	<0.00003	<0.00003	563.57	461.95	0.02542	0.00035	0.00004	<0.00001	0.00043	0.00036	0.0016	0.0005
4	ESP-8.0	0.0130	0.024	0.016	0.01714	0.01671	<0.0003	<0.0003	<0.00003	<0.00003	581.75	467.71	0.03024	0.00274	0.00003	<0.00001	0.00081	0.00050	0.0021	0.0007
5	ESP-7.5	0.0310	0.022	0.020	0.01968	0.01901	<0.0003	<0.0003	<0.00003	<0.00003	611.61	468.28	0.04543	0.00462	0.00003	<0.00001	0.00098	0.00058	0.0024	0.0005
6	ESP-0.0	0.7190	0.042	0.032	0.02051	0.01174	0.0027	0.0028	0.00121	0.00107	432.28	431.10	0.41659	0.39199	0.01147	0.00918	0.03724	0.02970	0.0180	0.0120

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747
	Ensayo	Cs (t)	Cs (d)	Cu (t)	Cu (d)	Fe (t)	Fe (d)	Ga (t)	Ga (d)	Ge (t)	Ge (d)	Hf (t)	Hf (d)	Hg (t)	Hg (d)	In (t)	In (d)	K (t)	K (d)	La (t)
Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Limite de Detección LD	0.00001	0.00001	0.0001	0.0001	0.01	0.01	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.0003	0.0003	0.0001	0.0001	0.00005	0.00005	0.01	0.01	0.00001	
1	ESP-9.5	0.05749	0.04599	0.0388	0.0052	1.02	<0.01	0.00006	<0.00002	0.00010	0.00003	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.00005	<0.00005	7.07	6.87	0.00001
2	ESP-9.0	0.05841	0.04673	0.0521	0.0045	1.39	<0.01	0.00005	0.00002	0.00008	0.00004	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.00005	<0.00005	6.33	6.33	<0.00001
3	ESP-8.5	0.05692	0.04554	0.0658	0.0047	1.64	0.01	0.00016	0.00011	0.00007	0.00006	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.00005	<0.00005	6.04	5.63	0.00004
4	ESP-8.0	0.05752	0.04602	0.0754	0.0069	2.33	0.06	0.00027	0.00019	0.00014	<0.00002	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.00005	<0.00005	5.72	5.58	0.00001
5	ESP-7.5	0.05820	0.04656	0.0958	0.0079	12.75	1.78	0.00029	0.00020	0.00008	0.00004	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.00005	<0.00005	5.44	4.35	<0.00001
6	ESP-0.0	0.05666	0.04533	2.1710	2.0039	969.78	967.78	0.02283	0.02156	0.01180	0.01115	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	0.04148	0.03318	3.79	3.24	0.00490

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748
	Ensayo	La (d)	Li (t)	Li (d)	Lu (t)	Lu (d)	Mg (t)	Mg (d)	Mn (t)	Mn (d)	Mo (t)	Mo (d)	Na (t)	Na (d)	Nb (t)	Nb (d)	Ni (t)	Ni (d)	P (t)	P (d)
Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Limite de Detección LD	0.00001	0.00006	0.00006	0.00006	0.00006	0.00003	0.00003	0.00005	0.00005	0.00005	0.00005	0.00005	0.01	0.01	0.0001	0.0001	0.0005	0.0005	0.001	0.001
1	ESP-9.5	<0.00001	0.1408	0.1126	<0.00006	<0.00006	362.9396	210.3517	5.74037	0.02351	0.00029	0.00023	12.70	10.16	<0.0001	<0.0001	0.0013	0.0006	<0.001	<0.001
2	ESP-9.0	<0.00001	0.1247	0.1158	<0.00006	<0.00006	460.3088	489.0470	39.2864	1.17837	0.00059	0.00047	12.40	9.92	<0.0001	<0.0001	0.0006	0.0009	<0.001	<0.001
3	ESP-8.5	<0.00001	0.1288	0.1031	<0.00006	<0.00006	742.6844	738.9730	78.57721	13.72387	0.00052	0.00029	12.25	12.20	<0.0001	<0.0001	0.0007	0.0009	<0.001	<0.001
4	ESP-8.0	<0.00001	0.1334	0.1067	<0.00006	<0.00006	840.4118	821.4613	99.51930	45.40438	0.00014	0.00011	12.35	9.88	<0.0001	<0.0001	0.0012	0.0012	0.001	<0.001
5	ESP-7.5	<0.00001	0.1317	0.1005	<0.00006	<0.00006	880.3397	680.2718	148.89320	46.01544	0.00007	0.00006	12.21	9.76	<0.0001	<0.0001	0.0014	0.0014	<0.001	<0.001
6	ESP-0.0	0.00456	0.1835	0.0903	0.00045	0.00039	1055.3487	842.8553	964.34562	894.88837	0.00021	0.00015	11.54	9.23	0.0017	0.0014	0.1214	0.1154	0.201	0.136

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	
	Ensayo	Pb (t)	Pb (d)	Rb (t)	Rb (d)	S (t)	S (d)	Sb (t)	Sb (d)	Se (t)	Se (d)	Si (t)	Si (d)	SiO2 (t)	SiO2 (d)	SiO3 (t)	SiO3 (d)	Sn (t)	Sn (d)	Sr (t)
	Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	Limite de Detección LD	0.00005	0.00005	0.00001	0.00001	0.1	0.1	0.0001	0.0001	0.001	0.001	0.03	0.03	0.06	0.06	0.07	0.07	0.0001	0.0001	0.0001
1	ESP-9.5	0.00154	<0.00005	0.04229	0.03383	1272.5	1018.4	<0.0001	<0.0001	0.003	0.003	0.32	0.30	0.70	0.63	0.88	0.80	<0.0001	<0.0001	0.8340
2	ESP-9.0	0.00213	0.00008	0.04193	0.03354	1888.9	1565.5	<0.0001	<0.0001	0.003	0.003	0.24	0.20	0.51	0.44	0.64	0.55	<0.0001	<0.0001	0.8784
3	ESP-8.5	0.00324	<0.00005	0.03880	0.03104	2020.9	1717.9	<0.0001	<0.0001	0.003	0.003	0.21	0.16	0.44	0.35	0.56	0.45	<0.0001	<0.0001	0.8950
4	ESP-8.0	0.00528	0.00022	0.03928	0.03923	2249.6	1848.7	<0.0001	<0.0001	0.003	0.002	0.20	0.16	0.43	0.34	0.54	0.43	<0.0001	<0.0001	0.9313
5	ESP-7.5	0.00852	0.00025	0.03890	0.03112	2345.4	2070.1	<0.0001	<0.0001	0.003	0.002	0.18	0.14	0.38	0.31	0.49	0.39	<0.0001	<0.0001	0.9846
6	ESP-0.0	0.23453	0.21049	0.03228	0.02582	4486.6	4410.6	<0.0001	<0.0001	0.003	0.003	13.85	13.80	29.68	29.58	37.59	37.47	0.0004	0.0003	1.3008

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																				
N°	Codigo de Servicio Ensayo Unidad	MA0748 Sr (d) mg/L	MA0747 Ta (t) mg/L	MA0748 Ta (d) mg/L	MA0747 Tb (t) mg/L	MA0748 Tb (d) mg/L	MA0747 Te (t) mg/L	MA0748 Te (d) mg/L	MA0747 Th (t) mg/L	MA0748 Th (d) mg/L	MA0747 Ti (t) mg/L	MA0748 Ti (d) mg/L	MA0747 Tl (t) mg/L	MA0748 Tl (d) mg/L	MA0747 U (t) mg/L	MA0748 U (d) mg/L	MA0747 V (t) mg/L	MA0748 V (d) mg/L	MA0747 W (t) mg/L	MA0748 W (d) mg/L	MA0747 Yb (t) mg/L	
	Limite de Detección LD	0.0001	0.00002	0.00002	0.00004	0.00004	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
1	ESP-9.5	0.7424	<0.00002	<0.00002	<0.00004	<0.00004	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001
2	ESP-9.0	0.8307	<0.00002	<0.00002	<0.00004	<0.00004	<0.00001	<0.00001	0.00002	0.00002	<0.00001	<0.00001	0.00078	0.00073	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001
3	ESP-8.5	0.7801	<0.00002	<0.00002	<0.00004	<0.00004	<0.00001	<0.00001	0.00001	0.00001	<0.00001	<0.00001	0.0132	0.0120	0.00005	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001
4	ESP-8.0	0.8026	<0.00002	<0.00002	<0.00004	<0.00004	<0.00001	<0.00001	0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001	0.0146	0.0135	0.00004	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001
5	ESP-7.5	0.8278	<0.00002	<0.00002	<0.00004	<0.00004	<0.00001	<0.00001	0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001	0.0151	0.0148	0.00005	0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001
6	ESP-0.0	1.2217	0.00098	0.00078	0.0010	0.0008	0.0001	<0.00001	0.0017	0.0013	0.005	0.004	0.0226	0.0181	0.02275	0.02154	0.008	0.003	<0.00001	<0.00001	0.00327	

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos				
N°	Codigo de Servicio	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748
	Ensayo	Yb (d)	Zn (t)	Zn (d)	Zr (t)	Zr (d)
	Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	Limite de Detección LD	0.00003	0.001	0.001	0.0001	0.0001
1	ESP-9.5	<0.00003	0.409	0.004	<0.0001	<0.0001
2	ESP-9.0	<0.00003	0.679	0.008	0.0001	<0.0001
3	ESP-8.5	<0.00003	1.677	0.019	0.0001	0.0001
4	ESP-8.0	<0.00003	8.442	0.110	0.0001	<0.0001
5	ESP-7.5	<0.00003	16.442	0.315	0.0001	<0.0001
6	ESP-0.0	0.00326	345.653	338.998	0.0011	0.0010

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

INFORME DE ENSAYO

RESULTADOS

Muestras		Ensayos													
N°	Codigo de Servicio Ensayo Unidad Límite de Detección LD	MON0000 Fecha Muestreo	MON0000 Tipo Muestra	MA1000 Nor* WGS-84	MA1000 Est* WGS-84	MA1000 Altitud* msnm	MA1000 Temperatura* °C	MA1000 pH* Unid de pH	MA1000 Conductiv.* µS/cm	MA0174 STS mg/L 5	MA0747 Ag (t) mg/L 0.00001	MA0748 Ag (d) mg/L 0.00001	MA0747 Al (t) mg/L 0.001	MA0748 Al (d) mg/L 0.001	MA0747 As (t) mg/L 0.0001
1	ESP-9.5-Fe-1	2023-05-24 15:05	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	11.50	8.45	7800.0	173	0.00015	0.00012	0.035	0.012	0.0041
2	ESP-9.5-Fe-2	2023-05-24 15:10	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	11.50	8.25	7680.0	336	0.00015	0.00002	0.028	0.006	0.0035
3	ESP-9.5-Fe-3	2023-05-24 15:15	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	11.40	8.14	7610.0	476	0.00014	0.00014	0.043	0.012	0.0037
4	ESP-9.5-Fe-4	2023-05-24 15:20	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	11.50	8.12	7580.0	461	0.00007	0.00006	0.046	0.008	0.0043

Las Coordenadas*, Altitud*, Temperatura*, pH*, Conductiv*: son datos proporcionados por el cliente.

LD: Límite de Detección (Límite Reportable) que es tomado en base al Límite de Cuantificación del Método LCM.

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	
	Ensayo	As (d)	B (t)	B (d)	Ba (t)	Ba (d)	Be (t)	Be (d)	Bi (t)	Bi (d)	Ca (t)	Ca (d)	Cd (t)	Cd (d)	Ce (t)	Ce (d)	Co (t)	Co (d)	Cr (t)	Cr (d)
	Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	Limite de Detección LD	0.0001	0.004	0.004	0.00005	0.00005	0.0003	0.0003	0.00003	0.00003	0.02	0.02	0.00005	0.00005	0.00001	0.00001	0.00009	0.00009	0.0005	0.0005
1	ESP-9.5-Fe-1	0.0021	0.024	<0.004	0.01605	0.00393	<0.0003	<0.0003	<0.00003	<0.00003	835.81	521.79	0.00032	<0.00005	0.00004	0.00004	0.00046	0.00042	0.0011	0.0009
2	ESP-9.5-Fe-2	0.0020	0.023	<0.004	0.01600	0.00104	<0.0003	<0.0003	0.00003	<0.00003	994.40	545.20	0.00027	<0.00005	0.00003	<0.00001	0.00046	0.00040	0.0009	0.0007
3	ESP-9.5-Fe-3	0.0023	0.024	<0.004	0.01601	0.00093	<0.0003	<0.0003	0.00003	0.00003	662.40	529.53	0.00029	<0.00005	0.00007	0.00003	0.00050	0.00045	0.0012	0.0010
4	ESP-9.5-Fe-4	0.0023	0.024	<0.004	0.01621	0.00264	<0.0003	<0.0003	<0.00003	<0.00003	842.47	546.40	0.00029	<0.00005	0.00003	0.00001	0.00050	0.00043	0.0011	0.0010

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747
	Ensayo	Cs (t)	Cs (d)	Cu (t)	Cu (d)	Fe (t)	Fe (d)	Ga (t)	Ga (d)	Ge (t)	Ge (d)	Hf (t)	Hf (d)	Hg (t)	Hg (d)	In (t)	In (d)	K (t)	K (d)	La (t)
	Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	Límite de Detección LD	0.00001	0.00001	0.0001	0.0001	0.01	0.01	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.0003	0.0003	0.0001	0.0001	0.00005	0.00005	0.01	0.01	0.00001
1	ESP-9.5-Fe-1	0.06183	0.06143	0.0289	0.0061	1.07	<0.01	0.00004	0.00003	0.00012	<0.00002	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.00005	<0.00005	6.80	6.20	0.00004
2	ESP-9.5-Fe-2	0.06250	0.05843	0.0266	0.0058	0.74	<0.01	0.00003	<0.00002	0.00018	0.00004	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.00005	<0.00005	6.61	5.29	0.00003
3	ESP-9.5-Fe-3	0.06107	0.06069	0.0269	0.0064	0.92	<0.01	0.00007	0.00002	0.00025	0.00024	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.00005	<0.00005	6.74	6.18	0.00007
4	ESP-9.5-Fe-4	0.06204	0.05977	0.0312	0.0055	0.97	<0.01	0.00003	0.00003	0.00023	0.00018	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.00005	<0.00005	6.87	5.50	0.00003

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748
	Ensayo	La (d)	Li (t)	Li (d)	Lu (t)	Lu (d)	Mg (t)	Mg (d)	Mn (t)	Mn (d)	Mo (t)	Mo (d)	Na (t)	Na (d)	Nb (t)	Nb (d)	Ni (t)	Ni (d)	P (t)	P (d)
	Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	Limite de Detección LD	0.00001	0.0006	0.0006	0.00006	0.00006	0.0003	0.0003	0.00005	0.00005	0.00005	0.00005	0.01	0.01	0.0001	0.0001	0.0005	0.0005	0.001	0.001
1	ESP-9.5-Fe-1	0.00003	0.1405	0.1272	<0.00006	<0.00006	217.7742	170.0758	1.58537	0.00673	0.00114	0.00053	12.94	11.99	0.0004	0.0003	0.0001	0.00006	0.012	0.011
2	ESP-9.5-Fe-2	0.00002	0.1400	0.1168	<0.00006	<0.00006	197.1536	173.7229	1.53749	0.00510	0.00065	0.00041	12.48	9.98	0.0004	<0.0001	0.0001	<0.00005	0.011	<0.001
3	ESP-9.5-Fe-3	0.00003	0.1403	0.1208	<0.00006	<0.00006	191.0041	178.1068	1.56281	0.00281	0.00060	0.00055	12.89	12.17	0.0001	<0.0001	0.0001	0.00006	0.025	0.002
4	ESP-9.5-Fe-4	0.00002	0.1395	0.1289	<0.00006	<0.00006	208.6317	198.0141	1.72448	0.00171	0.00053	0.00048	12.92	12.42	<0.0001	<0.0001	0.0001	0.00005	0.014	0.011

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio Ensayo Unidad Limite de Detección LD	MA0747 Pb (t) mg/L	MA0748 Pb (d) mg/L	MA0747 Rb (t) mg/L	MA0748 Rb (d) mg/L	MA0747 S (t) mg/L	MA0748 S (d) mg/L	MA0747 Sb (t) mg/L	MA0748 Sb (d) mg/L	MA0747 Se (t) mg/L	MA0748 Se (d) mg/L	MA0747 Si (t) mg/L	MA0748 Si (d) mg/L	MA0747 SiO2 (t) mg/L	MA0748 SiO2 (d) mg/L	MA0747 SiO3 (t) mg/L	MA0748 SiO3 (d) mg/L	MA0747 Sn (t) mg/L	MA0748 Sn (d) mg/L	MA0747 Sr (t) mg/L
		0.00005	0.00005	0.00001	0.00001	0.1	0.1	0.0001	0.0001	0.001	0.001	0.03	0.03	0.06	0.06	0.07	0.07	0.0001	0.0001	0.0001
1	ESP-9.5-Fe-1	0.00060	0.00023	0.04373	0.04330	1032.2	769.2	0.0002	0.0001	0.003	0.005	0.32	0.31	0.68	0.67	0.86	0.85	<0.0001	<0.0001	1.0163
2	ESP-9.5-Fe-2	0.00043	0.00016	0.04165	0.03332	1232.1	760.2	0.0001	<0.0001	0.003	0.002	0.28	0.26	0.61	0.56	0.77	0.71	0.0001	<0.0001	1.1189
3	ESP-9.5-Fe-3	0.00078	0.00023	0.04333	0.04302	934.4	770.6	0.0002	0.0002	0.003	0.003	0.32	0.32	0.68	0.68	0.86	0.86	<0.0001	<0.0001	0.9714
4	ESP-9.5-Fe-4	0.00080	0.00034	0.04391	0.04128	1048.6	797.5	0.0002	0.0001	0.003	0.003	0.31	0.29	0.67	0.63	0.85	0.80	<0.0001	<0.0001	1.0513

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																			
N°	Codigo de Servicio	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	
	Ensayo	Sr(d)	Ta(t)	Ta(d)	Tb(t)	Tb(d)	Te(t)	Te(d)	Th(t)	Th(d)	Ti(t)	Ti(d)	Tl(t)	Tl(d)	U(t)	U(d)	V(t)	V(d)	W(t)	W(d)	Yb(t)
	Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	Límite de Detección LD	0.0001	0.00002	0.00002	0.0004	0.0004	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.002	0.002	0.0001	0.0001	0.00001	0.00001	0.001	0.001	0.0003	0.0003	0.00003
1	ESP-9.5-Fe-1	0.7908	0.00009	0.00009	<0.0004	<0.0004	0.0004	0.0003	0.0010	0.0010	<0.002	<0.002	0.0136	0.0129	0.00004	0.00002	0.001	<0.001	<0.0003	<0.0003	<0.00003
2	ESP-9.5-Fe-2	0.7336	0.00013	<0.00002	<0.0004	<0.0004	0.0003	<0.0001	0.0014	<0.0001	<0.002	<0.002	0.0126	0.0101	0.00002	<0.00001	0.001	0.001	<0.0003	<0.0003	<0.00003
3	ESP-9.5-Fe-3	0.8063	0.00005	0.00002	<0.0004	<0.0004	0.0002	0.0001	0.0006	0.0005	<0.002	<0.002	0.0137	0.0132	0.00010	0.00006	0.002	0.002	<0.0003	<0.0003	<0.00003
4	ESP-9.5-Fe-4	0.8153	0.00002	<0.00002	<0.0004	<0.0004	0.0001	<0.0001	0.0003	0.0003	<0.002	<0.002	0.0124	0.0121	0.00007	0.00004	0.002	0.002	<0.0003	<0.0003	<0.00003

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos				
N°	Codigo de Servicio	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748
	Ensayo	Yb (d)	Zn (t)	Zn (d)	Zr (t)	Zr (d)
	Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	Limite de Detección LD	0.00003	0.001	0.001	0.0001	0.0001
1	ESP-9.5-Fe-1	<0.00003	0.113	0.022	0.0002	0.0001
2	ESP-9.5-Fe-2	<0.00003	0.071	0.004	0.0001	<0.0001
3	ESP-9.5-Fe-3	<0.00003	0.126	0.014	0.0001	<0.0001
4	ESP-9.5-Fe-4	<0.00003	0.143	0.021	0.0001	<0.0001

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

INFORME DE ENSAYO

RESULTADOS

Muestras		Ensayos													
N°	Codigo de Servicio Ensayo Unidad Limite de Detección LD	MON0000 Fecha Muestreo	MON0000 Tipo Muestra	MA1000 Nor* WGS-84	MA1000 Est* WGS-84	MA1000 Altitud* msnm	MA1000 Temperatura* °C	MA1000 pH* Unid de pH	MA1000 Conductiv.* µS/cm	MA0174 STS mg/L 5	MA0747 Ag (t) mg/L 0.00001	MA0748 Ag (d) mg/L 0.00001	MA0747 Al (t) mg/L 0.001	MA0748 Al (d) mg/L 0.001	MA0747 As (t) mg/L 0.0001
1	ESP-9.5-AI-1	2023-05-24 14:30	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	11.80	9.28	6920.0	247	0.00005	0.00004	0.015	0.013	0.0031
2	ESP-9.5-AI-2	2023-05-24 14:35	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	11.50	9.12	6850.0	360	0.00001	<0.00001	0.020	0.017	0.0028
3	ESP-9.5-AI-3	2023-05-24 14:40	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	11.60	9.10	6700.0	565	0.00004	0.00004	0.022	0.019	0.0028
4	ESP-9.5-AI-4	2023-05-24 14:45	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	11.60	8.92	6620.0	440	0.00019	0.00015	0.039	0.033	0.0036

Las Coordenadas*, Altitud*, Temperatura*, pH*, Conductiv*, Oxig (d)*, Caudal: son datos proporcionados por el cliente.
 LD: Limite de Detección (Limite Reportable) que es tomado en base al Limite de Cuantificación del Método LCM.

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748
	Ensayo	As (d)	B (t)	B (d)	Ba (t)	Ba (d)	Be (t)	Be (d)	Bi (t)	Bi (d)	Ca (t)	Ca (d)	Cd (t)	Cd (d)	Ce (t)	Ce (d)	Co (t)	Co (d)	Cr (t)	Cr (d)
	Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	Limite de Detección LD	0.0001	0.004	0.004	0.00005	0.00005	0.0003	0.0003	0.00003	0.00003	0.02	0.02	0.00005	0.00005	0.00001	0.00001	0.00009	0.00009	0.0005	0.0005
1	ESP-9.5-AI-1	0.0022	0.026	0.044	0.01682	0.01405	<0.0003	<0.0003	<0.00003	<0.00003	565.83	501.68	0.00055	0.00020	0.00002	0.00002	0.00050	0.00040	0.0009	0.0008
2	ESP-9.5-AI-2	0.0026	0.023	0.046	0.01641	0.01476	<0.0003	<0.0003	<0.00003	<0.00003	578.68	495.97	0.00024	0.00022	0.00002	0.00001	0.00045	0.00036	0.0007	0.0006
3	ESP-9.5-AI-3	0.0023	0.023	0.034	0.01709	0.01512	<0.0003	<0.0003	<0.00003	<0.00003	730.84	558.01	0.00025	<0.00005	0.00002	0.00002	0.00058	0.00039	0.0010	0.0009
4	ESP-9.5-AI-4	0.0027	0.023	0.040	0.01723	0.01407	<0.0003	<0.0003	<0.00003	<0.00003	678.11	615.72	0.00026	<0.00005	0.00004	0.00004	0.00065	0.00059	0.0015	0.0012

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747
	Ensayo	Cs (t)	Cs (d)	Cu (t)	Cu (d)	Fe (t)	Fe (d)	Ga (t)	Ga (d)	Ge (t)	Ge (d)	Hf (t)	Hf (d)	Hg (t)	Hg (d)	In (t)	In (d)	K (t)	K (d)	La (t)
	Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	Límite de Detección LD	0.00001	0.00001	0.0001	0.0001	0.01	0.01	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.0003	0.0003	0.0001	0.0001	0.00005	0.00005	0.01	0.01	0.00001
1	ESP-9.5-AI-1	0.06070	0.05797	0.0133	0.0035	0.49	<0.01	0.00006	0.00003	0.00003	0.00002	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.00005	<0.00005	6.33	6.29	0.00005
2	ESP-9.5-AI-2	0.06623	0.06561	0.0126	0.0036	0.38	0.01	0.00005	0.00002	0.00016	0.00012	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.00005	<0.00005	7.08	6.72	0.00002
3	ESP-9.5-AI-3	0.06002	0.05939	0.0374	0.0071	0.39	<0.01	0.00003	0.00003	0.00032	0.00029	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.00005	<0.00005	6.79	6.66	0.00001
4	ESP-9.5-AI-4	0.05814	0.05799	0.0379	0.0082	0.44	0.01	0.00004	0.00003	0.00024	0.00003	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.00005	<0.00005	7.02	5.62	0.00003

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748
	Ensayo	La (d)	Li (t)	Li (d)	Lu (t)	Lu (d)	Mg (t)	Mg (d)	Mn (t)	Mn (d)	Mo (t)	Mo (d)	Na (t)	Na (d)	Nb (t)	Nb (d)	Ni (t)	Ni (d)	P (t)	P (d)
Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Limite de Detección LD	0.00001	0.00006	0.00006	0.00006	0.00006	0.00003	0.00003	0.00005	0.00005	0.00005	0.00005	0.00005	0.01	0.01	0.0001	0.0001	0.0005	0.0005	0.001	0.001
1	ESP-9.5-AI-1	0.00004	0.1368	0.1014	<0.00006	<0.00006	135.5657	105.6660	3.35147	2.64224	0.00042	0.00041	12.48	9.99	<0.0001	<0.0001	0.0009	0.0005	0.014	0.011
2	ESP-9.5-AI-2	0.00001	0.1323	0.1018	<0.00006	<0.00006	122.2578	107.8062	1.51127	0.41914	0.00051	0.00041	12.64	10.11	0.0002	0.0002	0.0007	0.0006	0.011	0.010
3	ESP-9.5-AI-3	0.00001	0.1316	0.0893	<0.00006	<0.00006	144.6220	103.6976	1.68080	0.00607	0.00041	0.00037	12.71	12.66	<0.0001	<0.0001	0.0009	0.0006	0.015	0.008
4	ESP-9.5-AI-4	0.00002	0.1322	0.0978	<0.00006	<0.00006	145.3350	102.2648	1.73787	0.00227	0.00057	0.00046	12.75	10.20	0.0002	0.0002	0.0008	0.0007	0.016	0.013

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747
	Ensayo	Pb (t)	Pb (d)	Rb (t)	Rb (d)	S (t)	S (d)	Sb (t)	Sb (d)	Se (t)	Se (d)	Si (t)	Si (d)	SiO2 (t)	SiO2 (d)	SiO3 (t)	SiO3 (d)	Sn (t)	Sn (d)	Sr (t)
Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Limite de Detección LD	0.00005	0.00005	0.00001	0.00001	0.1	0.1	0.0001	0.0001	0.001	0.001	0.03	0.03	0.06	0.06	0.07	0.07	0.0001	0.0001	0.0001	
1	ESP-9.5-AI-1	0.00055	0.00033	0.04123	0.04014	1338.1	1311.9	<0.0001	<0.0001	0.003	0.003	0.23	0.19	0.50	0.40	0.64	0.51	<0.0001	<0.0001	1.0036
2	ESP-9.5-AI-2	0.00010	0.00008	0.04276	0.04220	1372.8	1306.0	0.0001	0.0001	0.003	0.003	0.26	0.21	0.55	0.44	0.70	0.56	<0.0001	<0.0001	0.9283
3	ESP-9.5-AI-3	0.00085	0.00068	0.04497	0.04274	976.4	826.3	0.0001	<0.0001	0.003	0.004	0.31	0.31	0.67	0.66	0.84	0.84	<0.0001	<0.0001	0.9782
4	ESP-9.5-AI-4	0.00084	0.00067	0.04271	0.04235	893.7	781.8	0.0002	0.0001	0.003	0.004	0.34	0.28	0.74	0.59	0.93	0.75	<0.0001	<0.0001	0.9448

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																			
N°	Codigo de Servicio	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747
	Ensayo	Sr (d)	Ta (t)	Ta (d)	Tb (t)	Tb (d)	Te (t)	Te (d)	Th (t)	Th (d)	Ti (t)	Ti (d)	Tl (t)	Tl (d)	U (t)	U (d)	V (t)	V (d)	W (t)	W (d)	Yb (t)
	Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	Limite de Detección LD	0.0001	0.00002	0.00002	0.0004	0.0004	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.002	0.002	0.0001	0.0001	0.00001	0.00001	0.001	0.001	0.0003	0.0003	0.00003
1	ESP-9.5-AI-1	0.8617	0.00005	0.00004	<0.0004	<0.0004	<0.0001	<0.0001	0.0003	0.0003	<0.002	<0.002	0.0121	0.0108	0.00005	0.00004	0.001	0.001	<0.0003	<0.0003	0.00003
2	ESP-9.5-AI-2	0.8694	0.00013	0.00010	<0.0004	<0.0004	0.0001	0.0001	0.0010	0.0005	<0.002	<0.002	0.0117	0.0099	0.00001	0.00001	0.002	0.002	<0.0003	<0.0003	<0.00003
3	ESP-9.5-AI-3	0.8456	<0.00002	<0.00002	<0.0004	<0.0004	0.0001	<0.0001	0.0002	0.0002	<0.002	<0.002	0.0126	0.0120	0.00005	0.00004	0.002	0.001	<0.0003	<0.0003	<0.00003
4	ESP-9.5-AI-4	0.8549	0.00003	0.00002	<0.0004	<0.0004	0.0001	<0.0001	0.0006	0.0005	<0.002	<0.002	0.0129	0.0122	0.00008	0.00002	0.001	<0.001	<0.0003	<0.0003	<0.00003

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos				
N°	Codigo de Servicio	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748
	Ensayo	Yb (d)	Zn (t)	Zn (d)	Zr (t)	Zr (d)
	Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	Limite de Detección LD	0.00003	0.001	0.001	0.0001	0.0001
1	ESP-9.5-AI-1	<0.00003	0.093	0.007	0.0001	<0.0001
2	ESP-9.5-AI-2	<0.00003	0.043	0.004	<0.0001	<0.0001
3	ESP-9.5-AI-3	<0.00003	0.065	0.001	<0.0001	<0.0001
4	ESP-9.5-AI-4	<0.00003	0.138	0.072	0.0002	<0.0001

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

INFORME DE ENSAYO

RESULTADOS

Muestras		Ensayos													
N°	Codigo de Servicio Ensayo Unidad Limite de Detección LD	MON0000 Fecha Muestreo	MON0000 Tipo Muestra	MA1000 Nor* WGS-84	MA1000 Est* WGS-84	MA1000 Altitud* msnm	MA1000 Temperatura* °C	MA1000 pH* Unid de pH	MA1000 Conductiv.* µS/cm	MA0174 STS mg/L 5	MA0747 Ag (t) mg/L 0.00001	MA0748 Ag (d) mg/L 0.00001	MA0747 Al (t) mg/L 0.001	MA0748 Al (d) mg/L 0.001	MA0747 As (t) mg/L 0.0001
1	ESP-9.0-AI-1	2023-05-25 14:30	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	11.70	8.98	7120.0	165	0.00016	0.00013	0.027	0.013	0.0040
2	ESP-9.0-AI-2	2023-05-25 14:35	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	11.50	8.76	6970.0	141	0.00003	<0.00001	0.034	0.014	0.0025
3	ESP-9.0-AI-3	2023-05-25 14:40	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	11.40	8.55	6800.0	142	0.00007	0.00006	0.039	0.011	0.0029
4	ESP-9.0-AI-4	2023-05-25 14:45	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	11.60	8.48	6670.0	128	0.00007	0.00006	0.058	0.018	0.0047

Las Coordenadas*, Altitud*, Temperatura*, pH*, Conductiv*, son datos proporcionados por el cliente.
 LD: Limite de Detección (Limite Reportable) que es tomado en base al Limite de Cuantificación del Método LCM.

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748
	Ensayo	As (d)	B (t)	B (d)	Ba (t)	Ba (d)	Be (t)	Be (d)	Bi (t)	Bi (d)	Ca (t)	Ca (d)	Cd (t)	Cd (d)	Ce (t)	Ce (d)	Co (t)	Co (d)	Cr (t)	Cr (d)
	Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	Limite de Detección LD	0.0001	0.004	0.004	0.00005	0.00005	0.0003	0.0003	0.00003	0.00003	0.02	0.02	0.00005	0.00005	0.00001	0.00001	0.00009	0.00009	0.0005	0.0005
1	ESP-9.0-AI-1	0.0023	0.0200	0.043	0.01979	0.01743	<0.0003	<0.0003	<0.00003	<0.00003	592.16	500.77	0.00041	0.00005	0.00004	0.00002	0.00047	0.00038	0.0014	0.0011
2	ESP-9.0-AI-2	0.0023	0.0175	0.039	0.01734	0.01676	<0.0003	<0.0003	<0.00003	<0.00003	554.54	489.85	0.00111	0.00056	0.00003	0.00002	0.00045	0.00040	0.0016	0.0013
3	ESP-9.0-AI-3	0.0019	0.0185	0.045	0.01622	0.01568	<0.0003	<0.0003	<0.00003	<0.00003	581.36	486.92	0.00076	0.00034	0.00003	0.00003	0.00046	0.00039	0.0015	0.0007
4	ESP-9.0-AI-4	0.0023	0.0180	0.043	0.01981	0.01756	<0.0003	<0.0003	<0.00003	<0.00003	587.00	505.70	0.00076	0.00023	0.00002	0.00002	0.00051	0.00048	0.0012	0.0010

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747
	Ensayo	Cs (t)	Cs (d)	Cu (t)	Cu (d)	Fe (t)	Fe (d)	Ga (t)	Ga (d)	Ge (t)	Ge (d)	Hf (t)	Hf (d)	Hg (t)	Hg (d)	In (t)	In (d)	K (t)	K (d)	La (t)
	Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	Limite de Detección LD	0.00001	0.00001	0.0001	0.0001	0.01	0.01	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.0003	0.0003	0.0001	0.0001	0.00005	0.00005	0.01	0.01	0.00001
1	ESP-9.0-AI-1	0.06318	0.06299	0.0350	0.0065	0.91	0.01	0.00009	0.00003	0.00014	0.00008	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.00005	<0.00005	6.44	6.34	0.00005
2	ESP-9.0-AI-2	0.06492	0.06353	0.0159	0.0059	0.43	0.01	0.00022	0.00015	0.00017	0.00017	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.00005	<0.00005	6.07	5.90	0.00002
3	ESP-9.0-AI-3	0.06460	0.06193	0.0239	0.0043	0.56	<0.01	0.00012	0.00004	0.00007	0.00002	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.00005	<0.00005	6.53	6.35	0.00005
4	ESP-9.0-AI-4	0.06288	0.06012	0.0259	0.0060	0.57	0.01	0.00017	0.00014	0.00012	<0.00002	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.00005	<0.00005	6.42	6.37	0.00003

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748
	Ensayo	La (d)	Li (t)	Li (d)	Lu (t)	Lu (d)	Mg (t)	Mg (d)	Mn (t)	Mn (d)	Mo (t)	Mo (d)	Na (t)	Na (d)	Nb (t)	Nb (d)	Ni (t)	Ni (d)	P (t)	P (d)
Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Limite de Detección LD	0.00001	0.0006	0.0006	0.00006	0.00006	0.0003	0.0003	0.00005	0.00005	0.00005	0.00005	0.01	0.01	0.0001	0.0001	0.0005	0.0005	0.001	0.001	
1	ESP-9.0-AI-1	0.00002	0.1255	0.1157	<0.00006	<0.00006	279.8724	124.6979	4.18207	0.22922	0.00058	0.00053	12.66	12.25	0.0002	0.0001	0.0007	0.0006	0.015	0.012
2	ESP-9.0-AI-2	0.00002	0.1256	0.1004	<0.00006	<0.00006	268.2625	158.6100	2.11378	1.52540	0.00050	0.00035	12.15	12.04	0.0001	0.0001	0.0009	0.0007	0.013	0.011
3	ESP-9.0-AI-3	0.00002	0.1225	0.1125	<0.00006	<0.00006	292.8035	166.9161	2.87518	1.98170	0.00046	0.00033	13.36	12.75	<0.0001	<0.0001	0.0010	0.0006	0.015	0.007
4	ESP-9.0-AI-4	0.00003	0.1221	0.1175	<0.00006	<0.00006	304.4084	184.6498	2.92781	1.13603	0.00044	0.00036	12.86	12.63	<0.0001	<0.0001	0.0007	0.0006	0.009	0.007

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747
	Ensayo	Pb (t)	Pb (d)	Rb (t)	Rb (d)	S (t)	S (d)	Sb (t)	Sb (d)	Se (t)	Se (d)	Si (t)	Si (d)	SiO2 (t)	SiO2 (d)	SiO3 (t)	SiO3 (d)	Sn (t)	Sn (d)	Sr (t)
Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Limite de Detección LD	0.00005	0.00005	0.00001	0.00001	0.1	0.1	0.0001	0.0001	0.001	0.001	0.03	0.03	0.06	0.06	0.07	0.07	0.0001	0.0001	0.0001	
1	ESP-9.0-AI-1	0.00076	0.00040	0.04264	0.04263	1356.8	1305.4	0.0002	0.0001	0.003	0.002	0.20	0.19	0.42	0.41	0.53	0.52	<0.0001	<0.0001	0.9275
2	ESP-9.0-AI-2	0.00019	0.00009	0.04029	0.03223	1581.3	1456.5	0.0001	<0.0001	0.003	0.002	0.18	0.16	0.38	0.33	0.48	0.42	<0.0001	<0.0001	0.8658
3	ESP-9.0-AI-3	0.00029	0.00023	0.04389	0.04251	1702.8	1623.5	0.0001	0.0001	0.003	0.002	0.20	0.20	0.44	0.43	0.56	0.55	<0.0001	<0.0001	0.9098
4	ESP-9.0-AI-4	0.00062	0.00016	0.04199	0.04163	1629.1	1595.6	0.0002	0.0001	0.003	0.002	0.16	0.16	0.35	0.35	0.44	0.44	<0.0001	<0.0001	0.8831

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																			
N°	Codigo de Servicio	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	
	Ensayo	Sr (d)	Ta (t)	Ta (d)	Tb (t)	Tb (d)	Te (t)	Te (d)	Th (t)	Th (d)	Ti (t)	Ti (d)	Tl (t)	Tl (d)	U (t)	U (d)	V (t)	V (d)	W (t)	W (d)	Yb (t)
	Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	Limite de Detección LD	0.0001	0.00002	0.00002	0.0004	0.0004	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.002	0.002	0.0001	0.0001	0.00001	0.00001	0.001	0.001	0.0003	0.0003	0.00003
1	ESP-9.0-AI-1	0.8082	0.00004	0.00002	<0.0004	<0.0004	<0.0001	<0.0001	0.0005	0.0004	<0.002	<0.002	0.0140	0.0130	0.00005	0.00001	0.002	0.001	<0.0003	<0.0003	<0.00003
2	ESP-9.0-AI-2	0.7834	0.00015	0.00012	<0.0004	<0.0004	0.0001	<0.0001	0.0003	0.0002	<0.002	<0.002	0.0142	0.0128	0.00003	0.00002	0.002	0.001	<0.0003	<0.0003	<0.00003
3	ESP-9.0-AI-3	0.8114	0.00008	0.00007	<0.0004	<0.0004	0.0001	<0.0001	0.0005	0.0004	<0.002	<0.002	0.0130	0.0125	0.00006	0.00004	0.002	0.001	<0.0003	<0.0003	<0.00003
4	ESP-9.0-AI-4	0.8266	<0.00002	<0.00002	<0.0004	<0.0004	<0.0001	<0.0001	0.0002	0.0002	<0.002	<0.002	0.0137	0.0126	0.00006	0.00002	0.002	0.001	<0.0003	<0.0003	<0.00003

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos				
N°	Codigo de Servicio	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748
	Ensayo	Yb (d)	Zn (t)	Zn (d)	Zr (t)	Zr (d)
	Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	Límite de Detección LD	0.00003	0.001	0.001	0.0001	0.0001
1	ESP-9.0-AI-1	<0.00003	0.171	0.005	0.0002	0.0002
2	ESP-9.0-AI-2	<0.00003	0.139	0.025	<0.0001	<0.0001
3	ESP-9.0-AI-3	<0.00003	0.145	0.010	0.0002	0.0001
4	ESP-9.0-AI-4	<0.00003	0.184	0.015	0.0001	0.0001

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

INFORME DE ENSAYO

RESULTADOS

Muestras			Ensayos												
N°	Codigo de Servicio Ensayo Unidad Limite de Detección LD	MON0000 Fecha Muestreo	MON0000 Tipo Muestra	MA1000 Nor* WGS-84	MA1000 Est* WGS-84	MA1000 Altitud* msnm	MA1000 Temperatura* °C	MA1000 pH* Unid de pH	MA1000 Conductiv.* µS/cm	MA0174 STS mg/L 5	MA0747 Ag (t) mg/L 0.00001	MA0748 Ag (d) mg/L 0.00001	MA0747 Al (t) mg/L 0.001	MA0748 Al (d) mg/L 0.001	MA0747 As (t) mg/L 0.0001
1	ESP-9.0-Fe-1	2023-05-25 15:05	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	11.50	8.02	7700.0	243	<0.00001	<0.00001	0.037	<0.001	0.0034
2	ESP-9.0-Fe-2	2023-05-25 15:10	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	11.40	7.93	7570.0	266	<0.00001	<0.00001	0.031	<0.001	0.0025
3	ESP-9.0-Fe-3	2023-05-25 15:15	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	11.40	7.92	7600.0	280	<0.00001	<0.00001	0.043	<0.001	0.0029
4	ESP-9.0-Fe-4	2023-05-25 15:20	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	11.50	7.84	7870.0	247	<0.00001	<0.00001	0.045	<0.001	0.0042

Las Coordenadas*, Altitud*, Temperatura*, pH*, Conductiv*, son datos proporcionados por el cliente.

LD: Límite de Detección (Limite Reportable) que es tomado en base al Límite de Cuantificación del Método LCM.

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748
	Ensayo	As (d)	B (t)	B (d)	Ba (t)	Ba (d)	Be (t)	Be (d)	Bi (t)	Bi (d)	Ca (t)	Ca (d)	Cd (t)	Cd (d)	Ce (t)	Ce (d)	Co (t)	Co (d)	Cr (t)	Cr (d)
	Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	Limite de Detección LD	0.0001	0.004	0.004	0.00005	0.00005	0.0003	0.0003	0.00003	0.00003	0.02	0.02	0.00005	0.00005	0.00001	0.00001	0.00009	0.00009	0.0005	0.0005
1	ESP-9.0-Fe-1	0.0022	0.0195	0.006	0.01671	0.01524	<0.0003	<0.0003	<0.00003	<0.00003	600.72	516.42	0.00022	<0.00005	<0.00001	<0.00001	0.00040	0.00028	0.0013	0.0010
2	ESP-9.0-Fe-2	0.0019	0.0185	<0.004	0.01649	0.01399	<0.0003	<0.0003	<0.00003	<0.00003	525.25	508.12	0.00014	0.00009	<0.00001	<0.00001	0.00028	0.00023	0.0012	0.0007
3	ESP-9.0-Fe-3	0.0022	0.0190	<0.004	0.01666	0.01570	<0.0003	<0.0003	<0.00003	<0.00003	549.48	487.85	0.00019	<0.00005	<0.00001	<0.00001	0.00029	0.00019	0.0015	0.0009
4	ESP-9.0-Fe-4	0.0021	0.0195	<0.004	0.01675	0.01346	<0.0003	<0.0003	<0.00003	<0.00003	608.60	464.47	0.00038	0.00008	<0.00001	<0.00001	0.00038	0.00029	0.0016	0.0009

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



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 022



INFORME DE ENSAYO

Registro N°LE -022

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747
	Ensayo	Cs (t)	Cs (d)	Cu (t)	Cu (d)	Fe (t)	Fe (d)	Ga (t)	Ga (d)	Ge (t)	Ge (d)	Hf (t)	Hf (d)	Hg (t)	Hg (d)	In (t)	In (d)	K (t)	K (d)	La (t)
	Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	Límite de Detección LD	0.00001	0.00001	0.0001	0.0001	0.01	0.01	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.0003	0.0003	0.0001	0.0001	0.00005	0.00005	0.01	0.01	0.00001
1	ESP-9.0-Fe-1	0.06033	0.05937	0.0403	0.0060	0.82	0.01	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.00005	<0.00005	6.23	4.98	<0.00001
2	ESP-9.0-Fe-2	0.05777	0.04622	0.0277	0.0063	0.98	<0.01	0.00017	0.00014	<0.00002	<0.00002	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.00005	<0.00005	6.25	5.00	<0.00001
3	ESP-9.0-Fe-3	0.05909	0.05808	0.0298	0.0063	0.64	<0.01	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.00005	<0.00005	6.11	4.89	<0.00001
4	ESP-9.0-Fe-4	0.06141	0.05953	0.0329	0.0054	0.86	0.02	0.00007	<0.00002	0.00006	0.00002	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.00005	<0.00005	6.42	6.36	<0.00001

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

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

CERTIMIN S.A. Av. Las Vegas 845 - San Juan de Miraflores Telf.: (51-1) 205-5656, e-mail : certimin@certimin.pe

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748
	Ensayo	La (d)	Li (t)	Li (d)	Lu (t)	Lu (d)	Mg (t)	Mg (d)	Mn (t)	Mn (d)	Mo (t)	Mo (d)	Na (t)	Na (d)	Nb (t)	Nb (d)	Ni (t)	Ni (d)	P (t)	P (d)
	Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	Limite de Detección LD	0.00001	0.00006	0.00006	0.00006	0.00006	0.0003	0.0003	0.00005	0.00005	0.00005	0.00005	0.01	0.01	0.0001	0.0001	0.0005	0.0005	0.001	0.001
1	ESP-9.0-Fe-1	<0.00001	0.1225	0.1075	<0.00006	<0.00006	377.1757	381.7403	3.21400	0.00621	0.00046	0.00037	12.35	12.26	<0.0001	<0.0001	0.0008	0.0007	0.018	0.014
2	ESP-9.0-Fe-2	<0.00001	0.1217	0.1078	<0.00006	<0.00006	373.2366	538.5893	3.03776	0.74859	0.00038	0.00030	12.61	10.09	<0.0001	<0.0001	0.0007	0.0006	0.355	0.017
3	ESP-9.0-Fe-3	<0.00001	0.1225	0.1060	<0.00006	<0.00006	424.9257	520.9580	3.68584	0.23957	0.00062	0.00053	11.90	9.52	<0.0001	<0.0001	0.0009	0.0005	0.010	0.008
4	ESP-9.0-Fe-4	<0.00001	0.1239	0.1071	<0.00006	<0.00006	495.2064	562.8970	5.53687	1.67392	0.00065	0.00060	12.43	12.15	<0.0001	<0.0001	0.0007	<0.0005	0.011	0.009

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747
	Ensayo	Pb (t)	Pb (d)	Rb (t)	Rb (d)	S (t)	S (d)	Sb (t)	Sb (d)	Se (t)	Se (d)	Si (t)	Si (d)	SiO2 (t)	SiO2 (d)	SiO3 (t)	SiO3 (d)	Sn (t)	Sn (d)	Sr (t)
Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Limite de Detección LD	0.00005	0.00005	0.00001	0.00001	0.1	0.1	0.0001	0.0001	0.001	0.001	0.03	0.03	0.06	0.06	0.07	0.07	0.0001	0.0001	0.0001	
1	ESP-9.0-Fe-1	0.00062	0.00050	0.04098	0.04090	1336.6	1303.4	0.0001	0.0001	0.003	0.002	0.23	0.18	0.49	0.39	0.62	0.49	<0.0001	<0.0001	0.8949
2	ESP-9.0-Fe-2	0.00050	0.00046	0.04149	0.03319	1670.8	1640.9	<0.0001	<0.0001	0.003	0.002	0.19	0.17	0.41	0.37	0.51	0.46	<0.0001	<0.0001	0.7851
3	ESP-9.0-Fe-3	0.00097	0.00030	0.04062	0.03986	1463.7	1400.5	<0.0001	<0.0001	0.003	0.004	0.20	0.16	0.44	0.35	0.56	0.44	<0.0001	<0.0001	0.7314
4	ESP-9.0-Fe-4	0.00097	0.00016	0.04141	0.04047	1570.3	1435.6	<0.0001	<0.0001	0.003	0.002	0.19	0.15	0.40	0.32	0.51	0.40	<0.0001	<0.0001	0.9160

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																			
N°	Codigo de Servicio	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	
	Ensayo	Sr(d)	Ta(t)	Ta(d)	Tb(t)	Tb(d)	Te(t)	Te(d)	Th(t)	Th(d)	Ti(t)	Ti(d)	Tl(t)	Tl(d)	U(t)	U(d)	V(t)	V(d)	W(t)	W(d)	Yb(t)
Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Limite de Detección LD	0.0001	0.00002	0.00002	0.0004	0.0004	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.002	0.0001	0.0001	0.0001	0.00001	0.00001	0.001	0.001	0.0003	0.0003	0.00003
1	ESP-9.0-Fe-1	0.7845	<0.00002	<0.00002	<0.0004	<0.0004	<0.0001	<0.0001	0.0002	0.0002	<0.002	<0.002	0.0133	0.0125	<0.00001	<0.00001	0.001	<0.001	<0.0003	<0.0003	<0.00003
2	ESP-9.0-Fe-2	0.6281	<0.00002	<0.00002	<0.0004	<0.0004	<0.0001	<0.0001	0.0004	0.0003	<0.002	<0.002	0.0129	0.0122	<0.00001	<0.00001	0.001	<0.001	<0.0003	<0.0003	<0.00003
3	ESP-9.0-Fe-3	0.5851	<0.00002	<0.00002	<0.0004	<0.0004	<0.0001	<0.0001	0.0002	0.0001	<0.002	<0.002	0.0136	0.0125	<0.00001	<0.00001	0.001	0.001	<0.0003	<0.0003	<0.00003
4	ESP-9.0-Fe-4	0.7926	<0.00002	<0.00002	<0.0004	<0.0004	<0.0001	<0.0001	0.0001	<0.0001	<0.002	<0.002	0.0135	0.0123	<0.00001	<0.00001	0.001	0.001	<0.0003	<0.0003	<0.00003

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos				
N°	Codigo de Servicio	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748
	Ensayo	Yb (d)	Zn (t)	Zn (d)	Zr (t)	Zr (d)
	Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	Limite de Detección LD	0.00003	0.001	0.001	0.0001	0.0001
1	ESP-9.0-Fe-1	<0.00003	0.114	0.004	<0.0001	<0.0001
2	ESP-9.0-Fe-2	<0.00003	0.080	0.007	0.0025	0.0001
3	ESP-9.0-Fe-3	<0.00003	0.082	0.003	0.0003	<0.0001
4	ESP-9.0-Fe-4	<0.00003	0.203	0.037	<0.0001	<0.0001

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

INFORME DE ENSAYO

RESULTADOS

Muestras		Ensayos													
N°	Codigo de Servicio Ensayo Unidad Limite de Detección LD	MON0000 Fecha Muestreo	MON0000 Tipo Muestra	MA1000 Nor* WGS-84	MA1000 Est* WGS-84	MA1000 Altitud* msnm	MA1000 Temperatura* °C	MA1000 pH* Unid de pH	MA1000 Conductiv.* µS/cm	MA0174 STS mg/L 5	MA0747 Ag (t) mg/L 0.00001	MA0748 Ag (d) mg/L 0.00001	MA0747 Al (t) mg/L 0.001	MA0748 Al (d) mg/L 0.001	MA0747 As (t) mg/L 0.0001
1	ESP-8.5-AI-1	2023-05-25 14:30	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	11.60	8.33	7050.0	386	0.00001	<0.00001	0.010	0.001	0.0031
2	ESP-8.5-AI-2	2023-05-25 14:35	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	11.50	8.29	6990.0	311	<0.00001	<0.00001	0.015	<0.001	0.0029
3	ESP-8.5-AI-3	2023-05-25 14:40	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	11.40	8.28	6890.0	362	<0.00001	<0.00001	0.016	<0.001	0.0037
4	ESP-8.5-AI-4	2023-05-25 14:45	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	11.60	8.23	6880.0	238	<0.00001	<0.00001	0.018	<0.001	0.0037

Las Coordenadas*, Altitud*, Temperatura*, pH*, Conductiv*, son datos proporcionados por el cliente.
 LD: Límite de Detección (Limite Reportable) que es tomado en base al Límite de Cuantificación del Método LCM.

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748
	Ensayo	As (d)	B (t)	B (d)	Ba (t)	Ba (d)	Be (t)	Be (d)	Bi (t)	Bi (d)	Ca (t)	Ca (d)	Cd (t)	Cd (d)	Ce (t)	Ce (d)	Co (t)	Co (d)	Cr (t)	Cr (d)
	Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	Limite de Deteccion LD	0.0001	0.004	0.004	0.00005	0.00005	0.0003	0.0003	0.00003	0.00003	0.02	0.02	0.00005	0.00005	0.00001	0.00001	0.00009	0.00009	0.0005	0.0005
1	ESP-8.5-AI-1	0.0018	0.014	0.004	0.01611	0.01509	<0.0003	<0.0003	0.00003	<0.00003	661.65	522.24	0.00033	0.00015	0.00002	0.00002	0.00051	0.00050	0.0006	0.0004
2	ESP-8.5-AI-2	0.0022	0.012	0.005	0.01608	0.1502	<0.0003	<0.0003	<0.00003	<0.00003	593.41	479.53	0.00024	0.00010	0.00002	0.00002	0.00049	0.00041	0.0003	0.0001
3	ESP-8.5-AI-3	0.0023	0.014	0.007	0.01629	0.01585	<0.0003	<0.0003	<0.00003	<0.00003	604.89	519.66	0.00051	0.00007	0.00002	0.00002	0.00042	0.00037	0.0010	0.0009
4	ESP-8.5-AI-4	0.0021	0.013	0.005	0.01655	0.01551	<0.0003	<0.0003	<0.00003	<0.00003	654.57	495.03	0.00045	0.00010	0.00001	<0.00001	0.00049	0.00040	0.0013	0.0008

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747
	Ensayo	Cs (t)	Cs (d)	Cu (t)	Cu (d)	Fe (t)	Fe (d)	Ga (t)	Ga (d)	Ge (t)	Ge (d)	Hf (t)	Hf (d)	Hg (t)	Hg (d)	In (t)	In (d)	K (t)	K (d)	La (t)
Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Limite de Deteccion LD	0.00001	0.00001	0.0001	0.0001	0.01	0.01	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.0003	0.0003	0.0001	0.0001	0.00005	0.00005	0.01	0.01	0.00001	
1	ESP-8.5-AI-1	0.05806	0.05579	0.0358	0.0262	0.87	<0.01	<0.00002	<0.00002	0.00011	0.00011	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.00005	<0.00005	6.80	6.22	0.00002
2	ESP-8.5-AI-2	0.05813	0.04650	0.0198	0.0063	0.85	<0.01	0.00009	0.00006	0.00013	0.00011	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.00005	<0.00005	6.13	4.91	0.00001
3	ESP-8.5-AI-3	0.05777	0.05555	0.0243	0.0157	1.01	<0.01	0.00003	0.00002	0.00010	0.00008	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.00005	<0.00005	6.63	6.30	0.00001
4	ESP-8.5-AI-4	0.05980	0.05701	0.0268	0.0160	1.06	<0.01	0.00005	0.00005	0.00006	0.00005	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.00005	<0.00005	6.27	6.06	0.00001

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748
	Ensayo	La (d)	Li (t)	Li (d)	Lu (t)	Lu (d)	Mg (t)	Mg (d)	Mn (t)	Mn (d)	Mo (t)	Mo (d)	Na (t)	Na (d)	Nb (t)	Nb (d)	Ni (t)	Ni (d)	P (t)	P (d)
Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Limite de Detección LD	0.00001	0.0006	0.0006	0.00006	0.00006	0.0003	0.0003	0.00005	0.00005	0.00005	0.00005	0.01	0.01	0.0001	0.0001	0.0005	0.0005	0.001	0.001	
1	ESP-8.5-AI-1	0.00002	0.1303	0.1043	<0.00006	<0.00006	671.1570	296.8846	4.49071	0.07988	0.00043	0.00034	12.86	12.18	<0.0001	<0.0001	0.0007	0.0005	0.023	0.019
2	ESP-8.5-AI-2	<0.00001	0.1323	0.1058	<0.00006	<0.00006	600.8735	455.8988	2.25420	0.05533	0.00061	0.00053	12.44	9.95	<0.0001	<0.0001	0.0006	0.0006	0.006	0.005
3	ESP-8.5-AI-3	<0.00001	0.1249	0.0999	<0.00006	<0.00006	627.6069	422.0855	4.16528	0.10128	0.00042	0.00029	12.78	12.09	<0.0001	<0.0001	0.0006	0.0006	0.022	0.018
4	ESP-8.5-AI-4	<0.00001	0.1235	0.0988	<0.00006	<0.00006	630.7673	408.6138	4.89473	0.03957	0.00039	0.00031	12.46	9.97	<0.0001	<0.0001	0.0007	<0.0005	0.024	0.013

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747
	Ensayo	Pb (t)	Pb (d)	Rb (t)	Rb (d)	S (t)	S (d)	Sb (t)	Sb (d)	Se (t)	Se (d)	Si (t)	Si (d)	SiO2 (t)	SiO2 (d)	SiO3 (t)	SiO3 (d)	Sn (t)	Sn (d)	Sr (t)
Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Límite de Detección LD	0.00005	0.00005	0.00001	0.00001	0.1	0.1	0.0001	0.0001	0.001	0.001	0.03	0.03	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.0001	0.0001	0.0001
1	ESP-8.5-AI-1	0.00022	0.00019	0.04039	0.03728	1267.7	1193.9	0.0005	<0.0001	0.003	0.003	0.25	0.24	0.53	0.52	0.68	0.66	<0.0001	<0.0001	0.8835
2	ESP-8.5-AI-2	0.00021	0.00016	0.03889	0.03111	1531.7	1418.0	<0.0001	<0.0001	0.003	0.003	0.22	0.20	0.47	0.43	0.60	0.54	<0.0001	<0.0001	0.8405
3	ESP-8.5-AI-3	0.00032	0.00019	0.03935	0.03744	1485.1	1439.7	0.0003	0.0003	0.003	0.003	0.18	0.17	0.39	0.37	0.50	0.47	<0.0001	<0.0001	0.8600
4	ESP-8.5-AI-4	0.00049	0.00012	0.03969	0.03825	1574.4	1429.5	0.0001	0.0001	0.003	0.003	0.20	0.19	0.44	0.41	0.55	0.51	<0.0001	<0.0001	0.9669

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																			
N°	Codigo de Servicio	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	
	Ensayo	Sr (d)	Ta (t)	Ta (d)	Tb (t)	Tb (d)	Te (t)	Te (d)	Th (t)	Th (d)	Ti (t)	Ti (d)	Tl (t)	Tl (d)	U (t)	U (d)	V (t)	V (d)	W (t)	W (d)	Yb (t)
	Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	Limite de Detección LD	0.0001	0.00002	0.00002	0.0004	0.0004	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.002	0.002	0.0001	0.0001	0.00001	0.00001	0.001	0.001	0.0003	0.0003	0.00003
1	ESP-8.5-AI-1	0.7161	<0.00002	<0.00002	<0.0004	<0.0004	<0.0001	<0.0001	0.0007	<0.0001	<0.002	<0.002	0.0127	0.0124	0.00001	<0.00001	<0.001	<0.001	<0.0003	<0.0003	<0.00003
2	ESP-8.5-AI-2	0.7920	<0.00002	<0.00002	<0.0004	<0.0004	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.002	<0.002	0.0133	0.0124	0.00008	0.00004	0.002	0.001	<0.0003	<0.0003	<0.00003
3	ESP-8.5-AI-3	0.7035	<0.00002	<0.00002	<0.0004	<0.0004	<0.0001	<0.0001	0.0008	<0.0001	<0.002	<0.002	0.0132	0.0105	<0.00001	<0.00001	0.001	<0.001	<0.0003	<0.0003	<0.00003
4	ESP-8.5-AI-4	0.7337	<0.00002	<0.00002	<0.0004	<0.0004	<0.0001	<0.0001	0.0005	<0.0001	<0.002	<0.002	0.0138	0.0132	0.00001	<0.00001	0.001	<0.001	<0.0003	<0.0003	<0.00003

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos				
N°	Codigo de Servicio	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748
	Ensayo	Yb (d)	Zn (t)	Zn (d)	Zr (t)	Zr (d)
	Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	Limite de Detección LD	0.00003	0.001	0.001	0.0001	0.0001
1	ESP-8.5-AI-1	<0.00003	0.208	0.063	<0.0001	<0.0001
2	ESP-8.5-AI-2	0.00004	0.105	0.007	0.0001	0.0001
3	ESP-8.5-AI-3	<0.00003	0.137	0.003	<0.0001	<0.0001
4	ESP-8.5-AI-4	<0.00003	0.148	0.003	<0.0001	<0.0001

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

INFORME DE ENSAYO

RESULTADOS

Muestras		Ensayos													
N°	Codigo de Servicio Ensayo Unidad Limite de Detección LD	MON0000 Fecha Muestreo	MON0000 Tipo Muestra	MA1000 Nor* WGS-84	MA1000 Est* WGS-84	MA1000 Altitud* msnm	MA1000 Temperatura* °C	MA1000 pH* Unid de pH	MA1000 Conductiv.* µS/cm	MA0174 STS mg/L 5	MA0747 Ag (t) mg/L 0.00001	MA0748 Ag (d) mg/L 0.00001	MA0747 Al (t) mg/L 0.001	MA0748 Al (d) mg/L 0.001	MA0747 As (t) mg/L 0.0001
1	ESP-8.5-Fe-1	2023-05-25 15:05	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	11.50	7.35	7400.0	230	0.00028	0.00022	0.019	0.009	0.0037
2	ESP-8.5-Fe-2	2023-05-25 15:10	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	11.40	7.14	7340.0	363	0.00018	0.00014	0.015	0.012	0.0028
3	ESP-8.5-Fe-3	2023-05-25 15:15	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	11.40	7.15	6980.0	221	0.00013	0.00011	0.023	0.013	0.0038
4	ESP-8.5-Fe-4	2023-05-25 15:20	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	11.50	7.05	6940.0	174	0.00004	0.00004	0.031	0.025	0.0038

Las Coordenadas*, Altitud*, Temperatura*, pH*, Conductiv*, son datos proporcionados por el cliente.
 LD: Límite de Detección (Limite Reportable) que es tomado en base al Límite de Cuantificación del Método LCM.

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748
	Ensayo	As (d)	B (t)	B (d)	Ba (t)	Ba (d)	Be (t)	Be (d)	Bi (t)	Bi (d)	Ca (t)	Ca (d)	Cd (t)	Cd (d)	Ce (t)	Ce (d)	Co (t)	Co (d)	Cr (t)	Cr (d)
Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Limite de Detección LD	0.0001	0.004	0.004	0.00005	0.00005	0.0003	0.0003	0.00003	0.00003	0.02	0.02	0.00005	0.00005	0.00001	0.00001	0.00009	0.00009	0.0005	0.0005	
1	ESP-8.5-Fe-1	00037	0.015	0.011	0.01614	0.02475	<0.0003	<0.0003	<0.00003	<0.00003	577.94	542.06	0.00037	0.00025	0.00004	0.00003	0.000420	0.00187	0.0015	0.0015
2	ESP-8.5-Fe-2	0.0016	0.014	0.009	0.01608	0.01745	<0.0003	<0.0003	<0.00003	<0.00003	607.67	476.34	0.00027	0.00016	0.00010	0.00009	0.000370	0.00154	0.0016	0.0016
3	ESP-8.5-Fe-3	0.0012	0.014	0.009	0.01615	0.01780	<0.0003	<0.0003	<0.00003	<0.00003	532.20	468.75	0.00141	0.00120	0.00003	0.00003	0.000415	0.00114	0.0015	0.0015
4	ESP-8.5-Fe-4	0.0013	0.015	0.012	0.01650	0.02190	<0.0003	<0.0003	<0.00003	<0.00003	542.89	513.57	0.00051	0.00041	0.00004	0.00003	0.000465	0.00188	0.0016	0.0016

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747
	Ensayo	Cs (t)	Cs (d)	Cu (t)	Cu (d)	Fe (t)	Fe (d)	Ga (t)	Ga (d)	Ge (t)	Ge (d)	Hf (t)	Hf (d)	Hg (t)	Hg (d)	In (t)	In (d)	K (t)	K (d)	La (t)
Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Limite de Detección LD	0.00001	0.00001	0.0001	0.0001	0.01	0.01	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.0003	0.0003	0.0001	0.0001	0.00005	0.00005	0.01	0.01	0.00001	
1	ESP-8.5-Fe-1	0.06330	0.06278	0.0583	0.0227	1.05	0.02	0.00081	0.00081	<0.00002	<0.00002	0.0005	0.0004	<0.0001	<0.0001	<0.00005	<0.00005	5.82	5.67	0.00004
2	ESP-8.5-Fe-2	0.06353	0.06131	0.0501	0.0104	1.34	0.01	0.00099	0.00093	0.00036	0.00019	0.0005	0.0004	<0.0001	<0.0001	<0.00005	<0.00005	6.37	6.04	0.00006
3	ESP-8.5-Fe-3	0.06323	0.06271	0.0506	0.0287	0.96	0.01	0.00098	0.00085	0.00004	<0.00002	0.0003	0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.00005	<0.00005	5.70	5.51	0.00002
4	ESP-8.5-Fe-4	0.06409	0.05127	0.0559	0.0261	1.01	0.02	0.00063	0.00055	0.00009	0.00004	0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.00005	<0.00005	5.74	5.59	0.00005

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748
	Ensayo	La (d)	Li (t)	Li (d)	Lu (t)	Lu (d)	Mg (t)	Mg (d)	Mn (t)	Mn (d)	Mo (t)	Mo (d)	Na (t)	Na (d)	Nb (t)	Nb (d)	Ni (t)	Ni (d)	P (t)	P (d)
Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Limite de Detección LD	0.00001	0.00006	0.00006	0.00006	0.00006	0.00006	0.00003	0.00003	0.00005	0.00005	0.00005	0.00005	0.01	0.01	0.0001	0.0001	0.0005	0.0005	0.0005	0.001
1	ESP-8.5-Fe-1	0.00002	0.1266	0.1130	<0.00006	<0.00006	637.5591	634.8472	22.21556	17.94955	0.00099	0.00092	13.00	12.51	0.0005	0.0005	0.00080	0.0006	0.025	0.016
2	ESP-8.5-Fe-2	0.00001	0.1248	0.1179	<0.00006	<0.00006	633.9026	723.2146	8.50960	3.20769	0.00045	0.00036	12.99	12.86	0.0007	0.0006	0.00070	0.0006	0.036	0.022
3	ESP-8.5-Fe-3	0.00001	0.1255	0.1113	<0.00006	<0.00006	680.4023	615.4818	25.22639	15.93454	0.00029	0.00028	13.08	12.26	0.0003	0.0003	0.00090	0.0008	0.024	0.021
4	ESP-8.5-Fe-4	0.00005	0.1256	0.1146	<0.00006	<0.00006	689.7692	615.0153	26.54048	19.42999	0.00036	0.00029	13.16	12.48	0.0002	0.0001	0.00075	0.0006	0.014	0.014

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																				
N°	Codigo de Servicio	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	
	Ensayo	Pb (t)	Pb (d)	Rb (t)	Rb (d)	S (t)	S (d)	Sb (t)	Sb (d)	Se (t)	Se (d)	Si (t)	Si (d)	SiO2 (t)	SiO2 (d)	SiO3 (t)	SiO3 (d)	Sn (t)	Sn (d)	Sr (t)	Sr (d)	
Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Limite de Detección LD	0.00005	0.00005	0.00001	0.00001	0.1	0.1	0.0001	0.0001	0.001	0.001	0.03	0.03	0.06	0.06	0.07	0.07	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
1	ESP-8.5-Fe-1	0.00113	0.00055	0.04154	0.04153	1999.3	1911.7	0.0010	0.0008	0.003	0.003	0.33	0.26	0.71	0.56	0.89	0.72	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	1.0179
2	ESP-8.5-Fe-2	0.00051	0.00033	0.04203	0.03362	2087.5	1888.0	0.0009	0.0007	0.003	0.003	0.45	0.36	0.97	0.78	1.23	0.98	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	1.0336
3	ESP-8.5-Fe-3	0.00088	0.00055	0.04183	0.04158	1933.6	1885.6	0.0007	0.0006	0.003	0.003	0.38	0.37	0.81	0.80	1.02	1.01	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	1.0418
4	ESP-8.5-Fe-4	0.00098	0.00045	0.04153	0.03322	1879.8	1833.3	0.0006	0.0005	0.003	0.003	0.31	0.25	0.66	0.53	0.84	0.67	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	1.0159

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																			
N°	Codigo de Servicio	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	
	Ensayo	Sr (d)	Ta (t)	Ta (d)	Tb (t)	Tb (d)	Te (t)	Te (d)	Th (t)	Th (d)	Ti (t)	Ti (d)	Tl (t)	Tl (d)	U (t)	U (d)	V (t)	V (d)	W (t)	W (d)	Yb (t)
Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Limite de Detección LD	0.0001	0.00002	0.00002	0.0004	0.0004	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.002	0.002	0.0001	0.0001	0.00001	0.00001	0.001	0.001	0.0003	0.0003	0.00003
1	ESP-8.5-Fe-1	0.9175	0.00004	0.00003	<0.0004	<0.0004	<0.0001	<0.0001	0.0018	0.0018	<0.002	<0.002	0.0096	0.0088	<0.00001	<0.00001	<0.001	<0.001	<0.0003	<0.0003	<0.00003
2	ESP-8.5-Fe-2	0.9310	0.00020	0.00015	<0.0004	<0.0004	0.0009	0.0005	0.0012	0.0010	<0.002	<0.002	0.0101	0.0101	0.00008	0.00002	<0.001	<0.001	0.0003	<0.0003	0.00003
3	ESP-8.5-Fe-3	0.9379	<0.00002	<0.00002	<0.0004	<0.0004	0.0001	<0.0001	0.0010	0.0008	<0.002	<0.002	0.0101	0.0097	0.00002	<0.00001	<0.001	<0.001	<0.0003	<0.0003	<0.00003
4	ESP-8.5-Fe-4	0.9128	<0.00002	<0.00002	<0.0004	<0.0004	<0.0001	<0.0001	0.0007	0.0007	<0.002	<0.002	0.0090	0.0088	0.00004	<0.00001	<0.001	<0.001	<0.0003	<0.0003	<0.00003

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos				
N°	Codigo de Servicio	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748
	Ensayo	Yb (d)	Zn (t)	Zn (d)	Zr (t)	Zr (d)
	Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	Limite de Detección LD	0.00003	0.001	0.001	0.0001	0.0001
1	ESP-8.5-Fe-1	<0.00003	0.176	0.080	0.0001	<0.0001
2	ESP-8.5-Fe-2	0.00003	0.121	0.105	0.0002	0.0001
3	ESP-8.5-Fe-3	<0.00003	0.129	0.043	0.0001	<0.0001
4	ESP-8.5-Fe-4	<0.00003	0.176	0.121	0.0001	0.0001

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

INFORME DE ENSAYO

RESULTADOS

Muestras		Ensayos													
N°	Codigo de Servicio Ensayo Unidad Limite de Detección LD	MON0000 Fecha Muestreo	MON0000 Tipo Muestra	MA1000 Nor* WGS-84	MA1000 Est* WGS-84	MA1000 Altitud* msnm	MA1000 Temperatura* °C	MA1000 pH* Unid de pH	MA1000 Conductiv.* µS/cm	MA0174 STS mg/L 5	MA0747 Ag (t) mg/L 0.00001	MA0748 Ag (d) mg/L 0.00001	MA0747 Al (t) mg/L 0.001	MA0748 Al (d) mg/L 0.001	MA0747 As (t) mg/L 0.0001
1	ESP-7.5-AI-1	2023-05-26 14:30	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	12.1	6.80	7820	316	0.00001	<0.00001	0.063	<0.001	0.0027
2	ESP-7.5-AI-2	2023-05-26 14:35	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	12.1	6.60	7400	132	0.00001	0.00001	0.075	0.010	0.0026
3	ESP-7.5-AI-3	2023-05-26 14:40	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	12.4	6.58	7350	341	<0.00001	<0.00001	0.078	0.054	0.0029
4	ESP-7.5-AI-4	2023-05-26 14:45	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	12.2	6.50	7100	271	<0.00001	<0.00001	0.084	0.034	0.0030

Las Coordenadas*, Altitud*, Temperatura*, pH*, Conductiv.*: son datos proporcionados por el cliente.
 LD: Límite de Detección (Limite Reportable) que es tomado en base al Límite de Cuantificación del Método LCM.

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748
	Ensayo	As (d)	B (t)	B (d)	Ba (t)	Ba (d)	Be (t)	Be (d)	Bi (t)	Bi (d)	Ca (t)	Ca (d)	Cd (t)	Cd (d)	Ce (t)	Ce (d)	Co (t)	Co (d)	Cr (t)	Cr (d)
	Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	Limite de Detección LD	0.0001	0.004	0.004	0.00005	0.00005	0.0003	0.0003	0.00003	0.00003	0.02	0.02	0.00005	0.00005	0.00001	0.00001	0.00009	0.00009	0.0005	0.0005
1	ESP-7.5-AI-1	0.0012	0.022	0.007	0.01911	0.01529	<0.0003	<0.0003	<0.00003	<0.00003	575.93	511.57	0.00563	0.00410	0.00004	0.00003	0.00073	0.00056	0.0012	0.0010
2	ESP-7.5-AI-2	0.0014	0.021	0.009	0.01957	0.01566	<0.0003	<0.0003	<0.00003	<0.00003	582.02	521.23	0.00503	0.00430	0.00006	0.00005	0.00071	0.00062	0.0012	0.0010
3	ESP-7.5-AI-3	0.0011	0.022	0.006	0.01975	0.01738	<0.0003	<0.0003	<0.00003	<0.00003	586.47	483.47	0.00561	0.00449	0.00003	0.00003	0.00072	0.00062	0.0013	0.0011
4	ESP-7.5-AI-4	0.0014	0.023	0.005	0.01991	0.01593	<0.0003	<0.0003	<0.00003	<0.00003	621.62	449.48	0.00582	0.00439	0.00003	0.00002	0.00075	0.00053	0.0019	0.0014

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio Ensayo Unidad Limite de Detección LD	MA0747 Cs (t) mg/L 0.00001	MA0748 Cs (d) mg/L 0.00001	MA0747 Cu (t) mg/L 0.0001	MA0748 Cu (d) mg/L 0.0001	MA0747 Fe (t) mg/L 0.01	MA0748 Fe (d) mg/L 0.01	MA0747 Ga (t) mg/L 0.00002	MA0748 Ga (d) mg/L 0.00002	MA0747 Ge (t) mg/L 0.00002	MA0748 Ge (d) mg/L 0.00002	MA0747 Hf (t) mg/L 0.0003	MA0748 Hf (d) mg/L 0.0003	MA0747 Hg (t) mg/L 0.0001	MA0748 Hg (d) mg/L 0.0001	MA0747 In (t) mg/L 0.00005	MA0748 In (d) mg/L 0.00005	MA0747 K (t) mg/L 0.01	MA0748 K (d) mg/L 0.01	MA0747 La (t) mg/L 0.00001
1	ESP-7.5-AI-1	0.06079	0.05820	0.0419	0.0078	5.03	1.55	0.00026	0.00026	<0.00002	<0.00002	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.00005	<0.00005	5.54	4.43	0.00001
2	ESP-7.5-AI-2	0.05987	0.05775	0.0389	0.0066	4.88	1.23	0.00034	0.00027	<0.00002	<0.00002	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.00005	<0.00005	5.83	5.81	0.00001
3	ESP-7.5-AI-3	0.05866	0.05732	0.0411	0.0089	5.08	1.30	0.00039	0.00029	<0.00002	<0.00002	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.00005	<0.00005	5.36	5.09	0.00001
4	ESP-7.5-AI-4	0.05990	0.05939	0.0498	0.0083	5.09	1.24	0.00023	0.00022	<0.00002	<0.00002	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.00005	<0.00005	5.31	5.22	0.00002

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748
	Ensayo	La (d)	Li (t)	Li (d)	Lu (t)	Lu (d)	Mg (t)	Mg (d)	Mn (t)	Mn (d)	Mo (t)	Mo (d)	Na (t)	Na (d)	Nb (t)	Nb (d)	Ni (t)	Ni (d)	P (t)	P (d)
Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Limite de Detección LD	0.00001	0.00006	0.00006	0.00006	0.00006	0.00006	0.00003	0.00003	0.00005	0.00005	0.00005	0.00005	0.01	0.01	0.0001	0.0001	0.00005	0.00005	0.001	0.001
1	ESP-7.5-AI-1	0.00001	0.1317	0.1012	<0.00006	<0.00006	877.0902	660.3350	66.42560	54.00660	0.00029	0.00013	12.75	12.69	0.0001	<0.0001	0.0014	0.0013	0.012	0.010
2	ESP-7.5-AI-2	0.00001	0.1326	0.1097	<0.00006	<0.00006	825.4188	646.5826	54.18570	49.75874	0.00007	0.00006	12.66	12.39	<0.0001	<0.0001	0.0016	0.0014	0.005	0.002
3	ESP-7.5-AI-3	0.00001	0.1329	0.1063	<0.00006	<0.00006	840.6910	696.5528	62.56791	50.05433	0.00011	0.00009	12.67	12.56	<0.0001	<0.0001	0.0013	0.0010	0.017	0.003
4	ESP-7.5-AI-4	0.00002	0.1375	0.1038	<0.00006	<0.00006	849.0400	636.9095	63.28312	45.42553	0.00015	0.00012	12.94	11.98	<0.0001	<0.0001	0.0013	0.0012	0.026	0.014

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747
	Ensayo	Pb (t)	Pb (d)	Rb (t)	Rb (d)	S (t)	S (d)	Sb (t)	Sb (d)	Se (t)	Se (d)	Si (t)	Si (d)	SiO2 (t)	SiO2 (d)	SiO3 (t)	SiO3 (d)	Sn (t)	Sn (d)	Sr (t)
Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Limite de Detección LD	0.00005	0.00005	0.00001	0.00001	0.1	0.1	0.0001	0.0001	0.001	0.001	0.001	0.03	0.03	0.06	0.06	0.07	0.07	0.0001	0.0001	0.0001
1	ESP-7.5-AI-1	0.00084	0.00067	0.03779	0.03023	1651.0	1320.8	0.0004	0.0003	0.003	0.003	0.21	0.17	0.45	0.36	0.57	0.46	<0.0001	<0.0001	0.8996
2	ESP-7.5-AI-2	0.00020	<0.00005	0.03911	0.03787	1719.8	1678.6	0.0003	0.0002	0.003	0.003	0.23	0.19	0.50	0.40	0.63	0.50	<0.0001	<0.0001	0.9016
3	ESP-7.5-AI-3	0.00060	0.00056	0.03829	0.03063	1738.9	1654.6	0.0002	0.0002	0.003	0.002	0.22	0.21	0.47	0.46	0.60	0.58	<0.0001	<0.0001	0.9540
4	ESP-7.5-AI-4	0.00133	0.00106	0.03896	0.03804	1694.5	1576.1	0.0003	0.0002	0.003	0.002	0.19	0.15	0.41	0.32	0.51	0.41	<0.0001	<0.0001	0.8961

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																			
N°	Codigo de Servicio Ensayo Unidad Limite de Detección LD	MA0748 Sr (d) mg/L	MA0747 Ta (t) mg/L	MA0748 Ta (d) mg/L	MA0747 Tb (t) mg/L	MA0748 Tb (d) mg/L	MA0747 Te (t) mg/L	MA0748 Te (d) mg/L	MA0747 Th (t) mg/L	MA0748 Th (d) mg/L	MA0747 Ti (t) mg/L	MA0748 Ti (d) mg/L	MA0747 Tl (t) mg/L	MA0748 Tl (d) mg/L	MA0747 U (t) mg/L	MA0748 U (d) mg/L	MA0747 V (t) mg/L	MA0748 V (d) mg/L	MA0747 W (t) mg/L	MA0748 W (d) mg/L	MA0747 Yb (t) mg/L
		0.0001	0.00002	0.00002	0.0004	0.0004	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.002	0.002	0.0001	0.0001	0.00001	0.00001	0.001	0.001	0.0003	0.0003	0.00003
1	ESP-7.5-AI-1	0.8287	<0.00002	<0.00002	<0.0004	<0.0004	<0.0001	<0.0001	0.0004	0.0003	<0.002	<0.002	0.0129	0.0127	<0.00001	<0.00001	<0.001	<0.001	<0.0003	<0.0003	<0.00003
2	ESP-7.5-AI-2	0.8599	<0.00002	<0.00002	<0.0004	<0.0004	<0.0001	<0.0001	0.0004	0.0003	<0.002	<0.002	0.0129	0.0127	0.00007	<0.00001	<0.001	<0.001	<0.0003	<0.0003	<0.00003
3	ESP-7.5-AI-3	0.8036	<0.00002	<0.00002	<0.0004	<0.0004	<0.0001	<0.0001	0.0003	0.0003	<0.002	<0.002	0.0133	0.0132	<0.00001	<0.00001	<0.001	<0.001	<0.0003	<0.0003	<0.00003
4	ESP-7.5-AI-4	0.7848	<0.00002	<0.00002	<0.0004	<0.0004	<0.0001	<0.0001	0.0002	0.0002	<0.002	<0.002	0.0132	0.0120	<0.00001	<0.00001	<0.001	<0.001	<0.0003	<0.0003	<0.00003

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos				
N°	Codigo de Servicio	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748
	Ensayo	Yb (d)	Zn (t)	Zn (d)	Zr (t)	Zr (d)
	Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	Limite de Detección LD	0.00003	0.001	0.001	0.0001	0.0001
1	ESP-7.5-AI-1	<0.00003	2.358	1.020	<0.0001	<0.0001
2	ESP-7.5-AI-2	<0.00003	1.982	1.111	0.0001	0.0001
3	ESP-7.5-AI-3	<0.00003	2.208	1.049	<0.0001	<0.0001
4	ESP-7.5-AI-4	<0.00003	2.380	1.267	<0.0001	<0.0001

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

INFORME DE ENSAYO

RESULTADOS

Muestras		Ensayos													
N°	Codigo de Servicio Ensayo Unidad Limite de Detección LD	MON0000 Fecha Muestreo	MON0000 Tipo Muestra	MA1000 Nor* WGS-84	MA1000 Est* WGS-84	MA1000 Altitud* msnm	MA1000 Temperatura* °C	MA1000 pH* Unid de pH	MA1000 Conductiv.* µS/cm	MA0174 STS mg/L 5	MA0747 Ag (t) mg/L 0.00001	MA0748 Ag (d) mg/L 0.00001	MA0747 Al (t) mg/L 0.001	MA0748 Al (d) mg/L 0.001	MA0747 As (t) mg/L 0.0001
1	ESP-7.5-Fe-1	2023-05-26 15:05	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	12.2	6.32	7500	175	0.00031	0.00031	0.048	<0.001	0.0034
2	ESP-7.5-Fe-2	2023-05-26 15:10	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	12.4	6.19	7360	266	0.00001	0.00001	0.044	<0.001	0.0026
3	ESP-7.5-Fe-3	2023-05-26 15:15	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	12.3	6.16	7250	210	0.00012	0.00012	0.045	<0.001	0.0026
4	ESP-7.5-Fe-4	2023-05-26 15:20	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	12.3	6.16	7100	430	0.00013	0.00010	0.049	<0.001	0.0030

Las Coordenadas*, Altitud*, Temperatura*, pH*, Conductiv.*: son datos proporcionados por el cliente.
LD: Límite de Detección (Limite Reportable) que es tomado en base al Límite de Cuantificación del Método LCM.

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748
	Ensayo	As (d)	B (t)	B (d)	Ba (t)	Ba (d)	Be (t)	Be (d)	Bi (t)	Bi (d)	Ca (t)	Ca (d)	Cd (t)	Cd (d)	Ce (t)	Ce (d)	Co (t)	Co (d)	Cr (t)	Cr (d)
Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Limite de Detección LD	0.0001	0.004	0.004	0.00005	0.00005	0.0003	0.0003	0.00003	0.00003	0.02	0.02	0.00005	0.00005	0.00001	0.00001	0.00009	0.00009	0.0005	0.0005	
1	ESP-7.5-Fe-1	0.0010	0.020	0.012	0.01949	0.01719	<0.0003	<0.0003	<0.00003	<0.00003	666.27	470.81	0.00503	0.00293	0.00005	0.00003	0.00063	0.00053	0.0022	0.0016
2	ESP-7.5-Fe-2	0.0013	0.020	0.014	0.01946	0.01752	<0.0003	<0.0003	<0.00003	<0.00003	653.51	510.55	0.00409	0.00205	0.00002	<0.00001	0.00071	0.00064	0.0021	0.0019
3	ESP-7.5-Fe-3	0.0006	0.022	0.011	0.01955	0.01784	<0.0003	<0.0003	<0.00003	<0.00003	577.81	476.27	0.00500	0.00369	0.00004	0.00004	0.00063	0.00044	0.0021	0.0017
4	ESP-7.5-Fe-4	0.0008	0.023	0.010	0.01951	0.01773	<0.0003	<0.0003	<0.00003	<0.00003	577.66	459.93	0.00580	0.00388	0.00005	0.00002	0.00084	0.00080	0.0024	0.0022

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747
	Ensayo	Cs (t)	Cs (d)	Cu (t)	Cu (d)	Fe (t)	Fe (d)	Ga (t)	Ga (d)	Ge (t)	Ge (d)	Hf (t)	Hf (d)	Hg (t)	Hg (d)	In (t)	In (d)	K (t)	K (d)	La (t)
Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Limite de Detección LD	0.00001	0.00001	0.0001	0.0001	0.01	0.01	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.0003	0.0003	0.0001	0.0001	0.00005	0.00005	0.01	0.01	0.00001	
1	ESP-7.5-Fe-1	0.06021	0.05916	0.0744	0.0065	1.90	0.02	0.00030	0.00025	<0.00002	<0.00002	0.0005	0.0004	<0.0001	<0.0001	<0.00005	<0.00005	5.31	4.25	0.00002
2	ESP-7.5-Fe-2	0.05932	0.05532	0.0653	0.0087	1.13	0.02	0.00037	0.00029	<0.00002	<0.00002	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.00005	<0.00005	5.80	5.75	0.00001
3	ESP-7.5-Fe-3	0.05830	0.05690	0.0687	0.0061	1.16	0.02	0.00032	0.00031	<0.00002	<0.00002	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.00005	<0.00005	5.44	5.20	0.00004
4	ESP-7.5-Fe-4	0.05647	0.05442	0.0716	0.0066	1.21	<0.01	0.00040	0.00031	<0.00002	<0.00002	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.00005	<0.00005	4.93	4.73	0.00003

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio Ensayo Unidad	MA0748 La (d) mg/L	MA0747 Li (t) mg/L	MA0748 Li (d) mg/L	MA0747 Lu (t) mg/L	MA0748 Lu (d) mg/L	MA0747 Mg (t) mg/L	MA0748 Mg (d) mg/L	MA0747 Mn (t) mg/L	MA0748 Mn (d) mg/L	MA0747 Mo (t) mg/L	MA0748 Mo (d) mg/L	MA0747 Na (t) mg/L	MA0748 Na (d) mg/L	MA0747 Nb (t) mg/L	MA0748 Nb (d) mg/L	MA0747 Ni (t) mg/L	MA0748 Ni (d) mg/L	MA0747 P (t) mg/L	MA0748 P (d) mg/L
	Limite de Detección LD	0.00001	0.0006	0.0006	0.00006	0.00006	0.0003	0.0003	0.00005	0.00005	0.00005	0.00005	0.01	0.01	0.0001	0.0001	0.0005	0.0005	0.001	0.001
1	ESP-7.5-Fe-1	0.00002	0.1309	0.1149	<0.00006	<0.00006	813.2130	791.6772	64.14902	41.09914	0.00028	0.00022	11.64	9.31	0.0004	0.0003	0.0011	0.0009	0.026	0.013
2	ESP-7.5-Fe-2	<0.00001	0.1313	0.1279	<0.00006	<0.00006	809.2769	828.7961	53.56275	40.72932	0.00008	0.00006	13.06	12.99	0.0003	<0.0001	0.0015	0.0012	0.036	0.022
3	ESP-7.5-Fe-3	0.00004	0.1341	0.1258	<0.00006	<0.00006	867.3990	808.2238	60.32579	56.62825	0.00029	0.00023	12.28	12.22	0.0002	0.0002	0.0014	0.0010	0.025	0.024
4	ESP-7.5-Fe-4	<0.00001	0.1375	0.1293	<0.00006	<0.00006	869.3318	807.3741	63.02980	50.13906	0.00040	0.00032	11.88	11.27	0.0003	0.0001	0.0015	0.0013	0.020	0.017

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747
	Ensayo	Pb (t)	Pb (d)	Rb (t)	Rb (d)	S (t)	S (d)	Sb (t)	Sb (d)	Se (t)	Se (d)	Si (t)	Si (d)	SiO2 (t)	SiO2 (d)	SiO3 (t)	SiO3 (d)	Sn (t)	Sn (d)	Sr (t)
Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Limite de Detección LD	0.00005	0.00005	0.00001	0.00001	0.1	0.1	0.0001	0.0001	0.001	0.001	0.03	0.03	0.06	0.06	0.07	0.07	0.0001	0.0001	0.0001	
1	ESP-7.5-Fe-1	0.00165	0.00132	0.03831	0.03831	1661.6	1550.4	0.0011	0.0009	0.003	0.003	0.20	0.16	0.42	0.34	0.54	0.43	0.0001	<0.0001	0.9968
2	ESP-7.5-Fe-2	0.00081	<0.00005	0.03853	0.03082	1799.3	1712.1	0.0003	0.0002	0.003	0.003	0.24	0.19	0.52	0.41	0.65	0.52	<0.0001	<0.0001	0.9094
3	ESP-7.5-Fe-3	0.00086	0.00062	0.03759	0.03693	1669.0	1515.8	0.0007	0.0005	0.003	0.003	0.22	0.18	0.48	0.38	0.60	0.48	<0.0001	<0.0001	0.9374
4	ESP-7.5-Fe-4	0.00094	0.00075	0.03702	0.03494	1672.9	1597.8	0.0004	0.0003	0.003	0.003	0.24	0.19	0.51	0.41	0.65	0.52	<0.0001	<0.0001	0.8934

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																			
N°	Codigo de Servicio	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	
	Ensayo	Sr (d)	Ta (t)	Ta (d)	Tb (t)	Tb (d)	Te (t)	Te (d)	Th (t)	Th (d)	Ti (t)	Ti (d)	Tl (t)	Tl (d)	U (t)	U (d)	V (t)	V (d)	W (t)	W (d)	Yb (t)
Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Limite de Detección LD	0.0001	0.00002	0.00002	0.0004	0.0004	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.002	0.002	0.0001	0.0001	0.00001	0.00001	0.001	0.001	0.0003	0.0003	0.00003
1	ESP-7.5-Fe-1	0.8126	<0.00002	<0.00002	<0.0004	<0.0004	0.0001	<0.0001	0.0014	0.0011	<0.002	<0.002	0.0132	0.0127	<0.00001	<0.00001	<0.001	<0.001	<0.0003	<0.0003	<0.00003
2	ESP-7.5-Fe-2	0.8094	0.00026	<0.00002	<0.0004	<0.0004	<0.0001	<0.0001	0.0003	0.0003	<0.002	<0.002	0.0126	0.0124	0.00007	0.00002	<0.001	<0.001	<0.0003	<0.0003	0.00004
3	ESP-7.5-Fe-3	0.8047	0.00002	<0.00002	<0.0004	<0.0004	<0.0001	<0.0001	0.0008	0.0007	<0.002	<0.002	0.0131	0.0126	0.00004	<0.00001	<0.001	<0.001	<0.0003	<0.0003	<0.00003
4	ESP-7.5-Fe-4	0.8304	<0.00002	<0.00002	<0.0004	<0.0004	<0.0001	<0.0001	0.0005	0.0005	<0.002	<0.002	0.0132	0.0126	<0.00001	<0.00001	<0.001	<0.001	<0.0003	<0.0003	<0.00003

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos				
N°	Codigo de Servicio	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748
	Ensayo	Yb (d)	Zn (t)	Zn (d)	Zr (t)	Zr (d)
	Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	Limite de Detección LD	0.00003	0.001	0.001	0.0001	0.0001
1	ESP-7.5-Fe-1	<0.00003	0.298	0.139	0.0001	0.0001
2	ESP-7.5-Fe-2	0.00003	0.292	0.236	0.0001	0.0001
3	ESP-7.5-Fe-3	<0.00003	0.312	0.257	0.0001	0.0001
4	ESP-7.5-Fe-4	<0.00003	0.346	0.294	<0.0001	<0.0001

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

INFORME DE ENSAYO

RESULTADOS

Muestras		Ensayos													
N°	Codigo de Servicio Ensayo Unidad Limite de Detección LD	MON0000 Fecha Muestreo	MON0000 Tipo Muestra	MA1000 Nor* WGS-84	MA1000 Est* WGS-84	MA1000 Altitud* msnm	MA1000 Temperatura* °C	MA1000 pH* Unid de pH	MA1000 Conductiv.* µS/cm	MA0174 STS mg/L 5	MA0747 Ag (t) mg/L 0.00001	MA0748 Ag (d) mg/L 0.00001	MA0747 Al (t) mg/L 0.001	MA0748 Al (d) mg/L 0.001	MA0747 As (t) mg/L 0.0001
1	ESP-8.0-AI-1	2023-05-26 14:30	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	12.3	7.21	7150	309	0.00056	0.00025	0.039	0.023	0.0049
2	ESP-8.0-AI-2	2023-05-26 14:35	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	12.1	6.90	7300	354	0.00123	0.00043	0.040	0.021	0.0045
3	ESP-8.0-AI-3	2023-05-26 14:40	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	12.4	6.82	6950	406	0.00042	0.00025	0.038	0.026	0.0048
4	ESP-8.0-AI-4	2023-05-26 14:45	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	12.2	6.70	6900	344	0.00027	0.00017	0.037	0.030	0.0051

Las Coordenadas*, Altitud*, Temperatura*, pH*, Conductiv.*: son datos proporcionados por el cliente.
 LD: Límite de Detección (Limite Reportable) que es tomado en base al Límite de Cuantificación del Método LCM.

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748
	Ensayo	As (d)	B (t)	B (d)	Ba (t)	Ba (d)	Be (t)	Be (d)	Bi (t)	Bi (d)	Ca (t)	Ca (d)	Cd (t)	Cd (d)	Ce (t)	Ce (d)	Co (t)	Co (d)	Cr (t)	Cr (d)
Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Limite de Detección LD	0.0001	0.004	0.004	0.00005	0.00005	0.0003	0.0003	0.00003	0.00003	0.02	0.02	0.00005	0.00005	0.00001	0.00001	0.00009	0.00009	0.0005	0.0005	
1	ESP-8.0-AI-1	0.0018	0.023	0.021	0.01668	0.01454	<0.0003	<0.0003	<0.00003	<0.00003	635.66	510.99	0.00252	0.00204	0.00011	<0.00001	0.00092	0.00065	0.0005	0.0003
2	ESP-8.0-AI-2	0.0010	0.022	0.022	0.01842	0.01614	<0.0003	<0.0003	<0.00003	<0.00003	610.29	507.91	0.00218	0.00197	0.00016	<0.00001	0.00082	0.00061	0.0004	0.0002
3	ESP-8.0-AI-3	0.0016	0.021	0.005	0.01993	0.01895	<0.0003	<0.0003	<0.00003	<0.00003	626.11	496.47	0.00308	0.00171	0.00010	<0.00001	0.00087	0.00057	0.0009	0.0005
4	ESP-8.0-AI-4	0.0016	0.021	0.020	0.01998	0.01774	<0.0003	<0.0003	<0.00003	<0.00003	632.94	491.84	0.00363	0.00117	0.00001	<0.00001	0.00066	0.00050	0.0016	0.0013

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747
	Ensayo	Cs (t)	Cs (d)	Cu (t)	Cu (d)	Fe (t)	Fe (d)	Ga (t)	Ga (d)	Ge (t)	Ge (d)	Hf (t)	Hf (d)	Hg (t)	Hg (d)	In (t)	In (d)	K (t)	K (d)	La (t)
	Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	Límite de Detección LD	0.00001	0.00001	0.0001	0.0001	0.01	0.01	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.0003	0.0003	0.0001	0.0001	0.00005	0.00005	0.01	0.01	0.00001
1	ESP-8.0-AI-1	0.06063	0.04850	0.0360	0.0160	0.95	0.04	0.00071	0.00043	<0.00002	<0.00002	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	0.00010	<0.00005	5.52	4.41	0.00010
2	ESP-8.0-AI-2	0.06157	0.04926	0.0206	0.0108	0.93	0.02	0.00068	0.00053	0.00014	<0.00002	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	0.00014	<0.00005	5.79	4.63	0.00015
3	ESP-8.0-AI-3	0.06268	0.06249	0.0257	0.0110	1.04	0.02	0.00119	0.00102	0.00038	0.00013	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	0.00010	<0.00005	5.53	4.43	0.00008
4	ESP-8.0-AI-4	0.06198	0.05965	0.0288	0.0193	1.07	0.02	0.00052	0.00035	<0.00002	<0.00002	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.00005	<0.00005	5.80	5.45	0.00003

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748
	Ensayo	La (d)	Li (t)	Li (d)	Lu (t)	Lu (d)	Mg (t)	Mg (d)	Mn (t)	Mn (d)	Mo (t)	Mo (d)	Na (t)	Na (d)	Nb (t)	Nb (d)	Ni (t)	Ni (d)	P (t)	P (d)
Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Limite de Detección LD	0.00001	0.00006	0.00006	0.00006	0.00006	0.00006	0.00003	0.00003	0.00005	0.00005	0.00005	0.00005	0.01	0.01	0.0001	0.0001	0.0005	0.0005	0.001	0.001
1	ESP-8.0-AI-1	<0.00001	0.1335	0.1156	<0.00006	<0.00006	775.2657	680.2126	25.68610	19.95763	0.00053	0.00014	13.09	12.16	<0.0001	<0.0001	0.0012	0.0011	<0.001	<0.001
2	ESP-8.0-AI-2	<0.00001	0.1332	0.1126	<0.00006	<0.00006	744.6262	671.7009	23.94302	18.75442	0.00088	0.00010	12.91	10.33	0.0003	<0.0001	0.0011	0.0010	<0.001	<0.001
3	ESP-8.0-AI-3	<0.00001	0.1332	0.1112	<0.00006	<0.00006	789.4021	691.5217	33.06551	26.55312	0.00077	<0.00005	13.09	11.51	<0.0001	<0.0001	0.0012	0.0011	<0.001	<0.001
4	ESP-8.0-AI-4	<0.00001	0.1395	0.1116	<0.00006	<0.00006	792.4020	646.4576	33.64908	28.78019	0.00050	0.00028	13.26	11.74	<0.0001	<0.0001	0.0012	0.0011	<0.001	<0.001

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747
	Ensayo	Pb (t)	Pb (d)	Rb (t)	Rb (d)	S (t)	S (d)	Sb (t)	Sb (d)	Se (t)	Se (d)	Si (t)	Si (d)	SiO2 (t)	SiO2 (d)	SiO3 (t)	SiO3 (d)	Sn (t)	Sn (d)	Sr (t)
Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Limite de Detección LD	0.00005	0.00005	0.00001	0.00001	0.1	0.1	0.0001	0.0001	0.001	0.001	0.03	0.03	0.06	0.06	0.07	0.07	0.0001	0.0001	0.0001	
1	ESP-8.0-AI-1	0.00050	<0.00005	0.04015	0.03212	2173.3	2067.6	0.0012	0.0007	0.003	0.001	0.20	0.16	0.43	0.34	0.54	0.43	<0.0001	<0.0001	1.0279
2	ESP-8.0-AI-2	0.00020	<0.00005	0.03980	0.03184	2113.5	1936.3	0.0025	0.0010	0.003	0.001	0.14	0.11	0.30	0.23	0.38	0.29	0.0003	<0.0001	0.9784
3	ESP-8.0-AI-3	0.00079	0.00030	0.04094	0.04004	2224.3	2104.6	0.0009	0.0008	0.003	0.001	0.33	0.26	0.70	0.56	0.89	0.71	<0.0001	<0.0001	1.0512
4	ESP-8.0-AI-4	0.00090	0.00055	0.04061	0.03836	2100.7	1971.8	0.0007	0.0006	0.003	0.001	0.16	0.13	0.35	0.28	0.44	0.35	<0.0001	<0.0001	1.0089

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																			
N°	Codigo de Servicio	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747
	Ensayo	Sr(d)	Ta(t)	Ta(d)	Tb(t)	Tb(d)	Te(t)	Te(d)	Th(t)	Th(d)	Ti(t)	Ti(d)	Tl(t)	Tl(d)	U(t)	U(d)	V(t)	V(d)	W(t)	W(d)	Yb(t)
	Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	Limite de Detección LD	0.0001	0.00002	0.00002	0.0004	0.0004	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.002	0.002	0.0001	0.0001	0.00001	0.00001	0.001	0.001	0.0003	0.0003	0.00003
1	ESP-8.0-AI-1	0.9431	<0.00002	<0.00002	<0.0004	<0.0004	0.0001	<0.0001	0.0006	0.0004	<0.002	<0.002	0.0091	0.0073	0.00007	<0.00001	0.002	0.001	<0.0003	<0.0003	0.00006
2	ESP-8.0-AI-2	0.8791	0.00004	<0.00002	<0.0004	<0.0004	0.0007	0.0005	0.0016	0.0001	<0.002	<0.002	0.0080	0.0074	0.00008	<0.00001	0.002	0.002	<0.0003	<0.0003	0.00011
3	ESP-8.0-AI-3	0.9501	<0.00002	<0.00002	<0.0004	<0.0004	<0.0001	<0.0001	0.0007	0.0004	<0.002	<0.002	0.0111	0.0089	0.00006	<0.00001	0.002	0.001	<0.0003	<0.0003	0.00006
4	ESP-8.0-AI-4	0.8627	<0.00002	<0.00002	<0.0004	<0.0004	<0.0001	<0.0001	0.0003	0.0002	<0.002	<0.002	0.0083	0.0066	<0.00001	<0.00001	0.001	0.001	<0.0003	<0.0003	<0.00003

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos				
N°	Codigo de Servicio	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748
	Ensayo	Yb (d)	Zn (t)	Zn (d)	Zr (t)	Zr (d)
	Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Limite de Detección LD		0.00003	0.001	0.001	0.0001	0.0001
1	ESP-8.0-AI-1	<0.00003	1.357	0.331	0.0001	<0.0001
2	ESP-8.0-AI-2	<0.00003	1.139	0.192	0.0002	<0.0001
3	ESP-8.0-AI-3	<0.00003	1.151	0.084	0.0001	<0.0001
4	ESP-8.0-AI-4	<0.00003	1.233	0.231	<0.0001	<0.0001

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

INFORME DE ENSAYO

RESULTADOS

Muestras		Ensayos													
N°	Codigo de Servicio Ensayo Unidad Limite de Detección LD	MON0000 Fecha Muestreo	MON0000 Tipo Muestra	MA1000 Nor* WGS-84	MA1000 Est* WGS-84	MA1000 Altitud* msnm	MA1000 Temperatura* °C	MA1000 pH* Unid de pH	MA1000 Conductiv.* µS/cm	MA0174 STS mg/L 5	MA0747 Ag (t) mg/L 0.00001	MA0748 Ag (d) mg/L 0.00001	MA0747 Al (t) mg/L 0.001	MA0748 Al (d) mg/L 0.001	MA0747 As (t) mg/L 0.0001
1	ESP-8.0-Fe-1	2023-05-26 15:05	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	12.5	7.05	7200	194	0.00032	0.00014	0.0835	0.0468	0.0041
2	ESP-8.0-Fe-2	2023-05-26 15:10	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	12.4	6.90	7100	318	0.00075	0.00015	0.0295	0.0167	0.0028
3	ESP-8.0-Fe-3	2023-05-26 15:15	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	12.3	6.82	7010	127	0.00031	0.00008	0.0340	0.0185	0.0036
4	ESP-8.0-Fe-4	2023-05-26 15:20	Agua Residual Industrial	8817121	359511	4278	12.3	6.80	7010	247	0.00028	0.00003	0.0400	0.0200	0.0043

Las Coordenadas*, Altitud*, Temperatura*, pH*, Conductiv.*: son datos proporcionados por el cliente.
 LD: Limite de Detección (Limite Reportable) que es tomado en base al Limite de Cuantificación del Método LCM.

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748
	Ensayo	As (d)	B (t)	B (d)	Ba (t)	Ba (d)	Be (t)	Be (d)	Bi (t)	Bi (d)	Ca (t)	Ca (d)	Cd (t)	Cd (d)	Ce (t)	Ce (d)	Co (t)	Co (d)	Cr (t)	Cr (d)
	Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	Limite de Detección LD	0.0001	0.004	0.004	0.00005	0.00005	0.0003	0.0003	0.00003	0.00003	0.02	0.02	0.00005	0.00005	0.00001	0.00001	0.00009	0.00009	0.0005	0.0005
1	ESP-8.0-Fe-1	0.0028	0.023	0.013	0.01708	0.01683	<0.0003	<0.0003	<0.00003	<0.00003	626.32	513.07	0.00173	0.00142	<0.00001	<0.00001	0.00044	0.00042	0.0021	0.0019
2	ESP-8.0-Fe-2	0.0022	0.022	0.012	0.01697	0.01542	<0.0003	<0.0003	<0.00003	<0.00003	569.17	484.71	0.00165	0.00138	0.00002	0.00002	0.00046	0.00036	0.0020	0.0018
3	ESP-8.0-Fe-3	0.0022	0.024	0.011	0.01702	0.01685	<0.0003	<0.0003	<0.00003	<0.00003	627.15	516.20	0.00281	0.00265	<0.00001	<0.00001	0.00054	0.00049	0.0020	0.0018
4	ESP-8.0-Fe-4	0.0027	0.024	0.010	0.01708	0.01623	<0.0003	<0.0003	<0.00003	<0.00003	597.58	520.89	0.00264	0.00248	<0.00001	<0.00001	0.00055	0.00034	0.0020	0.0018

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747
	Ensayo	Cs (t)	Cs (d)	Cu (t)	Cu (d)	Fe (t)	Fe (d)	Ga (t)	Ga (d)	Ge (t)	Ge (d)	Hf (t)	Hf (d)	Hg (t)	Hg (d)	In (t)	In (d)	K (t)	K (d)	La (t)
Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Limite de Detección LD	0.00001	0.00001	0.0001	0.0001	0.01	0.01	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.0003	0.0003	0.0001	0.0001	0.00005	0.00005	0.01	0.01	0.00001	
1	ESP-8.0-Fe-1	0.06129	0.05852	0.0703	0.0062	1.06	0.02	0.00024	0.00012	0.00003	<0.00002	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.00005	<0.00005	6.62	5.90	0.00003
2	ESP-8.0-Fe-2	0.05882	0.04706	0.0677	0.0063	1.05	<0.01	0.00029	0.00024	<0.00002	<0.00002	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.00005	<0.00005	5.93	5.85	0.00003
3	ESP-8.0-Fe-3	0.06074	0.04859	0.0753	0.0088	1.29	0.02	0.00035	0.00027	<0.00002	<0.00002	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.00005	<0.00005	6.12	5.91	0.00002
4	ESP-8.0-Fe-4	0.06024	0.04819	0.0729	0.0043	1.17	0.02	0.00032	0.00023	<0.00002	<0.00002	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.00005	<0.00005	6.07	4.85	<0.00001

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748
	Ensayo	La (d)	Li (t)	Li (d)	Lu (t)	Lu (d)	Mg (t)	Mg (d)	Mn (t)	Mn (d)	Mo (t)	Mo (d)	Na (t)	Na (d)	Nb (t)	Nb (d)	Ni (t)	Ni (d)	P (t)	P (d)
Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Limite de Detección LD	0.00001	0.00006	0.00006	0.00006	0.00006	0.00006	0.0003	0.00005	0.00005	0.00005	0.00005	0.01	0.01	0.0001	0.0001	0.0005	0.0005	0.001	0.001	
1	ESP-8.0-Fe-1	0.00001	0.1334	0.1263	<0.00006	<0.00006	797.3491	766.9630	34.29159	11.79921	0.00116	0.00047	13.70	13.31	<0.0001	<0.0001	0.0008	0.0007	0.576	<0.001
2	ESP-8.0-Fe-2	<0.00001	0.1328	0.1143	<0.00006	<0.00006	786.7936	730.6893	14.34962	31.84149	0.00027	0.00022	12.82	10.26	<0.0001	<0.0001	0.0009	0.0007	<0.001	<0.001
3	ESP-8.0-Fe-3	0.00002	0.1355	0.1123	<0.00006	<0.00006	837.0491	769.6398	15.86348	37.49078	0.00048	0.00038	12.78	10.22	<0.0001	<0.0001	0.0009	0.0007	<0.001	<0.001
4	ESP-8.0-Fe-4	<0.00001	0.1372	0.1270	<0.00006	<0.00006	843.0901	726.4720	15.73458	13.58898	0.00059	0.00047	12.59	10.08	<0.0001	<0.0001	0.0008	0.0006	<0.001	<0.001

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																		
N°	Codigo de Servicio	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747
	Ensayo	Pb(t)	Pb(d)	Rb(t)	Rb(d)	S(t)	S(d)	Sb(t)	Sb(d)	Se(t)	Se(d)	Si(t)	Si(d)	SiO2(t)	SiO2(d)	SiO3(t)	SiO3(d)	Sn(t)	Sn(d)	Sr(t)
Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Limite de Detección LD	0.00005	0.00005	0.00001	0.00001	0.1	0.1	0.0001	0.0001	0.001	0.001	0.03	0.03	0.06	0.06	0.07	0.07	0.0001	0.0001	0.0001	
1	ESP-8.0-Fe-1	0.00127	0.00072	0.04187	0.03899	1611.5	1546.6	0.0010	0.0004	0.003	0.002	0.11	0.09	0.23	0.19	0.30	0.24	<0.0001	<0.0001	0.9492
2	ESP-8.0-Fe-2	0.00066	<0.00005	0.03882	0.03106	1757.3	1665.9	0.0020	0.0006	0.003	0.002	0.10	0.08	0.22	0.18	0.28	0.22	<0.0001	<0.0001	0.8499
3	ESP-8.0-Fe-3	0.00087	0.00070	0.03960	0.03168	1789.3	1708.0	0.0007	0.0007	0.003	0.002	0.11	0.09	0.23	0.20	0.30	0.26	<0.0001	<0.0001	0.9471
4	ESP-8.0-Fe-4	0.00095	<0.00005	0.03996	0.03197	1682.0	1567.5	0.0007	0.0006	0.003	0.002	0.11	0.10	0.23	0.21	0.30	0.27	<0.0001	<0.0001	0.8895

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos																			
N°	Codigo de Servicio	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748	
	Ensayo	Sr (d)	Ta (t)	Ta (d)	Tb (t)	Tb (d)	Te (t)	Te (d)	Th (t)	Th (d)	Ti (t)	Ti (d)	Tl (t)	Tl (d)	U (t)	U (d)	V (t)	V (d)	W (t)	W (d)	Yb (t)
	Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	Limite de Detección LD	0.0001	0.00002	0.00002	0.0004	0.0004	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.002	0.002	0.0001	0.0001	0.0001	0.001	0.001	0.0003	0.0003	0.00003
1	ESP-8.0-Fe-1	0.7853	<0.00002	<0.00002	<0.0004	<0.0004	<0.0001	<0.0001	0.0003	<0.0001	<0.002	<0.002	0.0083	0.0067	<0.00001	<0.00001	0.002	0.002	<0.0003	<0.0003	<0.00003
2	ESP-8.0-Fe-2	0.7779	<0.00002	<0.00002	<0.0004	<0.0004	0.0007	<0.0001	0.0007	<0.0001	<0.002	<0.002	0.0097	0.0092	<0.00001	<0.00001	0.002	0.002	<0.0003	<0.0003	<0.00003
3	ESP-8.0-Fe-3	0.8322	<0.00002	<0.00002	<0.0004	<0.0004	<0.0001	<0.0001	0.0001	<0.0001	<0.002	<0.002	0.0101	0.0099	<0.00001	<0.00001	0.002	0.002	<0.0003	<0.0003	<0.00003
4	ESP-8.0-Fe-4	0.7825	<0.00002	<0.00002	<0.0004	<0.0004	<0.0001	<0.0001	0.0002	<0.0001	<0.002	<0.002	0.0090	0.0088	<0.00001	<0.00001	0.002	0.002	<0.0003	<0.0003	<0.00003

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

INFORME DE ENSAYO

Muestras		Ensayos				
N°	Codigo de Servicio	MA0748	MA0747	MA0748	MA0747	MA0748
	Ensayo	Yb (d)	Zn (t)	Zn (d)	Zr (t)	Zr (d)
	Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	Limite de Detección LD	0.00003	0.001	0.001	0.0001	0.0001
1	ESP-8.0-Fe-1	<0.00003	0.217	0.101	<0.0001	<0.0001
2	ESP-8.0-Fe-2	<0.00003	0.214	0.135	0.0001	<0.0001
3	ESP-8.0-Fe-3	<0.00003	0.215	0.140	<0.0001	<0.0001
4	ESP-8.0-Fe-4	<0.00003	0.239	0.117	<0.0001	<0.0001

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