



Universidad César Vallejo

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Oxidación con ozono y filtración en drenajes ácidos de mina
para la remoción de hierro y manganeso; Laguna
Quiulacocha, Pasco – 2023**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniera Ambiental**

AUTORA:

Sotil Sahuiña, Angela Lisseth (orcid.org/0000-0002-4500-9266)

ASESOR:

Dr. Túllume Chavesta, Milton César (orcid.org/0000-0002-0432-2459)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA — PERÚ

2023

DEDICATORIA

Destino esta investigación al todopoderoso por brindarme salud para cumplir mis metas trazadas en el recorrido de mi carrera profesional. Así mismo, a mis progenitores por aconsejarme diariamente, a mi hermanito que desde el cielo constantemente me custodia y me guía cada día en el buen camino de mi carrera profesional.

AGRADECIMIENTO

Principalmente, aprecio a mis padres por el apoyo y comprensión que me andado y a mis docentes que me ayudaron con las inquietudes durante el desarrollo del tema y a la vez a incentivarnos que si podemos seguir adelante.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, TULLUME CHAVESTA MILTON CESAR, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, asesor de Tesis titulada: "

Oxidación con Ozono y Filtración en Drenajes Ácidos de Mina para la Remoción de Hierro y Manganeso; Laguna Quiulacocha, Pasco – 2023", cuyo autor es SOTIL SAHUIÑA ANGELA LISSETH, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 11.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 09 de Julio del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
TULLUME CHAVESTA MILTON CESAR DNI: 07482588 ORCID: 0000-0002-0432-2459	Firmado electrónicamente por: MTULLUMEC el 23- 07-2023 20:44:39

Código documento Trilce: TRI - 0581635





UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Originalidad del Autor

Yo, SOTIL SAHUIÑA ANGELA LISSETH estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "

Oxidación con Ozono y Filtración en Drenajes Ácidos de Mina para la Remoción de Hierro y Manganeso; Laguna Quiulacocha, Pasco – 2023", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
SOTIL SAHUIÑA ANGELA LISSETH DNI: 73385422 ORCID: 0000-0002-4500-9266	Firmado electrónicamente por: ASOTILSA16 el 23-07- 2023 20:43:09

Código documento Trilce: INV - 1555434

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD DEL ASESOR	iv
DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD DE AUTOR	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE GRÁFICO	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	5
III. METODOLOGÍA	13
3.1. Tipo y diseño de investigación	13
3.2. Variables y operacionalización	13
3.3. Población, muestra y muestreo	14
3.3.1. Población	14
3.3.2. Muestra	14
3.3.3. Muestreo	14
3.4. Técnica e instrumento de recolección de datos	15
3.5. Procedimientos	17
3.6. Métodos de análisis de datos	18
3.7. Aspectos éticos	18
IV. RESULTADOS	19
V. DISCUSIÓN	44
VI. CONCLUSIONES	48
VII. RECOMENDACIONES	49
REFERENCIAS	50
ANEXOS	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Validación de expertos.....	15
Tabla 2. Rango de confiabilidad.....	16
Tabla 3. Confiabilidad de los instrumentos evaluados por expertos	17
Tabla 4. Resultados iniciales de la caracterización del drenaje ácido de mina	19
Tabla 2. Resultados iniciales de la caracterización del drenaje ácido de mina	21
Tabla 5. Resultados de remoción de manganeso a pH 4.....	20
Tabla 6. Resultados de remoción de manganeso a pH 5.....	21
Tabla 7. Resultados de remoción de manganeso a pH 6.....	21
Tabla 8. Resultados de remoción de manganeso a pH 7.....	22
Tabla 9. Resultados de remoción de manganeso a pH 8.....	22
Tabla 10. Resultados de remoción de manganeso a pH 9.....	23
Tabla 11. Resultados de remoción de hierro a pH 4	24
Tabla 12. Resultados de remoción de hierro a pH 5	24
Tabla 13. Resultados de remoción de hierro a pH 6	25
Tabla 14. Resultados de remoción de hierro a pH 7	25
Tabla 15. Resultados de remoción de hierro a pH 8	26
Tabla 16. Resultados de remoción de hierro a pH 9	27
Tabla 17. Eficiencias alcanzadas a pH 4	27
Tabla 18. Eficiencias alcanzadas a pH 5	28
Tabla 19. Eficiencias alcanzadas a pH 6	29
Tabla 20. Eficiencias alcanzadas a pH 7	29
Tabla 21. Eficiencias alcanzadas a pH 8	30
Tabla 22. Eficiencias alcanzadas a pH 9	31
Tabla 23. Eficiencias alcanzadas a pH 4	32
Tabla 24. Eficiencias alcanzadas a pH 5	32
Tabla 25. Eficiencias alcanzadas a pH 6	33
Tabla 26. Eficiencias alcanzadas a pH 7	34
Tabla 27. Eficiencias alcanzadas a pH 8	34
Tabla 28. Eficiencias alcanzadas a pH 9	35
Tabla 29. Resultados de datos agrupados de tratamiento aplicado por oxidación por	

ozono y filtración para remoción de concentración de manganeso en aguas de drenaje ácido de roca de la Laguna Quiulacocha, región Pasco, 2022.....	35
Tabla 30. Resultados de datos agrupados de tratamiento aplicado por oxidación por ozono y filtración para remoción de concentración de hierro en aguas de drenaje ácido de roca de la Laguna Quiulacocha, Región Pasco, 2022.....	36
Tabla 31. Prueba tukey de aplicación de tratamientos para la disminución de manganeso aplicando oxidación con ozono y filtración en drenaje ácido de mina para la remoción de hierro de la Laguna Quiulacocha, Región Pasco, 2022.....	39
Tabla 32. Prueba tukey de aplicación de tratamientos para la disminución de manganeso aplicando oxidación con ozono y filtración en drenaje ácido de mina para la remoción de hierro de la Laguna Quiulacocha, Región Pasco, 2022.....	41
Tabla 33. Comparación de aplicación de mejor tratamiento aplicado para la remoción de manganeso y hierro en drenaje ácido de mina para la remoción de hierro de la Laguna Quiulacocha, Región Pasco,2022 ...	42
Tabla 34. Contrastación de hipótesis	43

ÍNDICE DE GRÁFICO

Gráfico 1. Diagrama de flujo del procedimiento	17
--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Formación de drenaje ácido de minas.....	8
Figura 2. Contaminación hídrica por drenaje ácido de minas.....	10
Figura 3. Prueba de normalidad de residuos anderson darling (ad)para la disminución de manganeso aplicando los tratamientos, elaborado en minitab versión 2019	36
Figura 4. Prueba de normalidad de residuos anderson darling (ad)para la disminución de hierro aplicando los tratamientos, elaborado en minitab versión 2019	37
Figura 5. Presentación de resultados de la prueba tukey respecto a la remoción del manganeso, elaborado en minitab versión 1945	40
Figura 6. Presentación de resultados de la prueba tukey respecto a la remoción del hierro, elaborado en minitab versión 19.....	41

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo remover las concentraciones de Hierro y Manganeso por procesos de ozonización y filtración en los drenajes ácidos de mina presente en la relavera Quiulacocha, Región Pasco, para lo cual se aplicó una metodología de tipo aplicada con un diseño tipo experimental con enfoque cuantitativo.

Las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos demuestran que el LMP para el Mn se encuentra fuera del nivel permitido con 354.76 mg/l, así mismo para el Hierro se encuentra también fuera del nivel permitido con 987.43 mg/l. Así mismo, el pH se encuentra por debajo del nivel guía con 3.68, los demás parámetros determinados como EC y TDS no se encuentran normados. Las concentraciones de Hierro residual obtenidos fueron de acuerdo a los tiempos de 5, 10, 15, 20 y 30 min. y a los pH 4, 5, 6, 7, 8 y 9 y la eficiencia por procesos de ozonización y filtración dan que las eficiencias varían según los tiempos de aplicación del sistema de Ozonificación, donde para todos los tiempos superan una eficiencia de 91%; sin embargo, la mayor eficiencia se logra alcanzar con el tiempo de 30 minutos en las 6 corridas con los diferentes pH.

Palabras clave: Drenaje, hierro, manganeso, ozonización, filtración.

ABSTRACT

The objective of this study was to remove the concentrations of iron and manganese by ozonation and filtration processes in the acid mine drainage present in the Quiulacocha tailings dam, Pasco Region, for which an applied methodology was applied with an experimental design with a quantitative approach.

The concentrations of the physicochemical parameters show that the MPL for Mn is outside the permitted level with 354.76 mg/l, likewise for Iron it is also outside the permitted level with 987.43 mg/l. Likewise, the pH is below the guideline level with 3.68, the other parameters determined such as EC and TDS are not standardized. The concentrations of residual iron obtained were according to the times of 5, 10, 15, 15, 20 and 30 min. and pH 4, 5, 6, 7, 8 and 9 and the efficiency for ozonation and filtration processes show that the efficiencies vary according to the application times of the ozonation system, where for all times they exceed an efficiency of 91%; however, the highest efficiency is achieved with the time of 30 minutes in the 6 runs with the different ph.

Keywords: Drainage, iron, manganese, ozonation, filtration.

I. INTRODUCCIÓN

El drenaje ácido de minas (DAM) es un efluente que se genera por actividades mineras, donde su característica presenta un pH altamente ácido y su composición está formada por sulfato y metales pesados (MP) (Dhir Bhupinder, 2018, p.67).

Del mismo modo, el DAM se sabe que es producto de las actividades mineras, pero de aquellas que exponen minerales que contienen azufre, oxígeno atmosférico, humedad y las bacterias oxidantes de hierro acidófilas, lo que da como resultado ácido sulfúrico, hierro disuelto y precipitación de hidróxido férrico (Latan Elena-L., 2021, p.2021, p.1).

Así mismo, poco se sabe de los peligros potenciales que los DAM de las minerías causan, el DAM relacionado a la minería subterránea se considera un peligro ambiental, así como las minas abandonadas que no tienen recuperación (Akcil A. y Koldas S., 2006, p. 2).

Además, el DAM es considerado un problema en el sector hídrico, ya que, debido a su pH ácido reduce el pH del agua afectando su calidad y también provocando intoxicación y contaminación en los peces, por causa de los metales que se quedan disueltos por el pH presentado y generando que los peces lo adsorban fácilmente; lo que conlleva a una contaminación amplia debido a la cadena alimentaria (Edokpayi Joshua N. et al., 2020, p.2). De igual manera, causa una preocupante degradación química y biológica en los hábitats acuáticos como las aguas subterráneas y superficiales (Tatendu D. et al., 2022, p.189).

El DAM es también perjudicial para los animales, ser humano y plantas; por el desencadenamiento y alteración en el hábitat y medio ambiente acuáticos, causando enfermedades en el ser humano por acumulación en el cuerpo debido a la ingesta por animales contaminados (Carolin C. et al., 2017, p.3). En las plantas, la contaminación se da por la adsorción de los metales pesados y como transportador de este al ser humano por la relación de la cadena alimentaria (Fernández-Caliani et al., 2019, p.3).

Por ejemplo, alrededor de 19.300 km de ríos y 720 km² de lagos y embalses en todo el mundo se vieron severamente afectados por AMD a finales del siglo pasado (Johnson y Hallberg, 2005, citado en Moreno-González R. et al., 2022, p.2). Por otra parte, en Perú - Cerro de Pasco los relaves de la laguna Quiulacocha cubren 114 ha, que comprenden 79 Mt de relaves, que contienen ~ 50 % en peso de pirita y los tipos de relaves encontrados tiene en su composición Zn-Pb y Cu y el problema va en la extensión que existe por el DAM hacia los lagos cercanos (Dold Bernhard W. et al., 2009, p.1).

En el Distrito Minero de Río Tinto de Andalucía, España, donde más de 5000 años de minería y meteorización natural de minerales de sulfuro han dado como resultado la entrada fluvial de As, Fe, Cu, Cd, Ni, Pb y Zn, junto con la dispersión de polvo (Cánovas CR. Et al., 2021 citado por Tomiyama S. y Igarashi T., 2022, p.5).

De manera similar, en Inglaterra y Gales, el drenaje de las minas de metal abandonadas es una forma generalizada de contaminación del agua, pero también se ha demostrado que las minas en operación también generan impacto ambiental por el drenaje ácido (Mayes W. et al., 2021, p.4).

Por otro lado, las medidas de remediación, especialmente en minas abandonadas históricas, requieren un conocimiento profundo de las características geoquímicas de los efluentes y flujos metálicos de AMD, considerando su alta evolución espacial y temporal, y la existencia de fuentes puntuales y difusas con una respuesta diferente a los eventos de lluvia (Moreno-González R. et al., 2022, p.1).

En este contexto, la problemática exhibida se plantea el problema general siguiente: ¿Cómo la oxidación con ozono y filtración en drenajes ácidos de mina influye en la remoción de hierro y manganeso, de la laguna Quiulacocha, Pasco, 2023? y como problemas específicos se tiene: ¿Cuáles son las propiedades fisicoquímicas en el proceso de oxidación del ozono y filtración en drenajes ácidos de mina que influyen en la remoción de hierro y manganeso, de la laguna Quiulacocha, Pasco, 2023?, ¿Cuál es la capacidad de oxidación del ozono y filtración en drenajes ácidos de mina que influye en la remoción de

hierro y manganeso, de la laguna Quiulacocha, Pasco, 2023?, ¿Cuál es la eficiencia por procesos de ozonización y filtración en la remoción de Hierro y Manganeso en drenajes ácidos de mina la laguna Quiulacocha, Pasco, 2023?.

La finalidad de este presente estudio tiene como objetivo general lo siguiente: Determinar si la oxidación con ozono y filtración en drenajes ácidos de mina facilita la remoción de hierro y manganeso, de la laguna Quiulacocha, Pasco, 2023, y como objetivos específicos se tienen, Establecer las propiedades fisicoquímicas en el proceso de oxidación del ozono y filtración en drenajes ácidos de mina que influyen en la remoción de hierro y manganeso, de la laguna Quiulacocha, Pasco, 2023, Identificar la capacidad de oxidación del ozono y filtración en drenajes ácidos de mina que influye en la remoción de hierro y manganeso, de la laguna Quiulacocha, Pasco, 2023, Determinar la eficiencia por procesos de ozonización y filtración en la remoción de Hierro y Manganeso en Drenajes Ácidos de Mina depositados en la laguna Quiulacocha, Pasco 2023.

Finalmente, se planteó la hipótesis general siguiente: La oxidación con ozono y filtración en drenajes ácidos de mina facilita significativamente la remoción de hierro y manganeso, de la laguna Quiulacocha, Pasco, 2023, y sus hipótesis específicas fueron: Las propiedades fisicoquímicas en el proceso de oxidación del ozono y filtración en drenajes ácidos de mina influyen en la remoción de hierro y manganeso, de la laguna Quiulacocha, Pasco, 2023 ,La capacidad de oxidación del ozono y filtración en drenajes ácidos de mina influye en la remoción de hierro y manganeso, de la laguna Quiulacocha, Pasco, 2023. y La eficiencia por procesos de ozonización y filtración generaron la remoción de Hierro y Manganeso en Drenajes Ácidos de Mina depositados en la laguna Quiulacocha, Pasco,2023.

En la justificación metodológica se establece datos verídicos de la remoción de las concentraciones de Hierro y Manganeso por procesos de ozonización y filtración, considerando que la caracterización de las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos en los Drenajes Ácidos de Mina en la relavera Quiulacocha, las concentraciones de Hierro y Manganeso residual y la

eficiencia y eficacia por los procesos de ozonización y filtración (Dold Bernhard et al., 2009, p.1).

Con respecto a la parte social se mencionó que los DAM, debido a que pueden ser operativas o abandonadas generan contaminación en el componente ambiental del recurso hídrico, así como la fauna silvestre y especies acuáticas, así como también a los seres humanos, todo ello mediante el transporte generado por la cadena alimentaria al contaminarse los ríos y lagos por dichos drenajes y ser adsorbidos por las plantas o peces que luego pasan a ser ingeridos por el ser humano; ante ello, al aplicar la Oxidación con ozono y filtración, se contribuye a la remoción de Hierro y Manganeso y de esta forma mejorar la calidad del agua y evitar la propagación de la contaminación ambiental; contribuyendo con la población aleñada en la solución del problema . (Punia A. y Singh S., 2021, p.3).

También, en cuanto a la parte ambiental al aplicar la ozonización, permite eliminar diversos tipos de contaminantes del ambiente como materiales orgánicos, inorgánicos y refractarios, presentando altos niveles de eficiencia en la desinfección y reducción a diferencia de otros tratamientos por lo que su beneficio se incrementa, debido a que se presenta un tiempo corto de contacto y no de forma. (Wei Chaohai et al., 2017, p.2).

Del mismo modo, en relación con los procesos de oxidación avanzada, basados en ozono, presentan ventajas mucho mayores que otros procesos en cuanto a la degradación de lixiviados, compuestos orgánicos e inorgánicos e incrementan la biodegradabilidad. (Priyadarshini M. et al., 2022, p.2).

II. MARCO TEÓRICO

Mediante la problemática a presentar se expondrán antecedentes nacionales y/o internacionales que hayan aplicado la oxidación con ozono y filtración para la remoción de drenajes ácidos de minas con el fin de compararlos con los resultados que se mostrarán al final del estudio.

Shekarian Younes et al., (2022, p.1); en su estudio investigaron los efectos de varias moléculas como él (hidróxido, carbonato, amonio, sulfato y fosfato) y oxidantes (persulfato de sodio, permanganato de potasio y ozono) en la precipitación de Co-Mn de AMD a través de estudios de química experimental y de solución. Mediante la parte experimental se aplicó un tratamiento de drenaje ácido de minas (AMD), buscando recuperar selectivamente los elementos Al, Co y Mn. Como resultados del proceso de oxidación con ozono se recuperó el 95% de Co y Mn. Finalmente se concluye que la aplicación de ozono es la manera más efectiva de recuperar los elementos mencionados.

Hara Junko, (2017, p.1); evaluó la capacidad de degradar el anillo de benceno del bisulfuro de hierro activado por H_2O_2 y O_3 y dilucidamos las vías de reacción correspondientes. Como método experimental se optimizaron las condiciones de reacción, es decir, la relación FeS_2 / H_2O_2 en condiciones aeróbicas y el H_2O_2 y/o O_3 . Los resultados de la aplicación de degradación oxidativa se descompone con éxito en CO_2 a través de ácidos orgánicos incluso con la combinación más simple de FeS_2 / H_2O_2 y la degradación de CO_2 incrementó con el O_3 . Por otro lado, el ácido oxálico incrementó con el H_2O_2 . Finalmente, la reacción prosiguió a través de los radicales generados en FeS_2 / H_2O_2 , que es potenciado por O_3 , y una reacción tipo Fenton utilizando el hierro obtenido a partir de FeS_2 .

Gomes Thauan et al., (2022, p.1); en su artículo como objetivo se buscó aplicar el ozono y peróxido de hidrógeno para incrementar la lixiviación de un relave de mina de carbón. Para lo cual se desarrolló la cinética de descomposición de los oxidantes en contacto con relaves mineros y el modelo matemático para predecir la propagación subsuperficial de los oxidantes utilizados. De acuerdo con el estudio experimental después de la aplicación de ozono se redujo el

azufre en un 62%, mientras que la reducción correspondiente en el grupo de control fue solo del 18 %. Los resultados indicaron que el ozono y el peróxido de hidrógeno aumentaron la lixiviación de metales y redujeron la ecotoxicidad en comparación con un grupo de control y las tasas cinéticas dependían de la saturación de los relaves de la mina de carbón. Concluyendo que esta estrategia es innovadora y efectiva para mitigar la AMD.

Ryskie Sébastien et al., (2020, p.1), Señalan que la capacidad de las microburbujas de ozono tiene la capacidad de expulsión de $\text{NH}_3\text{-N}$ de agua residuales mineros artificiales y reales. Así mismo, los productos manifestaron que los factores del líquido a tratar tienen un dominio de elocuente en la eficiencia del proceso y la eficacia de la expulsión de N osciló en medio de 27,8 y 99,3 %. Los ensayos de flujo continuo comprobaron la facilidad del proceso a gran escala, dado que el 99,1 % del $\text{NH}_3\text{-N}$ se trató a un caudal de 1,1 l/min durante una etapa de procedimiento de 570 min.

Cheng Ya et al., (2022, p.1); manifiestan los medios filtrantes de coóxidos a base de manganeso con diferentes proporciones molares de Fe/Mn para investigar la influencia del dopaje de Fe en las actividades catalíticas para la eliminación de amonio y manganeso. Se adoptó un sistema de columna de filtro a escala piloto para preparar el medio filtrante y se reguló la cantidad real de Fe en el medio filtrante a lo largo de la etapa puesta en desarrollo. Como resultados, los coóxidos a base de manganeso con una relación molar Fe/Mn de 1:2 presentaron excelentes propiedades catalíticas, y la eficiencia de eliminación de amonio y manganeso del filtro alcanzó más del 90% en los días 7 y 15, respectivamente. Finalmente se concluye que mediante los resultados mostrados que el dopaje con Fe es un método eficaz para acelerar la formación de actividad catalítica durante la fase de puesta en movimiento de los filtros de coóxidos basados en Mn para la eliminación de amonio y manganeso.

Liu Lizhong et al., (2022, p.1); sintetizó con éxito una serie de MnO_2 dopado con heteroátomos mediante la reacción redox que impulsa el ozono, en la que el Fe, el Co, el Ni y el Cu se introdujeron directamente en el MnO_2 . Se infirió que los heteroátomos dopados existían en forma de Fe^{2+} , Fe^{3+} , Fe^{4+} , Co^{3+} , Ni^{3+} , Cu^{2+} y Cu^{3+} en MnO_2 por la caracterización de XRD, XPS,

Raman y HRTEM. Sus actividades catalíticas de oxidación de tolueno se correlacionaron positivamente con las relaciones molares de $(\text{Mn}^{2+} + \text{Mn}^{3+}) / \text{Mn}^{4+}$.

Xin Chunfu et al., (2021, p.2); indicaron un nuevo proceso de lixiviación de polvo de óxido de zinc por oxidación con ozono en un sistema de ácido sulfúrico. Se investigaron exhaustivamente los esenciales factores que perjudican la tasa de lixiviación, como el tiempo de ozono, la temperatura de lixiviación, la acidez inicial, el tiempo de lixiviación y el vínculo de masa líquida/sólida. Los efectos señalan que la eficiencia de lixiviación depende de todos los factores anteriores. Las condiciones óptimas para la lixiviación de Zn y Ge del polvo de óxido de zinc son las siguientes: tiempo de ozono 10 min, temperatura de lixiviación 90 °C, acidez inicial 160 g/L, tiempo de lixiviación 60 min y relación de masa líquida/sólida 7:1. En las condiciones óptimas, las tasas de lixiviación de Zn y Ge son 95,79% y 93,65%, respectivamente. Las tasas de lixiviación de zinc y germanio. En la lixiviación por ozono son 4,05% y 10,49% superiores a las de la lixiviación atmosférica, respectivamente. Finalmente, se concluye que, el ozono en solución juega un papel clave en la oxidación rápida del sulfuro y la liberación de germanio.

Hu Xin et al., (2022, p.1); manifestaron que se aplicó tecnología de oxidación química para establecer un proceso de tratamiento a escala piloto de 12 m³/d para precipitar hierro de alta concentración (510,3 ± 50 mg/L) en condiciones ácidas. Los resultados experimentales mostraron que la tasa de oxidación de Fe²⁺ y la tasa de eliminación de TFe (Fe total) superaron el 99 %, mientras que la pérdida de Cu y Mn no superó el 4 %. El contenido medio de Fe de los recuperados el lodo fue del 26,85%, lo que significa un buen valor de reciclaje.

Gervais Mé linda et al., (2020, p.1); En este estudio, se evaluó el tratamiento de tiosales a acumulaciones iniciales de 100 mg/l, 290 mg/l y 630 mg/l mediante tres procesos de oxidación avanzada (POA): (1) microburbujas de ozono (microburbujas de O₃), velocidad de rociado de 75 g/h; y (3) Peróxido de hidrógeno (H₂O₂-ferratos húmedos Fe(VI), 65 mg/L; (2) 2), relación molar 2:1 (H₂O₂:sal de tiosales), a 8°C, 22°C. Todas los ensayos de rastreo se realizaron en aguas residuales sintéticas y también se examinó la capacidad de H₂O₂

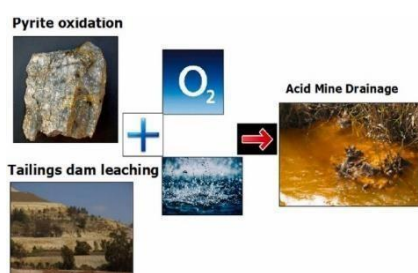
en aguas residuales reales, lixiviados no desulfurados recolectados en la planta de flotación. Las pruebas indicaron que las microburbujas de O₃ dieron una mejor efectividad del (99 %) que el Fe (VI) húmedo (82 %) después de 2 horas de proceso con tiosulfato. Se observaron caracteres similares en los efluentes sintéticos y reales del tratamiento con H₂O₂. Aunque necesaria, la eliminación eficiente fue de 22 °C (90 %) alcanzada 1 hora después del tratamiento. Los tres AOP fueron probados mostrando potencial para la eliminación de tiosales. Las microburbujas de O₃ indicaron la mayor efectividad en elementos de eliminación de tiosales y tiempo de procesamiento. Además, el H₂O₂ permitió una mejor eliminación del tiosulfato que el Fe (VI húmedo), pero demostró ser ineficaz para oxidar otras especies intermedias y requirió un tiempo de tratamiento más largo.

La teoría explicada a continuación servirá de base para el conocimiento del desarrollo de la presenta investigación:

De la minería una de las grandes preocupaciones medioambientales son los desechos generados ya que, estos emanan óxido de minerales de sulfuro como, por ejemplo: piritita, pirrotita, arsenopiritita, sulfoarseniuros de níquel y cobalto; sulfuros de metales básicos bajos dentro de la roca huésped, materiales de desecho y trabajos mineros, y la liberación de metales como Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, U y Zn (Abiye T, et al., 2022, p.1).

Pero, uno de los contaminantes generados que presenta también efectos potenciales negativos es el Drenaje ácido de minas (AMD). Este AMD, es considerado uno de los contaminantes más tóxicos para el medio ambiente y el recurso hídrico. (ver figura 1).

Figura 1. *Formación de Drenaje ácido de minas*



Fuente: modificado de Tamiru A. y Khalid A., (2022)

A pesar de que el drenaje ácido de mina (AMD) representa una importante responsabilidad ambiental y financiera para la industria minera esta causa efectos perjudiciales en diversos recursos del ecosistema (Abouttarouk A. et al., 2022, p.1).

El AMD es un líquido agrio lleno de Fe, So y otros minerales que se figuran en calidad natural cuando las capas que comprenden pirita se manifiestan al aire o ambientes oxidantes (Hanrahan G., 2012, p.73). Además, se forma por la oxidación de oxígeno, agua y microorganismos; mayormente encontrados en las minas abandonadas y la movilización de metales (Iizuka Atsushi et al., 2022, p.1).

Hay dos tipos de residuos mineros:

Relaves mineros

- Son el producto final del tratamiento o procesamiento del mineral y están compuestos por partículas del tamaño de arena y limo.

Roca estéril

- Es el material no económico extraído de una mina para acceder al yacimiento.

Fuente: Elaboración propia

Así, entre los residuos mineros, los desechos producidos a partir de los relaves como la roca estéril generan el drenaje ácido (Vaziri Vahid et al., 2021, p.3).

Del mismo modo, se forman las cenizas volantes (FA) que son residuos producidos por la combustión de carbón (CCR); ello mediante la minería de carbón que por lo general induce la descendencia de drenaje ácido de mina (DAM) en minas de carbón activas y abandonadas (Weinberg Rachel et al., 2022, p.2). También se encuentra la formación de contaminantes inorgánicos (Shabalala A. y Masindi V., 2022, p.1).

Igualmente, otro de los efectos negativos de los AMD, se encuentra en las tuberías que transportan los DAM hacia las plantas de tratamientos, y es que,

estos sufren de incrustaciones debido a la formación de Fe (III) dentro de las tuberías, por lo cual, para evitar tales daños es necesario realizar limpiezas periódicas que requieren costos considerables (Mzinyane Nozipho N., 2022, p.2).

Además, otro de los problemas es la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas; modificando el pH en ácido y degradando de manera agresiva el ecosistema acuícola hasta volverlas inutilizables para cualquier tipo de uso por su nueva característica corrosiva. (ver figura 2).

Figura 2. *Contaminación hídrica por DAM*



Fuente: Parada F. et al., (2018)

Pero mediante la figura 3 se muestra que la contaminación en los cuerpos de agua se puede dar también en sistemas de agua alejados, causando daños químicos, físicos, ecológicos y biológicos como se explica en la imagen 3. Se explica en Anexo 4. La figura de Efectos Ambiental de DAM.

Mencionando así que, las minerías que producen sulfuros metálicos son aquellos que presentan pH bajo y altos niveles de sulfatos y metales como hierro (Fe), aluminio (Al), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), plomo (Pb), mercurio (Hg), cadmio (Cd), níquel (Ni) (Gallardo et al., 2016 citado en Martínez Damaris G. et al., 2020, p.2).

Además, el DAM de este tipo de minerías de yacimientos de sulfuros metálicos que presenta niveles de concentración altos de metales pesados, presenta en mayor cantidad el hierro y manganeso; pero uno de los obstáculos para la eliminación del Mn es la presencia del Fe (II) disuelto, debido a que este último

metal es adsorbido en la superficie del óxido de Mn (Calugaru L. et al., 2021, p.2).

Además, si el AMD no es tratado debidamente esta causa graves daños no solo en el medio ambiente, si no, también en el suelo (Patel et al., 2021 citado en Chen Guan et al., 2021, p.2). Los animales debido a la cadena alimentaria sufren graves daños y es que, en situaciones extremas los iones metálicos pesados ingresan a la cadena alimentaria, causando severos daños al ser humano, flora y fauna (Kefeni et al., 2017 citado en Chen Guan et al., 2021, p.3).

Siendo así como se muestra en el estudio de Pan Yan et al., (2021, p.1); en el que se demostró que por los altos niveles de contaminantes inorgánicos y MPs de los AMD en el suelo de los arrozales incrementó los niveles de Cd considerablemente cuando se presentaron inundaciones por AMD.

Por lo que buscando tratar el DAM de la laguna Quiulacocha en la Región de Pasco se busca describir la oxidación con ozono y filtración mediante la remoción de hierro y manganeso, como manera de tratamiento al DAM.

Siendo que la ozonización es aplicada para el tratamiento de aguas para la desinfección y posterior a ello la oxidación de contaminantes orgánicos e inorgánicos (Lim Sungeun et al., 2022, p.1).

La ozonización es el proceso de oxidación, conocido como POA en el que se utiliza al ozono como un reactivo oxidante poderoso para degradar compuestos fenólicos, además, los compuestos degradados por el ozono suelen presentar como característica que se convierten en productos menos tóxicos a los originales (Carbajo et al., 2015 citado en Martín-Pozo aura et al., 2022, p.381).

De la misma manera, mediante este proceso de oxidación existe la posibilidad de la generación de productos más venenosos que los contaminantes principales; por lo que, se menciona el uso de catalizadores de ozonización. Para que la eliminación de los contaminantes sea mayor se menciona el acoplamiento del uso de la filtración por membrana con la ozonización catalítica (Mansas C. et al., 2020, p.2).

La mayor eficiencia de degradación de contaminantes inorgánicos se da por el poder de degradación de la oxidación por ozonización y el rechazo de los coloides moléculas e iones debido a la filtración (Quispe Suni et al., 2021, p.2). En la membrana la ozonización se lleva a cabo en el tanque de membranas como en los poros de la membrana, con contribuciones comparables a la eliminación de contaminantes y al control de la membrana (Chen Rong et al., 2022, p.3).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

Es de tipo aplicada; siendo basado en la remoción de hierro y manganeso por la Oxidación con ozono y filtración en drenaje ácido de minas. Donde Thomas W. y David O., (2017, p.63), menciona que se utiliza desde el punto de la problemática, la búsqueda de resultado de dicha duda mediante los conocimientos que se hayan podido adquirir; así mismo, menciona que se aprovecha para aplicar en estudios que busquen solucionar una dificultad y completar procesos para una actividad eficiente.

Así mismo, la investigación busca solucionar el problema, argumentando, detallando y examinando el desarrollo científico de la investigación, buscando presentar una solución a la problemática (Nisbet Robert et al., 2018, p.149).

3.1.2. Diseño de Investigación

El diseño de investigación es experimental con enfoque cuantitativo, se trata de información que pueden transformarse en datos numéricos (Judithe S., 2018, p.429); debido a que se desarrolló un tipo de remoción de Hierro y Manganeso, mediante el desarrollo del modelo de técnica de ozonización, mediante la oxidación con ozono y filtración en el drenaje ácidos de mina de la Laguna Quiulacocha en la Región Pasco.

3.2. Variables y operacionalización

Las variables de estudio fueron las siguientes:

1. Variable independiente: Oxidación con ozono y filtración en los DAM.
2. Variable Dependiente: Remoción de Hierro y Manganeso

Del mismo modo, se detalla la matriz en la tabla 1.

3.3. Población, muestra y muestreo

3.3.1. Población

La población es el drenaje ácido de una mina, siendo comprendido por 1 litro del DAM para cada caso en particular, extraída de la laguna Quiulacocha en la Región Pasco el cual se encuentra cubriendo 114 h por los relaves, que comprenden 79 Mt de relaves (Dold B., Wade C. y Fontboté L., 2009, p.3).

a) Criterio de inclusión:

- Drenajes Ácidos de Mina depositados en el relave Quiulacocha.

b) Criterio de exclusión:

- Aguas residuales
- Drenaje ácido que no se haya encontrado en la laguna Quiulacocha

3.3.2. Muestra

Es el subconjunto o población en donde se hará una investigación. Existen métodos o procedimientos para obtener la cantidad un conjunto de componentes de muestra, como fórmulas, lógica, etc. Una muestra es una porción representativa de una población. (Mata et al., 2018, p.19).

Las cantidades utilizada en el proceso de ozonización para la remoción de manganeso y hierro fue de 150 mg/hr para todos los tratamientos. Siendo la muestra recolectada en 7 puntos de la mina, con el objetivo de realizar la caracterización correspondiente a las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos.

3.3.3. Muestreo

El muestreo consiste en elegir un grupo de personas para investigar y analizar la población. Con el fin de estudiarlos y poder caracterizar a la población en general. Es decir, consiste en elegir

un conjunto de personas para facilitar la investigación o caracterización de la población. (Ochoa, 2018, p.15).

El muestreo probabilístico es un método de muestreo en el que se seleccionan aleatorio para analizar y estudiar la muestra de una población, y cada una de ellas tiene la misma probabilidad de ser seleccionada y formar parte de la muestra. (Malhotra,2019, p.3).

Muestreo probabilístico es tipo aleatorio simple. En esta técnica de muestreo, todos los elementos de la muestra se seleccionan al azar por igual, cada elemento tiene la misma probabilidad de ser seleccionado y a los elementos se les asigna un número único para su identificación. (Malhotra, 2019, p.5).

3.4. Técnica e instrumento de recolección de datos

La técnica utilizada fue la observación, así mismo, entre los instrumentos utilizados se encontraron la hoja de campo, la ficha técnica de levantamiento de información en el laboratorio, ya que, estos sirvieron para describir y procesar la información que se tenían al inicio y al finalizar la investigación.

Validación de Instrumentos

La validación por expertos se ejecuta por medio de una entrevista con al menos dos expertos, para adquirir y considerar sus opiniones con respecto al tema del instrumento (Fratlicelli, 2018). En el presente trabajo la validación de instrumentos fue designada por tres expertos, el cual tienen conocimiento del tema de mi investigación.

Tabla 1. Validación de expertos

Experto	Especialidad	Grado	Apreciación
Fernando Antonio Sernaque Auccahuasi	Ing. Ambiental	Doctor	Los instrumentos se encuentran conformes

Samuel Carlos Reyna Mandujano	Ing. Ambiental y de Recursos Humanos	Magister	Los instrumentos se encuentran conformes
Fernando Ronald Espinoza Farfán	Ing. Ambiental	Doctor	Los instrumentos se encuentran conformes

Fuente: Elaboración propia.

Confiabilidad

La confiabilidad se describe a la precisión, estabilidad de los resultados o la información obtenida a través del uso repetido de un instrumento. También está relacionado con la exactitud o precisión de los resultados u otra información sobre los grupos. (Verdejo Carrión, 2020).

La confiabilidad para este trabajo depende de los instrumentos que se aplicaron correctamente por los expertos. También, se empleó el Alfa de Cronbach manipulando los puntajes de los expertos que anticipadamente han valido los instrumentos de investigación. De la misma, manera el nivel de confiabilidad de este presente estudio se mantiene dentro de la confiabilidad perfecta. **Anexo 3.**

$$\alpha = \frac{k}{k - 1} \left(1 - \frac{\sum s_i^2}{s_t^2} \right)$$

Siendo:

$\sum s_i^2$: Sumatoria de varianzas de cada ítem

s_t^2 : Varianza total de filas, lo cual es el puntaje total de expertos

k : Numero de ítems o preguntas del instrumento de medición

Tabla 2. Rango de confiabilidad

RANGO	CONFIABILIDAD
0.53 a menos	Confiabilidad nula

0.54 a 0.59	Confiabilidad baja
0.6 a 0.65	confiable
0.66 a 0.71	Muy confiable
0.72 a 0.99	Excelente confiabilidad
1	Confiabilidad perfecta

Tabla 3. Confiabilidad de los instrumentos evaluados por expertos

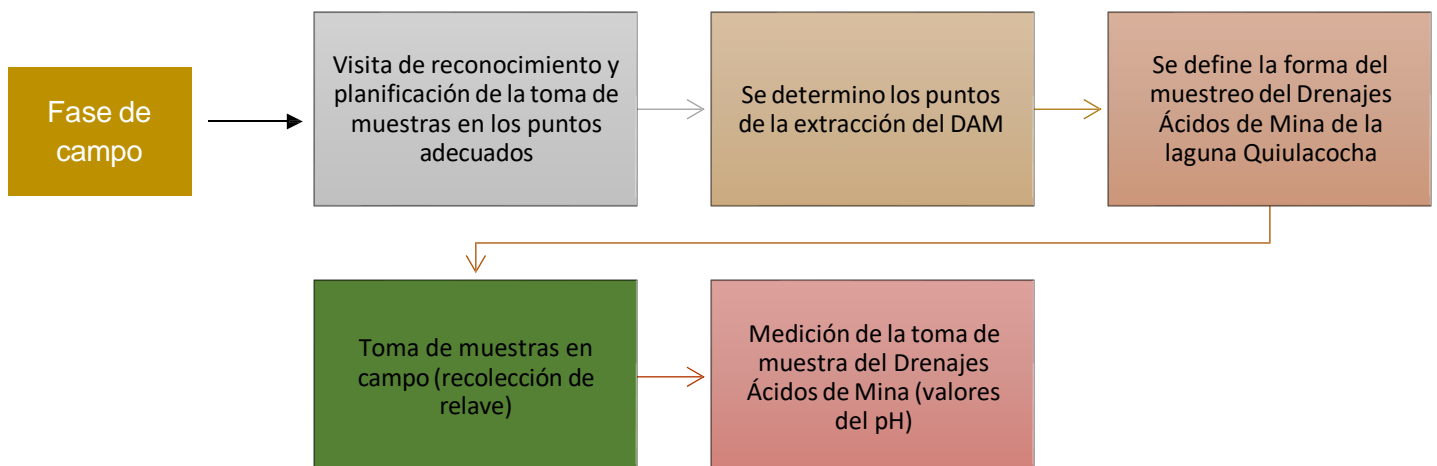
N°	Instrumentos	Coefficiente de Cronbach	Confiabilidad
1	Ficha Técnica de Campo	0,90	Excelente confiabilidad
2	Ficha Técnica de Gabinete	0,87	Excelente confiabilidad

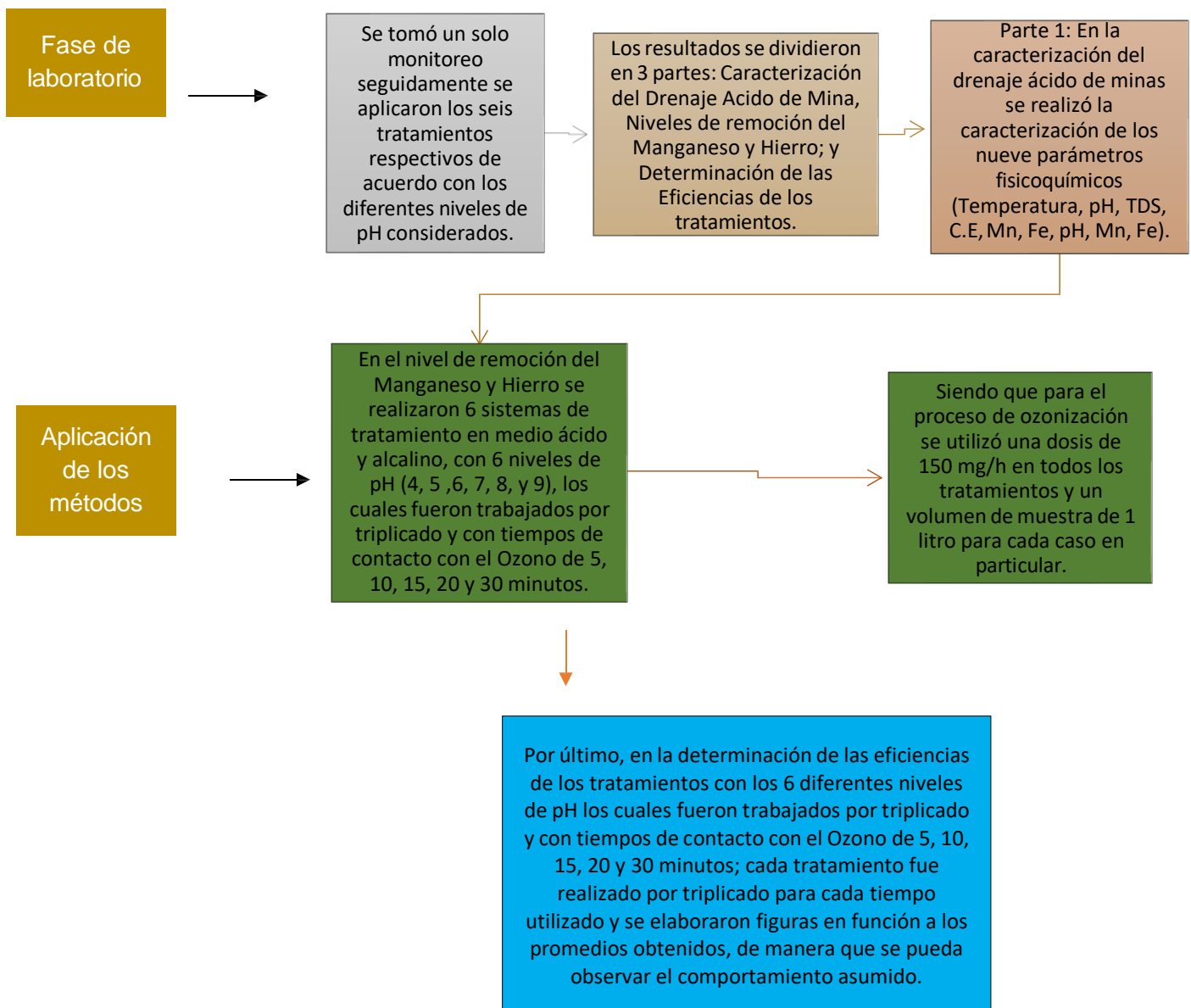
Fuente: Elaboración propia.

3.5. Procedimientos

A través del esquema de flujo expuesto en el gráfico N°2 se define la técnica seguida para la remoción de hierro y manganeso por oxidación con ozono y filtración.

Gráfico N°1. Diagrama de flujo del procedimiento





3.6. Método de análisis de datos

Se usó el Microsoft Excel y programas estadísticos; los cuales fueron los programas utilizados para la obtención de los análisis y confiabilidad de resultados. Así mismo, se determinó la probabilidad normal con T de student y análisis de datos con el Anova.

3.7. Aspectos éticos

El presente trabajo utilizó la normativa ISO 690 para la debida citación, además, se respetó la ética de la universidad utilizando el programa

Turniting, el cual permitió comprobar que el estudio es auténtico y no presenta porcentaje de copia.

IV. RESULTADOS

Los resultados se obtuvieron en base a un solo monitoreo realizado en el mes de diciembre del 2022, seguidamente se aplicaron los seis tratamientos respectivos de acuerdo con los diferentes niveles de pH considerados. Los resultados se dividieron en tres partes: Caracterización del Drenaje Acido de Mina, Niveles de remoción del Manganeso y Hierro; y Determinación de las Eficiencias de los tratamientos.

O. E - 1 Establecer las propiedades fisicoquímicas en el proceso de oxidación del ozono y filtración en drenajes ácidos de mina que influyen en la remoción de hierro y manganeso, de la laguna Quiulacocha, Pasco, 2023.

4.1. Caracterización del Drenaje Acido de Mina

A continuación, se muestran los resultados de la caracterización del Drenaje Acido de Mina tomado en la Relavera Quiulacocha en la ciudad de Cerro de Pasco.

Tabla n°4. Resultados iniciales de la caracterización del Drenaje Acido de Mina

Parámetros Fisicoquímicos								
Temperatura (°C)	pH	TDS (mg/l)	C.E (uS/cm)	Mn (mg/l)	Fe (mg/l)	pH (*)	Mn (*) (mg/l)	Fe (**) (mg/l)
10.3	3.68	3045	6426	354.76	987.43	5 a 9	2.0	2.0

(*) Límite Máximo Permisible para descargas a cuerpos de agua dulce (Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, Libro VI, Anexo 1-Ecuador)

(**) Límite Máximo Permisible para descargas de Efluente Líquidos Minero Metalúrgicos Anexo 01-Perú)

De la Tabla 4, se puede apreciar que el Límite Máximo Permisible para el Manganeso se encuentra en un nivel superior de lo permitido con 354.76 mg/l, con relación al LMP estándar en 2.0 mg/l; del mismo modo para el Hierro se encuentra también en un nivel superior de lo permitido con 987.43 mg/l, en relación al LMP estándar en 2.0 mg/l. De la misma manera, el pH

establecido tiene un valor entre 5 a 9, el cual se encuentra por debajo del nivel normal con 3.68, los demás parámetros determinados como Conductividad Eléctrica (EC) y Sólidos Totales Disueltos (TDS) no se encuentran en la norma estándar establecida.

O. E - 2. Identificar la capacidad de oxidación del ozono y filtración en drenajes ácidos de mina que influye en la remoción del manganeso, de la laguna Quiulacocha, Pasco, 2023.

4.2. Niveles de remoción del Manganeso

En las siguientes tablas, se muestran los resultados alcanzados en los seis sistemas de tratamiento en medio ácido y alcalino, con pH de 4, 5, 6, 7, 8, y 9 los cuales fueron trabajados por triplicado y con tiempos de contacto con el Ozono de 5, 10, 15, 20 y 30 minutos. La dosis utilizada en el proceso de Ozonización para la remoción de Manganeso fue de 150 mg/h para todos los tratamientos y un volumen de muestra de 1 litro para cada caso en particular, cada tratamiento fue realizado por triplicado para cada tiempo utilizado y se elaboraron figuras en función a los promedios obtenidos, de manera que se pueda observar el comportamiento asumido.

4.2.1. Resultados del Tratamiento a pH 4

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en la remoción de Manganeso por procesos de ozonización y filtración a pH 4.

Tabla n°5. Resultados de Remoción de Manganeso a pH 4

MUESTRA	TIEMPOS (Minutos)				
Concentración (O3): 150 mg/hr	5	10	15	20	30
pH	3.35	2.98	2.46	1.98	1.78
Concentración inicial (Mn)	354.76 mg/l				
Replicas	Concentración de Mn (mg/l)				
1	234.16	207.64	189.67	162.87	122.96
2	233.76	208.48	182.34	168.63	126.56

3	232.86	209.66	183.13	167.96	125.88
PROMEDIO	233.59	208.59	185.05	166.49	125.13
Con Filtración Final	230.26	206.32	182.32	163.85	122.63

4.2.2. Resultados del Tratamiento a pH 5

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en la remoción de Manganeso por procesos de ozonización y Filtración a pH 5.

Tabla n° 6. Resultados de Remoción de Manganeso a pH 5

MUESTRA	TIEMPOS (Minutos)				
Concentración (O3): 150 mg/hr	5	10	15	20	30
pH	4.36	4.11	3.42	3.02	2.82
Concentración inicial (Mn)	354.76 mg/l				
Replicas	Concentración de Mn (mg/l)				
1	198.02	172.86	158.76	134.76	93.27
2	197.76	171.89	157.23	128.82	97.46
3	197.02	170.87	159.54	130.31	95.65
PROMEDIO	197.60	171.87	158.51	131.30	95.46
Con Filtración Final	194.23	169.14	155.78	129.11	92.15

4.2.3. Resultados del Tratamiento a pH 6

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en la remoción de Manganeso por procesos de Ozonización y Filtración a pH 6.

Tabla n° 7. Resultados de Remoción de Manganeso a pH 6

MUESTRA	TIEMPOS (Minutos)				
Concentración (O3): 150 mg/hr	5	10	15	20	30
pH	5.11	4.62	4.12	3.65	3.23
Concentración inicial (Mn)	354.76 mg/l				
Replicas	Concentración de Mn (mg/l)				
1	169.68	141.24	111.39	95.25	78.17

2	168.72	143.23	110.58	91.34	76.35
3	166.76	145.11	112.77	93.43	74.53
PROMEDIO	168.39	143.19	111.58	93.34	76.35
Con Filtración Final	165.54	141.37	109.36	91.12	73.06

4.2.4. Resultados del Tratamiento a pH 7

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en la remoción de Manganeso por procesos de ozonización y filtración a pH 7.

Tabla n° 8. Resultados de Remoción de Manganeso a pH 7

MUESTRA	TIEMPOS (Minutos)				
Concentración (O3): 150 mg/hr	5	10	15	20	30
pH	6.35	5.73	5.15	4.62	3.91
Concentración inicial (Mn)	354.76 mg/l				
Replicas	Concentración de Mn (mg/l)				
1	121.16	95.25	67.83	42.84	10.54
2	118.24	94.17	65.74	41.95	10.65
3	120.38	93.03	66.62	40.76	10.43
PROMEDIO	119.93	94.15	66.73	41.85	10.54
Con Filtración Final	116.43	91.47	62.09	39.11	9.27

4.2.5. Resultados del Tratamiento a pH 8

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en la remoción de Manganeso por procesos de ozonización y filtración a pH 8.

Tabla n° 9. Resultados de Remoción de Manganeso a pH 8

MUESTRA	TIEMPOS (Minutos)				
Concentración (O3): 150 mg/hr	5	10	15	20	30
pH	7.11	6.79	5.92	5.13	4.54

Concentración inicial (Mn)		354.76 mg/l				
Replicas	Concentración de Mn (mg/l)					
1	104.92	77.93	41.68	20.54	4.64	
2	102.81	75.81	43.46	19.36	4.56	
3	100.73	73.75	45.85	21.48	4.42	
PROMEDIO	102.82	75.83	43.66	20.46	4.54	
Con Filtración Final	100.11	73.04	40.92	19.31	3.31	

4.2.6. Resultados del Tratamiento a pH 9

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en la remoción de Manganeso por procesos de ozonización y Filtración a pH 9.

Tabla n° 10. Resultados de Remoción de Manganeso a pH 9

MUESTRA	TIEMPOS (Minutos)				
Concentración (O3): 150 mg/hr	5	10	15	20	30
pH	8.34	7.56	6.62	5.77	4.82
Concentración inicial (Mn)	354.76 mg/l				
Replicas	Concentración de Mn (mg/l)				
1	87.06	55.05	34.50	13.48	1.12
2	86.86	54.51	34.51	12.50	1.08
3	86.62	54.53	34.52	13.52	0.98
PROMEDIO	86.74	54.70	34.51	13.16	1.05
Con Filtración Final	85.21	53.06	32.43	12.15	0.96

O. E -2.1 Identificar la capacidad de oxidación del ozono y filtración en drenajes ácidos de mina que influye en la remoción de hierro, de la laguna Quiulacocha, Pasco, 2023.

Niveles de remoción del Hierro

En las siguientes tablas, se muestran los resultados alcanzados en los seis sistemas de tratamiento en medio ácido y alcalino, con pH de 4, 5, 6, 7, 8, y 9 los cuales fueron trabajados por triplicado y con tiempos de contacto

con el Ozono de 5, 10, 15, 20 y 30 minutos. La dosis utilizada en el proceso de Ozonización para la remoción de Hierro fue de 150 mg/h para todos los tratamientos y un volumen de muestra de 1 litro para cada caso en particular, cada tratamiento fue realizado por triplicado para cada tiempo utilizado y se elaboraron figuras en función a los promedios obtenidos, de manera que se pueda observar el comportamiento asumido.

Resultados del Tratamiento a pH 4

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en la remoción de Hierro por procesos de ozonización y filtración a pH 4.

Tabla n° 11. Resultados de Remoción de Hierro a pH 4

MUESTRA	TIEMPOS (Minutos)				
Concentración (O3): 150 mg/hr	5	10	15	20	30
pH	3.35	2.98	2.46	1.98	1.78
Concentración inicial (Mn)	987.43 mg/l				
Replicas	Concentración de Fe (mg/l)				
1	822.46	770.27	666.52	551.36	393.72
2	820.35	769.35	668.46	555.48	398.94
3	821.24	762.43	670.69	553.54	391.56
PROMEDIO	820.68	767.38	668.55	553.46	394.74
Con Filtración Final	817.28	765.22	665.39	551.83	392.39

Resultados del Tratamiento a pH 5

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en la remoción de Hierro por procesos de ozonización y filtración a pH 5.

Tabla n° 12. Resultados de Remoción de Hierro a pH 5

MUESTRA	TIEMPOS (Minutos)				
Concentración (O3): 150 mg/hr	5	10	15	20	30

pH	4.36	4.11	3.42	3.02	2.82
Concentración inicial (Mn)	987.43 mg/l				
Replicas	Concentración de Fe (mg/l)				
1	674.44	565.21	450.93	344.59	233.99
2	672.99	564.95	452.75	346.94	237.06
3	671.83	566.02	454.05	348.15	235.63
PROMEDIO	673.08	565.39	452.57	346.56	235.56
Con Filtración Final	670.89	563.41	450.03	344.99	233.25

Resultados del Tratamiento a pH 6

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en la remoción de Hierro por procesos de Ozonización y Filtración a pH 6.

Tabla n° 13. Resultados de Remoción de Hierro a pH 6

MUESTRA	TIEMPOS (Minutos)				
Concentración (O3): 150 mg/hr	5	10	15	20	30
pH	5.11	4.62	4.12	3.65	3.23
Concentración inicial (Fe)	987.43 mg/l				
Replicas	Concentración de Mn (mg/l)				
1	487.19	390.35	298.11	245.25	138.17
2	479.37	386.23	292.92	241.34	129.35
3	485.55	392.11	293.85	243.43	134.53
PROMEDIO	484.03	389.56	294.96	243.34	134.01
Con Filtración Final	481.88	387.22	292.34	241.09	132.17

Resultados del Tratamiento a pH 7

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en la remoción de Hierro por procesos de Ozonización y Filtración a pH 7

Tabla n° 14. Resultados de Remoción de Hierro a pH 7

MUESTRA	TIEMPOS (Minutos)				
---------	-------------------	--	--	--	--

Concentración (O3): 150 mg/hr	5	10	15	20	30
pH	6.35	5.73	5.15	4.62	3.91
Concentración inicial (Fe)	987.43 mg/l				
Replicas	Concentración de Mn (mg/l)				
1	229.16	185.13	127.43	78.99	31.98
2	228.24	184.87	125.99	79.12	32.84
3	230.38	183.97	126.92	81.73	33.13
PROMEDIO	229.26	184.65	126.78	79.95	32.65
Con Filtración Final	226.87	181.55	124.77	78.06	30.19

Resultados del Tratamiento a pH 8

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en la remoción de Hierro por procesos de Ozonización y Filtración a pH 8.

Tabla n° 15. Resultados de Remoción de Hierro a pH 8

MUESTRA	TIEMPOS (Minutos)				
Concentración (O3): 150 mg/hr	5	10	15	20	30
pH	7.11	6.79	5.92	5.13	4.54
Concentración inicial (Fe)	987.43 mg/l				
Replicas	Concentración de Mn (mg/l)				
1	97.92	77.93	51.28	32.54	11.64
2	98.81	75.81	53.16	33.36	10.56
3	99.73	73.75	55.23	35.48	10.42
PROMEDIO	98.82	75.83	53.22	33.79	10.87
Con Filtración Final	96.14	72.57	50.99	31.11	8.29

Resultados del Tratamiento a pH 9

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en la remoción de Hierro por procesos de Ozonización y Filtración a pH 9.

Tabla n° 16. Resultados de Remoción de Hierro a pH 9

MUESTRA	TIEMPOS (Minutos)				
Concentración (O3): 150 mg/hr	5	10	15	20	30
pH	8.34	7.56	6.62	5.77	4.82
Concentración inicial (Fe)	987.43 mg/l				
Replicas	Concentración de Mn (mg/l)				
1	86,10	63.45	41,50	28.48	1.19
2	89.64	65.41	44.51	27.5	1.01
3	87.83	67.33	47.52	28.52	0.89
PROMEDIO	87.86	65.39	44.51	28.17	1.03
Con Filtración Final	85.23	63.17	42.08	26.05	0.92

O.E – 3 Determinar la eficiencia por procesos de ozonización y filtración en la remoción de Manganeso en Drenajes Ácidos de Mina depositados en la laguna Quiulacocha, Pasco, 2023.

4.3. Eficiencias alcanzadas por cada pH para Manganeso

Finalizados los tiempos de tratamiento de 5, 10, 15, 20 y 30 minutos para los pH de 4, 5 y 6 en medio ácido, 7 neutro; y de 8 al 9 en medio alcalino, se procedieron a determinar las eficiencias correspondientes para cada tratamiento en particular, según se detallan a continuación:

4.3.1. Eficiencias a pH 4

El cálculo de las eficiencias a pH 4, se determinó considerando la concentración inicial de Manganeso y las concentraciones finales para los tiempos de 5, 10, 15, 20 y 30 minutos.

Tabla n° 17. Eficiencias alcanzadas a pH 4

MUESTRA	TIEMPOS (Minutos)				
Concentración (O3): 150 mg/hr	5	10	15	20	30

Concentración inicial (Mn)		354.76 mg/l				
Replicas	Concentración de Mn (mg/l)					
Con Filtración Final	230.26	206.32	182.32	163.85	122.63	
% Eficiencia	35.09	41.82	48.61	53.81	65.43	

De acuerdo con los resultados obtenidos para los cinco tiempos considerados en el tratamiento se puede apreciar que las eficiencias varían según los tiempos de aplicación del sistema de Ozonificación, donde la mayor eficiencia se logra alcanzar con el tiempo de 30 minutos obteniéndose el 65.43%.

4.3.2. Eficiencias a pH 5

El cálculo de las eficiencias a pH 5, se determinó considerando la concentración inicial de Manganeso y las concentraciones finales para los tiempos de 5, 10, 15, 20 y 30 minutos.

Tabla n° 18. Eficiencias alcanzadas a pH 5

MUESTRA	TIEMPOS (Minutos)					
Concentración (O3): 150 mg/hr	5	10	15	20	30	
Concentración inicial (Mn)		354.76 mg/l				
Replicas	Concentración de Mn (mg/l)					
Con Filtración Final	194.23	169.14	155.78	129.11	92.15	
% Eficiencia	45.25	52.33	56.08	63.60	74.02	

De acuerdo con los resultados obtenidos para los cinco tiempos considerados en el tratamiento se puede apreciar que las eficiencias varían según los tiempos de aplicación del sistema de Ozonificación, donde la mayor eficiencia se logra alcanzar con el tiempo de 30 minutos obteniéndose el 74.02%.

4.3.3. Eficiencias a pH 6

El cálculo de las eficiencias a pH 6, se determinó considerando la concentración inicial de Manganeso y las concentraciones finales para los tiempos de 5, 10, 15, 20 y 30 minutos.

Tabla n° 19. Eficiencias alcanzadas a pH 6

MUESTRA	TIEMPOS (Minutos)				
Concentración (O3): 150 mg/hr	5	10	15	20	30
Concentración inicial (Mn)	354.76 mg/l				
Replicas	Concentración de Mn (mg/l)				
Con Filtración Final	165.54	141.37	109.36	91.12	73.06
% Eficiencia	53.33	60.15	69.17	74.32	79.40

De acuerdo con los resultados obtenidos para los cinco tiempos considerados en el tratamiento se puede apreciar que las eficiencias varían según los tiempos de aplicación del sistema de Ozonificación, donde la mayor eficiencia se logra alcanzar con el tiempo de 30 minutos obteniéndose el 79.40%.

4.3.4. Eficiencias a pH 7

El cálculo de las eficiencias a pH 8, se determinó considerando la concentración inicial de Manganeso y las concentraciones finales para los tiempos de 5, 10, 15, 20 y 30 minutos.

Tabla n° 20. Eficiencias alcanzadas a pH 7

MUESTRA	TIEMPOS (Minutos)				
Concentración (O3): 150 mg/hr	5	10	15	20	30
Concentración inicial (Mn)	354.76 mg/l				
Replicas	Concentración de Mn (mg/l)				

Con Filtración Final	116.43	91.47	62.09	39.11	9.27
% Eficiencia	67.18	74.22	82.49	88.97	97.38

De acuerdo con los resultados obtenidos para los cinco tiempos considerados en el tratamiento se puede apreciar que las eficiencias varían según los tiempos de aplicación del sistema de Ozonificación, donde la mayor eficiencia se logra alcanzar con el tiempo de 30 minutos obteniéndose el 97.38%.

4.3.5. Eficiencias a pH 8

El cálculo de las eficiencias a pH 8, se determinó considerando la concentración inicial de Manganeso y las concentraciones finales para los tiempos de 5, 10, 15, 20 y 30 minutos.

Tabla n° 21. Eficiencias alcanzadas a pH 8

MUESTRA	TIEMPOS (Minutos)				
Concentración (O3): 150 mg/hr	5	10	15	20	30
Concentración inicial (Mn)	354.76 mg/l				
Replicas	Concentración de Mn (mg/l)				
Con Filtración Final	100.11	73.04	40.92	19.31	3.31
% Eficiencia	71.78	79.41	88.46	94.55	99.06

De acuerdo con los resultados obtenidos para los cinco tiempos considerados en el tratamiento se puede apreciar que las eficiencias varían según los tiempos de aplicación del sistema de Ozonificación, donde la mayor eficiencia se logra alcanzar con el tiempo de 30 minutos obteniéndose el 99.06%.

4.3.6. Eficiencias a pH 9

El cálculo de las eficiencias a pH 9, se determinó considerando la concentración inicial de Manganeso y las concentraciones finales para

los tiempos de 5, 10, 15, 20 y 30 minutos.

Tabla n° 22. Eficiencias alcanzadas a pH 9

MUESTRA	TIEMPOS (Minutos)				
Concentración (O3): 150 mg/hr	5	10	15	20	30
Concentración inicial (Mn)	354.76 mg/l				
Replicas	Concentración de Mn (mg/l)				
Con Filtración Final	85.21	53.06	32.43	12.15	0.96
% Eficiencia	75.98	85.04	90.86	96.57	99.73

De acuerdo con los resultados obtenidos para los cinco tiempos considerados en el tratamiento se puede apreciar que las eficiencias varían según los tiempos de aplicación del sistema de Ozonificación, donde la mayor eficiencia se logra alcanzar con el tiempo de 30 minutos obteniéndose el 99.73%.

O.E – 3.1 Determinar la eficiencia por procesos de ozonización y filtración en la remoción de Hierro en Drenajes Ácidos de Mina depositados en la laguna Quiulacocha, Pasco,2023.

4.4. Eficiencias alcanzadas por cada pH para el Hierro

Finalizados los tiempos de tratamiento de 5, 10, 15, 20 y 30 minutos para los pH de 4, 5 y 6 en medio ácido, 7 neutro; y de 8 al 9 en medio alcalino, se procedieron a determinar las eficiencias correspondientes para cada tratamiento en particular, según se detallan a continuación:

4.4.1. Eficiencias a pH 4

El cálculo de las eficiencias a pH 4, se determinó considerando la concentración inicial de Manganeseo y las concentraciones finales para los tiempos de 5, 10, 15, 20 y 30 minutos.

Tabla n° 23. Eficiencias alcanzadas a pH 4

MUESTRA	TIEMPOS (Minutos)				
Concentración (O3): 150 mg/hr	5	10	15	20	30
Concentración inicial (Mn)	987.43 mg/l				
Replicas	Concentración de Fe (mg/l)				
Con Filtración Final	817.28	765.22	665.39	551.83	392.39
% Eficiencia	17.23	22.5	32.61	44.11	60.26

De acuerdo con los resultados obtenidos para los cinco tiempos considerados en el tratamiento se puede apreciar que las eficiencias varían según los tiempos de aplicación del sistema de Ozonificación, donde la mayor eficiencia se logra alcanzar con el tiempo de 30 minutos obteniéndose el 60.26%.

4.4.2. Eficiencias a pH 5

El cálculo de las eficiencias a pH 5, se determinó considerando la concentración inicial de Manganeso y las concentraciones finales para los tiempos de 5, 10, 15, 20 y 30 minutos.

Tabla n° 24. Eficiencias alcanzadas a pH 5

MUESTRA	TIEMPOS (Minutos)				
Concentración (O3): 150 mg/hr	5	10	15	20	30
Concentración inicial (Mn)	987.43 mg/l				
Replicas	Concentración de Fe (mg/l)				
Con Filtración Final	670.89	563.41	450.03	344.99	233.25
% Eficiencia	32.06	42.94	54.42	65.06	76.38

De acuerdo con los resultados obtenidos para los cinco tiempos considerados en el tratamiento se puede apreciar que las eficiencias

varían según los tiempos de aplicación del sistema de Ozonificación, donde la mayor eficiencia se logra alcanzar con el tiempo de 30 minutos obteniéndose el 76.38%.

4.4.3. Eficiencias a pH 6

El cálculo de las eficiencias a pH 6, se determinó considerando la concentración inicial de Manganeso y las concentraciones finales para los tiempos de 5, 10, 15, 20 y 30 minutos.

Tabla n° 25. Eficiencias alcanzadas a pH 6

MUESTRA	TIEMPOS (Minutos)				
Concentración (O3): 150 mg/hr	5	10	15	20	30
Concentración inicial (Fe)	987,43 mg/l				
Replicas	Concentración de Mn (mg/l)				
Con Filtración Final	481.88	387.22	292.34	241.09	132.17
% Eficiencia	51.19	60.78	70.39	75.58	86.61

De acuerdo con los resultados obtenidos para los cinco tiempos considerados en el tratamiento se puede apreciar que las eficiencias varían según los tiempos de aplicación del sistema de Ozonificación, donde la mayor eficiencia se logra alcanzar con el tiempo de 30 minutos obteniéndose el 86.61%.

4.4.4. Eficiencias a pH 7

El cálculo de las eficiencias a pH 8, se determinó considerando la concentración inicial de Manganeso y las concentraciones finales para los tiempos de 5, 10, 15, 20 y 30 minutos.

Tabla n° 26. Eficiencias alcanzadas a pH 7

MUESTRA	TIEMPOS (Minutos)				
Concentración (O3): 150 mg/hr	5	10	15	20	30
Concentración inicial (Fe)	987,43 mg/l				
Replicas	Concentración de Mn (mg/l)				
Con Filtración Final	226.87	181.55	124.77	78.06	30.19
% Eficiencia	77.02	81.61	87.36	92.09	96.94

De acuerdo con los resultados obtenidos para los cinco tiempos considerados en el tratamiento se puede apreciar que las eficiencias varían según los tiempos de aplicación del sistema de Ozonificación, donde la mayor eficiencia se logra alcanzar con el tiempo de 30 minutos obteniéndose el 96.94%.

4.4.5. Eficiencias a pH 8

El cálculo de las eficiencias a pH 8, se determinó considerando la concentración inicial de Manganeso y las concentraciones finales para los tiempos de 5, 10, 15, 20 y 30 minutos.

Tabla n° 27. Eficiencias alcanzadas a pH 8

MUESTRA	TIEMPOS (Minutos)				
Concentración (O3): 150 mg/hr	5	10	15	20	30
Concentración inicial (Fe)	987,43 mg/l				
Replicas	Concentración de Mn (mg/l)				
Con Filtración Final	96.14	72.57	50.99	31.11	8.29
% Eficiencia	90.26	92.65	94.84	96.84	99.16

De acuerdo con los resultados obtenidos para los cinco tiempos considerados en el tratamiento se puede apreciar que las eficiencias

varían según los tiempos de aplicación del sistema de Ozonificación, donde la mayor eficiencia se logra alcanzar con el tiempo de 30 minutos obteniéndose el 99.16%.

4.4.6. Eficiencias a pH 9

El cálculo de las eficiencias a pH 9, se determinó considerando la concentración inicial de Manganeseo y las concentraciones finales para los tiempos de 5, 10, 15, 20 y 30 minutos.

Tabla n° 28. Eficiencias alcanzadas a pH 9

MUESTRA	TIEMPOS (Minutos)				
Concentración (O3): 150 mg/hr	5	10	15	20	30
Concentración inicial (Fe)	987,43 mg/l				
Replicas	Concentración de Mn (mg/l)				
Con Filtración Final	85.23	63.17	42.08	26.05	0.92
% Eficiencia	91.37	93.6	95.74	97.36	99.91

De acuerdo con los resultados obtenidos para los cinco tiempos considerados en el tratamiento se puede apreciar que las eficiencias varían según los tiempos de aplicación del sistema de Ozonificación, donde para todos los tiempos superan una eficiencia de 91%; sin embargo, la mayor eficiencia se logra alcanzar con el tiempo de 30 minutos obteniéndose el 99.91%.

4.5. Análisis Estadístico

Para analizar estadísticamente los datos obtenidos en los resultados de la investigación se agrupa de la siguiente manera según los parámetros a tomar en cuenta en el presente estudio:

Tabla n° 29. Resultados de datos agrupados de tratamiento aplicado por oxidación por ozono y filtración para remoción de concentración de Manganeseo

en aguas de drenaje ácido de roca de la Laguna Quiulacocha, Región Pasco,
2023 Anexo 5.

Tabla n° 30. Resultados de datos agrupados de tratamiento aplicado por oxidación por ozono y filtración para remoción de concentración de Hierro en aguas de drenaje ácido de roca de la Laguna Quiulacocha, Región Pasco,
2023 Anexo 6.

Para determinar el DAM en la tabla 1 y 2 que corresponde a la aplicación del tratamiento oxidación con ozono y filtración en la disminución de la Manganeseo y Hierro en Drenaje Ácido de Mina de la Laguna Quiulacocha, Región Pasco, 2023, se procede a aplicar la prueba de normalidad Anderson Darling (AD) en lo cual se tiene:

✓ Prueba de Normalidad

Para la disminución del Manganeseo

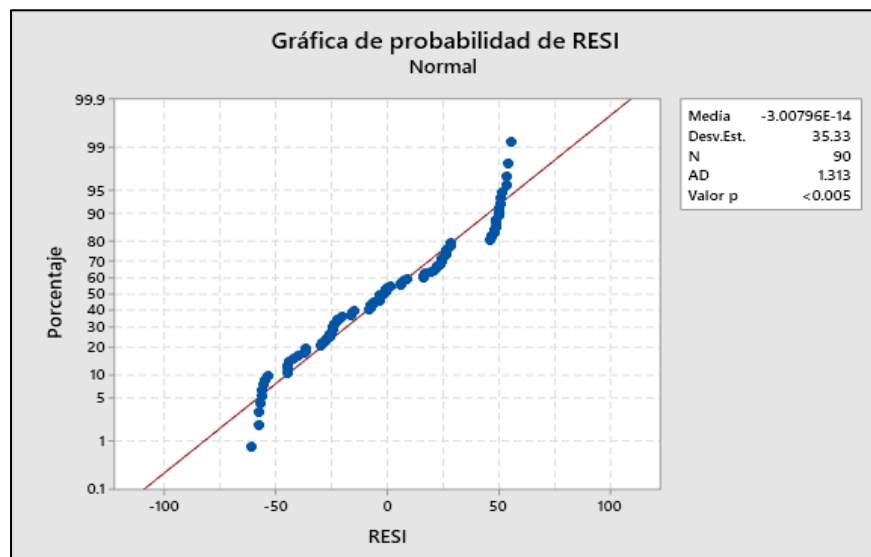
Prueba de Normalidad para los errores (AD)

Se aplican los siguientes argumentos:

H0: Los DAM se distribuyen normalmente

Ha: Los DAM no se distribuyen normalmente

Figura n°3. Prueba de Normalidad de Residuos Anderson Darling (AD) para la reducción de Manganeseo aplicando los tratamientos, elaborado en MINITAB versión 2019



De lo calculado se obtiene que el valor $p < 0.05$ como también el indicador (AD= 1.313) por consiguiente se rechaza la hipótesis nula, argumentando que con una significancia del 5% se acepta el supuesto que los DAM no presentan una distribución Normal, esto se debe que la experimentación presenta dispersión de datos.

Para la remoción de Hierro

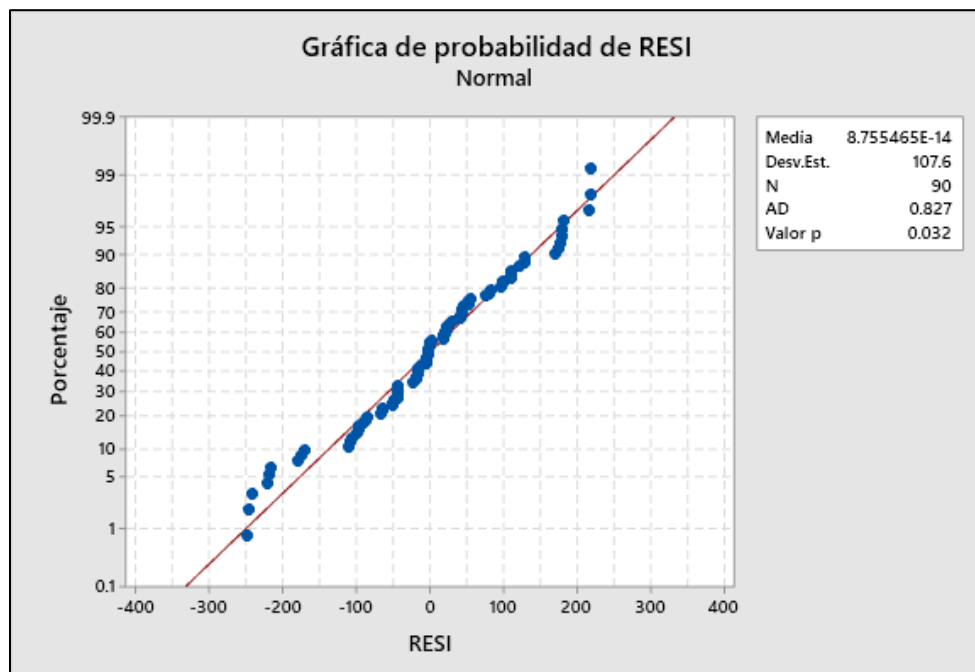
Prueba de Normalidad para los errores (AD)

Se aplican los siguientes argumentos:

H0: Los DAM se distribuyen normalmente

Ha: Los DAM no se distribuyen normalmente

Figura n°4. Prueba de Normalidad de Residuos Anderson Darling (AD) para la reducción de Hierro aplicando los tratamientos, elaborado en MINITAB versión 2019



De lo calculado se obtiene que el valor $p < 0.05$) como también el indicador (AD= 0.827) por consiguiente se rechaza la hipótesis nula, argumentando que con una significancia del 5% se acepta el supuesto DAM no presentan una distribución Normal, esto se debe que la experimentación presenta dispersión de datos.

✓ Homogeneidad de Varianzas

Para ambos casos se plantea:

H0: Las varianzas son iguales

Ha: Al menos una varianza es diferente

Para la remoción de Manganeseo

Calculando el índice de Levene = 0.22 y p valor = 0.954 > 0.05, se acepta la hipótesis nula por consiguiente las varianzas son iguales

Para la reducción del Hierro se calcula el índice de Levene = 9.28 y p valor = 0.000 < 0.05, se rechaza la hipótesis nula por consiguiente al menos una varianza es diferente.

Cabe mencionar que esta variabilidad de resultados en la prueba de igualdad de varianzas que se genera en el caso del hierro al momento de analizar datos presenta mayor movilidad en los mismos y porque el conjunto de datos es no paramétrico en ambos casos

✓ Prueba hipótesis DCA:

Al menos un tratamiento es más efectivo aplicando Oxidación con Ozono y Filtración en Drenaje Ácido de Mina para la Remoción de Manganeseo de la Laguna Quiulacocha, Región Pasco, 2023.

H0: Los tratamientos no presentan diferencias significativas entre si

Ha: Los tratamientos presentan diferencias significativas entre si

Cabe resaltar que los datos no presentan una distribución normal se aplica la prueba Kruskal-Wallis, el cual el coeficiente H = 61.16 y un p-valor = 0.00 y sabiendo que p-valor < 0.05 se decide aceptarla hipótesis alterna y rechazar la hipótesis nula es decir los tratamientos presentan diferencias significativas entre si (respecto a las medianas)

Al menos un tratamiento es más efectivo aplicando Oxidación con Ozono y Filtración en Drenaje Ácido de Mina para la Remoción de Hierro de la Laguna Quiulacocha, Región Pasco, 2023.

H0: Los tratamientos no presentan diferencias significativas en las medianas entre si

Ha: Los tratamientos presentan diferencias significativas en las medianas entre si

Cabe resaltar que los datos no presentan una distribución normal, el cual se aplicó la prueba Krustal-Wallis, el cual el coeficiente H= 73.55 y un p-valor = 0.000 y sabiendo que p-valor < 0.05 el cual se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula; es decir que los tratamientos presentan diferencias significativas entre sí.

✓ Prueba de comparación o efectividad de métodos (Test de Tukey)

Prueba Tukey:

H0: $\mu_i = \mu_j$

Ha: $\mu_i \neq \mu_j$

Por lo que se tiene:

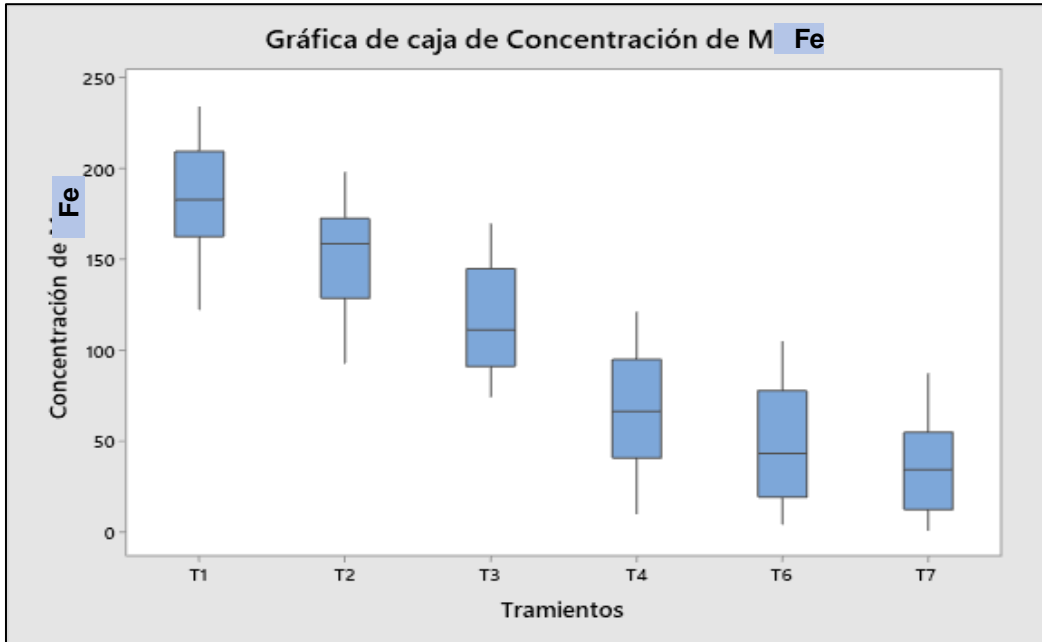
Para la remoción de Manganeso:

Tabla n° 31. Prueba Tukey de Aplicación de tratamientos para la remoción de Manganeso aplicando Oxidación con Ozono y Filtración en Drenaje Ácido de Mina para la Remoción de Hierro de la Laguna Quiulacocha, Región Pasco, 2023.

TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
T1	1 5	183.7 71	A
T2	1 5	150.9 48	A B
T3	1 5	118.5 70	B
T4	1 5	66.63 9	C
T6	1 5	49.46 3	C
T7	1 5	38.05 6	C

Fuente: MINITAB versión 19, las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

Figura n°5. Presentación de Resultados de la prueba tukey respecto a la remoción de la Manganese, elaborado en MINITAB versión 19.



En relación con los tratamientos se puede enfatizar que el T7 es el tratamiento más eficiente en la remoción de Manganese, el cual consiste en oxidación del agua con ozono a 150 mg/h a pH 9 con dosis de filtrado de 30 minutos de aplicación en el cual se remueve eficientemente, presentando el valor más bajo en las agrupaciones verificando su eficiencia.

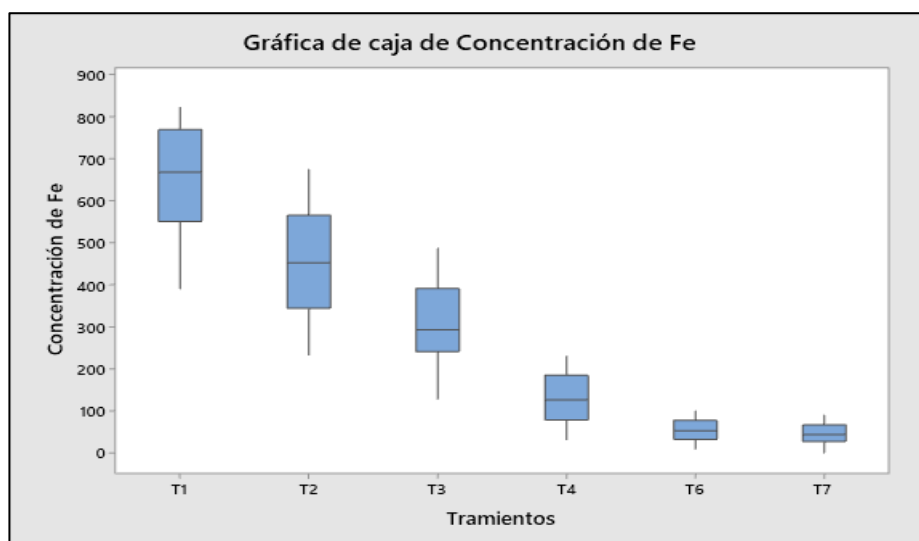
Para la remoción de Hierro:

Tabla n° 32. Prueba Tukey de Aplicación de tratamientos para la remoción de Manganeso aplicando Oxidación con Ozono y Filtración en Drenaje Ácido de Mina para la Remoción de Hierro de la Laguna Quiulacocha, Región Pasco, 2023.

TRATAMIENTO	N	Medi a	Agrupación
T1	1 5	641.0 91	A B C D D D
T2	1 5	454.6 35	
T3	1 5	309.1 83	
T4	1 5	130.6 59	
T6	1 5	54.50 8	
T7	1 5	45.39 2	

Fuente: MINITAB versión 19, las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Figura n°6. Presentación de Resultados de la prueba tukey respecto a la remoción del Hierro, elaborado en MINITAB versión 19.



De lo que se desprende que el T7 es el tratamiento más eficiente en la remoción de Manganeso el cual consiste en oxidación del agua con ozono a 150 mg/h a pH 9 con dosis de filtrado de 30 minutos de

aplicación en el cual se remueve eficientemente, presentando el valor más bajo en las agrupaciones verificando su eficiencia.

Lo que permite hacer un comparativo en la eficiencia de remoción de los tratamientos aplicados por oxidación con ozono y filtración en diferentes concentraciones y dosis diluidas para la remoción de Manganeseo y Hierro en Drenaje Ácido de Mina para la Remoción de Hierro de la Laguna Quiulacocha, Región Pasco, 2023.

Tabla n° 33. *Comparación de aplicación de mejor tratamiento aplicado para la remoción de Manganeseo y Hierro en Drenaje Ácido de Mina para la Remoción de Hierro de la Laguna Quiulacocha, Región Pasco, 2023.*

	Manganeseo	Hierro
Tratamiento	Oxidación del agua con ozono a 150 mg/h	Oxidación del agua con ozono a 150 mg/h
Dosis	Filtración a 30 min	Filtración a 30 min
pH	9	9
Concentración (mg/l)	0.98	0.89
Eficiencia de remoción (%)	99.724	99.910

Tabla n° 34. Contrastación de Hipótesis

HIPÓTESIS GENERAL	ARGUMENTACIÓN	CONTRASTACIÓN
La oxidación con ozono y filtración en drenajes ácidos de mina facilita significativamente la remoción de hierro y manganeso, de la laguna Quiulacocha, Pasco, 2023.	Si facilita el análisis realizado para el proceso de ozonización y filtración permitieron remociones altas respecto al manganeso y hierro contenidos en el agua residual de drenaje ácido de mina. (Verdadera)	Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.
HIPÓTESIS ESPECÍFICAS		
La capacidad de oxidación del ozono y filtración en drenajes ácidos de mina influye en la remoción de hierro y manganeso, de la laguna Quiulacocha, Pasco, 2023.	Si la capacidad de oxidación del ozono y filtración influyen significativamente con los datos obtenidos del pH, es remover el Mn y Fe de los drenajes ácidos de mina. (Verdadera)	Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna
Las propiedades fisicoquímicas en el proceso de oxidación del ozono y filtración en drenajes ácidos de mina influyen en la remoción de hierro y manganeso, de la laguna Quiulacocha, Pasco, 2023.	Si las propiedades fisicoquímicas influyen en la remoción del Mn y Fe de los drenajes ácidos de mina. (Verdadera)	Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna
La eficiencia por procesos de ozonización y filtración generaron la remoción de Hierro y Manganeso en Drenajes Ácidos de Mina depositados en la laguna Quiulacocha, Pasco, 2023.	Si, influye eficientemente aplicando ozonización y filtración se puede obtener eficiencias de remoción mayores a 90% por lo cual es muy eficiente este tratamiento en aguas de drenaje ácido de mina. (Verdadera)	Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna

Fuente: Elaboración propia

V. DISCUSIÓN

El ozono y filtración juegan un papel importante en la remoción de hierro y manganeso en el drenaje ácido de mina; siendo de acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación, que se demostró que la filtración presentó eficiencias de remoción mayores al 65% para el manganeso con un tiempo de 30 minutos.

La ozonificación es un sistema que permite lograr altos niveles de remoción superiores al 90%, Así mismo lo manifiesta Shekarian Younes et al., (2022, p.1); que el ozono es el agente más efectivo para la recuperación de Mn, donde, en base a sus resultados se recuperó más del 95 % de Mn, a través del proceso de precipitación oxidativa con ozono sin productos químicos.

También Gomes Thauan et al., (2022, p.1); menciona que después de la aplicación de ozono se redujo el azufre en un 62%, afirmando que el ozono y el peróxido de hidrógeno aumentaron la lixiviación de metales y redujeron la ecotoxicidad en comparación con un grupo de control, recomendando como una estrategia efectiva para mitigar la DAM. Sin embargo, Hu Xin et al., (2022, p.1); en su presente estudio a escala piloto, aplicó la tecnología de oxidación química para precipitar hierro de alta concentración ($510,3 \pm 50$ mg/L) en condiciones ácidas y los resultados experimentales mostraron que la tasa de oxidación de Fe 2+ y la tasa de eliminación de Fe total superaron el 99 %, mientras que la pérdida de Cu y Mn no superó el 4 %. aunque en términos económicos mostró que este método era 14 centavos más barato por m³ que el método tradicional de neutralización con cal para tratar DAM, lo que resultaría en grandes ahorros anuales para los costos de tratamiento de lodos.

Del mismo modo, Gervais Mélinda et al., (2020, p.1); realizaron 3 tratamientos de (POA)Proceso de Oxidación Avanzada, entre estas la ozonización a diferencia de otros estudios aplicando la variación de temperatura y tiempo, donde los resultados mostraron que las microburbujas de O₃ dieron una mejor eficiencia (99 %) que el Fe húmedo(VI) en un 82 %, después de 2 h de tratamiento con tiosulfato; observándose tendencias similares con efluentes

sintéticos y reales para tratamiento con H₂O₂. La eliminación eficiente de las tiosales en el efluente real requirió varios días de reacción a 8 °C (98 %), mientras que la eliminación eficiente a 22 °C (90 %) se alcanzó después de 1 h de tratamiento. Los tres AOP probados demostraron ser prometedores para la eliminación de tiosales. Además, el H₂O₂ permitió una mejor eliminación del tiosulfato que el Fe (VI húmedo), pero demostró ser ineficaz para oxidar otras especies intermedias y requirió un tiempo de tratamiento más largo.

Así mismo, Gervais Mélinda et al., (2020, p.1); en su estudio señala que el O₃ para obtener mayores porcentajes de remoción requiere de un mayor tiempo; siendo las microburbujas tienen una eficiencia mayor del 99% a diferencia del Fe húmedo al 82% después de un tiempo mayor de 2 horas.

También, ello se debe a factores como el tiempo; donde las eficiencias de remoción varían según los tiempos de aplicación del sistema de Ozonificación, y es que, la mayor eficiencia se logra alcanzar con el tiempo de 30 minutos. Siendo estos resultados similares a los obtenidos por Tian Xuan et al., (2019, p.347), donde menciona que la eficiencia de eliminación de manganeso del filtro disminuye gradualmente conforme se va incrementando el tiempo siendo de un 96 % a un 46,20 % en cuanto mayor sea el tiempo que se deje transcurrir; además, también señala que la disminución del pH desfavorece la oxidación del manganeso.

Siendo lo anteriormente mencionado similar a los resultados obtenidos de este presente estudio tiene cinco tiempos considerados en el tratamiento, el cual se aprecia que las eficiencias varían según los tiempos de aplicación del sistema de Ozonificación, donde para todos los tiempos superan una eficiencia de 91%; sin embargo, la mayor eficiencia se logra alcanzar con el tiempo de 30 minutos obteniéndose el 99.91%.

Así también respecto a la característica de la filtración el pH juega un papel importante siendo demostrado que a mayor pH se incrementa el porcentaje de eficiencia de remoción; siendo en el presente estudio demostrado con un pH 4 la remoción obtenida fue de 65.43%, pH 5: 74.02%, pH 6: 79.40%, pH 7: 97.38%, pH 8: 99.06%, pH 9: 99.73% para el manganeso y para el hierro

con un pH 4 se obtuvo una remoción del 60.43%, pH 5: 76.38%, pH 6: 86.61%, pH 7: 96.94%, pH 8: 99.16% y pH 9: 99.91%.

Igualmente, Vries Dirk et al., (2017, p.1); menciona que el pH es el principal parámetro en la filtración, donde los datos de isoterma de adsorción recopilados de diferentes sitios de tratamiento holandeses muestran que la adsorción de Fe (II)/Mn (II) puede variar sustancialmente entre ellos, pero generalmente a un pH con mayor alcalinidad la remoción se incrementa.

En relación al manganeso presentó los mayores porcentajes de remoción a los 30 min. con valores de pH en 4, 5, 6, 7, 8 y 9 obteniendo porcentajes de 65.43%, 74.02%, 79.40%, 97.38%, 99.06% y 99.73% respectivamente.

Del mismo modo, el hierro presentó los mejores porcentajes de remoción con el incremento del pH, siendo a un pH de 4 el 60.26%, a pH 5: 76.38%, pH 6: 86.61%, pH 7: 96.94%, pH 8: 99.16% y pH 9: 99.91%. En relación a los diferentes niveles de pH, ácido, neutro y alcalino se determinó que la velocidad de reacción más alta ocurriría durante el pH alcalino (pH 10) a diferencia de las condiciones ácidas y neutras que presentaban menor porcentaje de remoción, como lo menciona Chavoshani Afsane et al., (2020, p.35) en su estudio.

Gude J. et al., (2018, p.1), manifiesta que la eliminación de As por filtración, son similares con los resultados en el estudio; donde el investigador obtuvo que la reducción del pH de 8 a 7,4 resultó en un aumento del 55 % en la eliminación de As disuelto; confirmando que con un pH alcalino se produce una eficiencia alta de eliminación.

Sin embargo, Mahringer D. et al., (2020, p.11); estudió, la combinación de reducción por oxidación química, coagulación y filtración (RCF), donde demostró que mediante RCF se podían lograr concentraciones de efluentes muy bajas para Cr (VI) y Cr por debajo de $0,5 \mu\text{g L}^{-1}$, independientemente de las condiciones límite variables, como el pH, la velocidad de filtración y el Cr (VI) inicial. Así mismo el tratamiento depende en gran medida de la cinética de reducción de Cr (VI) y de la formación de precipitados de Fe (III)/Cr (III) en

el sobrenadante, para lo cual se identificaron como factores impulsores la dosis de Fe (II) y el pH.

Mientras tanto por su parte Silva Adarlene M. et al., (2012, p.11); observó que el pH juega un papel clave en la formación de carbonato de manganeso y siempre que el pH de la solución esté por encima de 8,5, el 99,9 % de eliminación de manganeso de la mina se puede lograr con iones de carbonato; concluyendo que el pH afecta la eliminación de manganeso de las aguas de mina.

Así también, Menzel K. et al., (2021, p.1), menciona que el método de filtración es una excelente alternativa para recuperar metales de AMD de manera eficiente, ya que, las recuperaciones de cobre estuvieron más cerca del 100 % y los valores de turbidez en la solución tratada fueron inferiores a 2 unidad de turbidez nefelométrica (NTU) para dosis estequiométricas de sulfuro al 120 %.

VI. CONCLUSIONES

Con respecto al objetivo general se concluye que la oxidación con ozono y filtración en los drenajes Ácidos de Mina si facilitaron en la remoción tanto del hierro y manganeso por procesos de ozonización mediante oxidación con ozono a 150 mg/h y filtración a 30min en un 99.910% de hierro y 99.724% de manganeso respectivamente.

Con relación al objetivo específico uno: Las concentraciones de las propiedades fisicoquímicas en drenajes ácidos de mina depositados en la laguna Quiulacocha, la temperatura(10.3°C), el pH (3.68), Solidos Totales Disueltos (304 mg/l), la conductividad Eléctrica (6426 mg/l) influyen en la remoción del hierro pH 9 (4.82) y manganeso en un pH 9 (4.82).

En cuanto al objetivo específico dos: La capacidad de oxidación del ozono y filtración en drenajes ácidos de mina fue de 150mg/l y filtración fueron de acuerdo con los tiempos de 5, 10, 15, 20 y 30 min., donde obtuvieron concentraciones finales para el Hierro y Manganeso.

En relación con el objetivo específico tres: La eficiencia por procesos de ozonización y filtración en la remoción de Hierro y Manganeso de acuerdo con los resultados obtenidos para los cinco tiempos considerados en el tratamiento se puede apreciar que las eficiencias varían según los tiempos de aplicación del sistema de Ozonificación, para todos los tiempos superan una eficiencia de 91%.

VII. RECOMENDACIONES

Se aconseja estudiar la viabilidad del uso de la oxidación con ozono en diferentes entornos de agua contaminada con altos niveles de metales pesados o materia orgánica para evaluar los peligros de los subproductos de la generación de la oxidación.

Se recomienda aplicar en futuros estudios la aplicación de tratamientos de oxidación en otro tipo de residuos que presentan problemas semejantes o también aguas residuales industriales, sintéticas, domésticas entre otros, ya que, podrían presentar mejores resultados para descontaminar con los mejores valores obtenidos de pH y tiempo.

Además, ya que diversos estudios coinciden en que la eficiencia del tratamiento oxidación coincide en los parámetros tiempo, pH, concentración del oxidante y temperatura; y al haber ya proporcionado en el presente estudio los parámetros ideales del tiempo de reacción ideal y el pH ideal, se recomienda aplicar para nuevos trabajos dichos parámetros determinados con la variación de otros factores como el agente oxidante y catalítico o temperatura.

Para evitar la adopción de más barreras de tratamiento, se recomiendan investigaciones piloto con control constante de pH y ozono.

REFERENCIAS:

AKCIL, Ata; KOLDAS, Soner. Acid Mine Drainage (AMD): causes, treatment and case studies. *Journal of cleaner production*, 2006, vol. 14, no 12-13, p. 1139-1145. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.09.006>

CAROLIN, C. Femina, et al. Efficient techniques for the removal of toxic heavy metals from aquatic environment: A review. *Journal of environmental chemical engineering*, 2017, vol. 5, no 3, p. 2782-2799. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.05.029>

DHIR, Bhupinder. Biotechnological tools for remediation of acid mine drainage (removal of metals from wastewater and leachate). En *Bio-Geotechnologies for Mine Site Rehabilitation*. Elsevier, 2018. p. 67-82. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812986-9.00004-X>

DOLD, Bernhard; WADE, Cheikh; FONTBOTÉ, Lluís. Water management for acid mine drainage control at the polymetallic Zn–Pb–(Ag–Bi–Cu) deposit Cerro de Pasco, Peru. *Journal of Geochemical Exploration*, 2009, vol. 100, no 2-3, p. 133-141. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2008.05.002>

EDOKPAYI, Joshua N., et al. Influence of global climate change on water resources in South Africa: toward an adaptive management approach. En *Water Conservation and Wastewater Treatment in BRICS Nations*. Elsevier, 2020. p. 83-115. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818339-7.00005-9>

FERNÁNDEZ-CALIANI, Juan Carlos; GIRÁLDEZ, María Inmaculada; BARBA-BRIOSO, Cinta. Oral bioaccessibility and human health risk assessment of trace elements in agricultural soils impacted by acid mine drainage. *Chemosphere*, 2019, vol. 237, p. 124441. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124441>

IATAN, Elena-Luisa. Gold mining industry influence on the environment and possible phytoremediation applications. En *Phytoremediation of Abandoned*

Mining and Oil Drilling Sites. Elsevier, 2021. p. 373-408. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821200-4.00007-8>

MAYES, W. M., et al. Effect of an extreme flood event on solute transport and resilience of a mine water treatment system in a mineralised catchment. *Science of the Total Environment*, 2021, vol. 750, p. 141693. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141693>

MORENO-GONZÁLEZ, Raúl, et al. Temporal evolution of acid mine drainage (AMD) leachates from the abandoned tharsis mine (Iberian Pyrite Belt, Spain). *Environmental Pollution*, 2022, vol. 295, p. 118697. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118697>

Tatenda Dalu, Tongayi Mwedzi, Ryan J. Wasserman. Chapter 8 - Phytoplankton dynamics. *Fundamentals of Tropical Freshwater Wetlands. From Ecology to Conservation Management*. 2022, Pages 189-219. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822362-8.00005-0>

TOMIYAMA, Shingo; IGARASHI, Toshifumi. The potential threat of mine drainage to groundwater resources. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 2022, p. 100347. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2022.100347>

CHENG, Ya, et al. Effects of iron doping on catalytic oxidation activity of Mn-based co-oxide filter media for removal of ammonium and manganese from groundwater. *Journal of Cleaner Production*, 2022, vol. 332, p. 130091. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130091>

GERVAIS, Mélinda, et al. Comparative efficiency of three advanced oxidation processes for thiosalts oxidation in mine-impacted water. *Minerals Engineering*, 2020, vol. 152, p. 106349. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2020.106349>

GOMES, Thauan, et al. Acceleration of acid mine drainage generation with ozone and hydrogen peroxide: Kinetic leach column test and oxidant

propagation modeling. Minerals Engineering, 2022, vol. 175, p. 107282.

Disponibile en: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2021.107282>

HARA, Junko. Oxidative degradation of benzene rings using iron sulfide activated by hydrogen peroxide/ozone. Chemosphere, 2017, vol. 189, p. 382-389.

Disponibile en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.09.081>

HU, Xin, et al. Treatment and recovery of iron from acid mine drainage: a pilot-scale study. Journal of Environmental Chemical Engineering, 2022, vol.

10, no 1, p. 106974. Disponibile en:

<https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106974>

LIU, Lizhong, et al. Enhanced catalytic oxidation of toluene over manganese-based multi-metal oxides synthesized by ozone driving redox reaction.

Separation and Purification Technology, 2022, vol. 300, p. 121904.

Disponibile en: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.121904>

NCANANA, Z. S.; SADGROVE, N. J.; PULLABHOTLA, VSR Rajasekhar.

Oxidative degradation of cresol isomers using ozone in the presence of SiO₂-supported nickel, iron, manganese and vanadium catalysts. Catalysis Today,

2020, vol. 358, p. 284-293. Disponibile en:

<https://doi.org/10.1016/j.cattod.2019.10.005>

RYSKIE, Sébastien, et al. Efficiency of ozone microbubbles for ammonia removal from mine effluents. Minerals Engineering, 2020, vol. 145, p.

106071. Disponibile en: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2019.106071>

SHEKARIAN, Younes, et al. Development of a chemical-free process utilizing ozone oxidative precipitation for the recovery of cobalt and

manganese from acid mine drainage. Journal of Environmental Chemical Engineering, 2022, p. 108533. Disponibile en:

<https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108533>

XIN, Chunfu, et al. Leaching of zinc and germanium from zinc oxide dust in sulfuric acid-ozone media. Arabian Journal of Chemistry, 2021, vol. 14, no

12, p. 103450. Disponibile en: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103450>

ABIYE, Tamiru A.; ALI, Khalid Adem. Potential role of acid mine drainage management towards achieving sustainable development in the Johannesburg region, South Africa. *Groundwater for Sustainable Development*, 2022, p. 100839. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2022.100839>

ABOUTTAROUK, Ayoub; ZERHOUNI, Pr Youssef. Conséquences environnementales du phénomène du Drainage Minier Acide. Cas de la mine de Kettara (Jebilets centrales, Maroc). Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/359364180_Consequences_envir_onnementales_du_phenomene_du_Drainage_Minier_Acide_Cas_de_la_mine_de_Kettara_Jebilets_centrales_Maroc

GERVAIS, Mélinda, et al. Comparative efficiency of three advanced oxidation processes for thiosalts oxidation in mine-impacted water. *Minerals Engineering*, 2020, vol. 152, p. 106349. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2020.106349>

Hanrahan Grady. Capítulo 3 - Química acuosa. Conceptos clave en química ambiental. 2012, páginas 73-106. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374993-2.10003-2>

IIZUKA, Atsushi, et al. Comparative study of acid mine drainage neutralization by calcium hydroxide and concrete sludge-derived material. *Minerals Engineering*, 2022, vol. 188, p. 107819. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2022.107819>

LIM, Sungeun, et al. Ozonation of organic compounds in water and wastewater: A critical review. *Water Research*, 2022, p. 118053. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118053>

MANSAS, Clémentine, et al. Coupling catalytic ozonation and membrane separation: A review. *Separation and Purification Technology*, 2020, vol. 236, p. 116221. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586619332137>

MZINYANE, Nozipho Nompumelelo. Adsorption of heavy metals from acid mine drainage by poly (hydroxamic acid) ligand. South African Journal of Chemical Engineering, 2022. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2022.09.007>

PACINI, Virginia Alejandra; INGALLINELLA, Ana Maria; SANGUINETTI, Graciela. Removal of iron and manganese using biological roughing up flow filtration technology. Water research, 2005, vol. 39, no 18, p. 4463-4475. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.08.027>

PRIYADARSHINI, Monali, et al. Procesos de oxidación avanzada: rendimiento, ventajas y escalado de tecnologías emergentes. Revista de Gestión Ambiental , 2022, vol. 316, pág. 115295. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115295>

PUNIA, Anita; SINGH, Saurabh Kumar. Contaminación de los recursos hídricos en la región minera. En Contaminación del Agua . Prensa Académica, 2021. p. 3-17. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824058-8.00015-3>

SHABALALA, Ayanda; MASINDI, Vhahangwele. Insights into mechanisms governing the passive removal of inorganic contaminants from acid mine drainage using permeable reactive barrier. Journal of Environmental Management, 2022, vol. 321, p. 115866. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115866>

WEI, Chaohai, et al. Ozonation in water treatment: the generation, basic properties of ozone and its practical application. Reviews in Chemical Engineering, 2017, vol. 33, no 1, p. 49-89. Disponible en: <https://doi.org/10.1515/revce-2016-0008>

WEINBERG, Rachel, et al. Water quality implications of the neutralization of acid mine drainage with coal fly ash from India and the United States. Fuel, 2022, vol. 330, p. 125675. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.125675>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DISEÑO METODOLÓGICO	MUESTRA
<i>Problema General</i>	<i>Objetivo General</i>	<i>Hipótesis General</i>	Variable Independiente: Oxidación con Ozono y Filtración en Drenajes Ácidos de Mina	1.- Tipo de Investigación experimental 2.- Nivel de investigación Aplicada 3.- Método transversal 4.- Diseño de investigación cuantitativo	150 mg/hr
PG. ¿Cómo la oxidación con ozono y filtración en drenajes ácidos de mina influye en la remoción de hierro y manganeso, de la laguna Quiulacocha, Pasco, 2022?	OG: Determinar si la oxidación con ozono y filtración en drenajes ácidos de mina facilita la remoción de hierro y manganeso, de la laguna Quiulacocha, Pasco, 2022	HG: La oxidación con ozono y filtración en drenajes ácidos de mina facilita significativamente la remoción de hierro y manganeso, de la laguna Quiulacocha, Pasco, 2022			
<i>Problemas Específicos</i>	<i>Objetivos Específicos</i>	<i>Hipótesis Específicas</i>	Variable Dependiente: Remoción de hierro y manganeso		
PE1. ¿Cuáles son las propiedades fisicoquímicas en el proceso de oxidación del ozono y filtración en drenajes ácidos de mina que influyen en la remoción de hierro y	OE1. Establecer las propiedades fisicoquímicas en el proceso de oxidación del ozono y filtración en drenajes ácidos de mina que influyen en la remoción de hierro y	HE1: Las propiedades fisicoquímicas en el proceso de oxidación del ozono y filtración en drenajes ácidos de mina influyen en la remoción de hierro y manganeso, de la laguna Quiulacocha, Pasco, 2022			

<p>manganeso, de la laguna Quiulacocha, Pasco, 2022?</p>	<p>manganeso, de la laguna Quiulacocha, Pasco, 2022,</p>				
<p>PE2. ¿Cuál es la capacidad de oxidación del ozono y filtración en drenajes ácidos de mina que influye en la remoción de hierro y manganeso, de la laguna Quiulacocha, Pasco, 2022?</p>	<p>OE2. Identificar la capacidad de oxidación del ozono y filtración en drenajes ácidos de mina que influye en la remoción de hierro y manganeso, de la laguna Quiulacocha, Pasco, 2022</p>	<p>HE2: La capacidad de oxidación del ozono y filtración en drenajes ácidos de mina influye en la remoción de hierro y manganeso, de la laguna Quiulacocha, Pasco, 2022.</p>			
<p>PE3. ¿,¿Cuál es la eficiencia por procesos de ozonización y filtración en la remoción de Hierro y Manganeso en drenajes ácidos de mina la laguna Quiulacocha, Pasco, 2022?.</p>	<p>OE3. Determinar la eficiencia por procesos de ozonización y filtración en la remoción de Hierro y Manganeso en Drenajes Ácidos de Mina depositados en la relavera Quiulacocha.</p>	<p>HE3: La eficiencia por procesos de ozonización y filtración generaron la remoción de Hierro y Manganeso en Drenajes Ácidos de Mina depositados en la relavera Quiulacocha.</p>			

Anexo 2. Matriz de operacionalización de la variable

	VARIABLE DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
I N D E P E N D I E N T E	Oxidación con ozono y filtración	La aplicación del ozono es conocido como el tratamiento de ozonización; encontrado dentro de los procesos de oxidación avanzadas, que mediante el método in situ se considera un poderoso desinfectante, siendo, aplicado comúnmente para el tratamiento de aguas residuales y agua potable; degradando compuestos orgánicos, inorgánicos y refractarios (Lim Sungeun et al., 2022, p.2). Para mejorar la eliminación de compuestos orgánicos en el agua, una	La oxidación con ozono y filtración se llevarán a cabo a partir del peso de la muestra del Drenajes Ácidos de Mina de la laguna Quiulacocha en la Región Pasco; donde se caracterizarán las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos y se identificará la diferencia entre el peso inicial por el peso final en un	T1	Suministro químico para oxidar el Fe (II) y Mn (II)	mg/L
					Tiempo de retención	horas
				T2	Suministro químico para oxidar el Fe (II) y Mn (II)	mg/L
					Tiempo de retención	horas

		solución prometedor se basa en el acoplamiento de la filtración por membrana con la ozonización catalítica (Mansas C. et al., 2020, p.1).	tiempo determinado.			
D E P E N D I E N T E	Remoción de Hierro y Manganese	Se dice que la remoción de hierro y manganeso consiste en la precipitación del hierro disuelto (Fe^{2+}) en su forma oxidada (Fe^{3+}), como $Fe(OH)_3$ ó Fe_2O y para la eliminación de manganeso os óxidos de manganeso se adsorben en los granos de MnO_2 para después de ser consumido regenerar con hipoclorito de sodio (Pacini Virginia et al., 2005, p.2).	La remoción de hierro y manganeso se dará respecto a las concentraciones de Hierro y Manganese residual en el tratamiento por procesos de ozonización y filtración en Drenajes Ácidos de Mina depositados en la relavera Quiulacocha.	Características fisicoquímicas	pH	-
					Temperatura	C°
					Turbiedad	UNT
					Hierro Total y disuelto	mg/L
					Manganese	mg/L
				Eficiencia	Concentración inicial	mg/L
					Concentración final	mg/L

Anexo 3. Valoración de Alfa de Cronbach

Ficha de Campo:

EXPERTO	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	TOTAL
1	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	900
2	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	800
3	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	850
VAR	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67	1666.67

N° de ítems	10	Coefficiente de Confiabilidad	1.00
Sumatoria de varianzas (Si)	166.67		
Varianza total de filas (St)	1666.67		

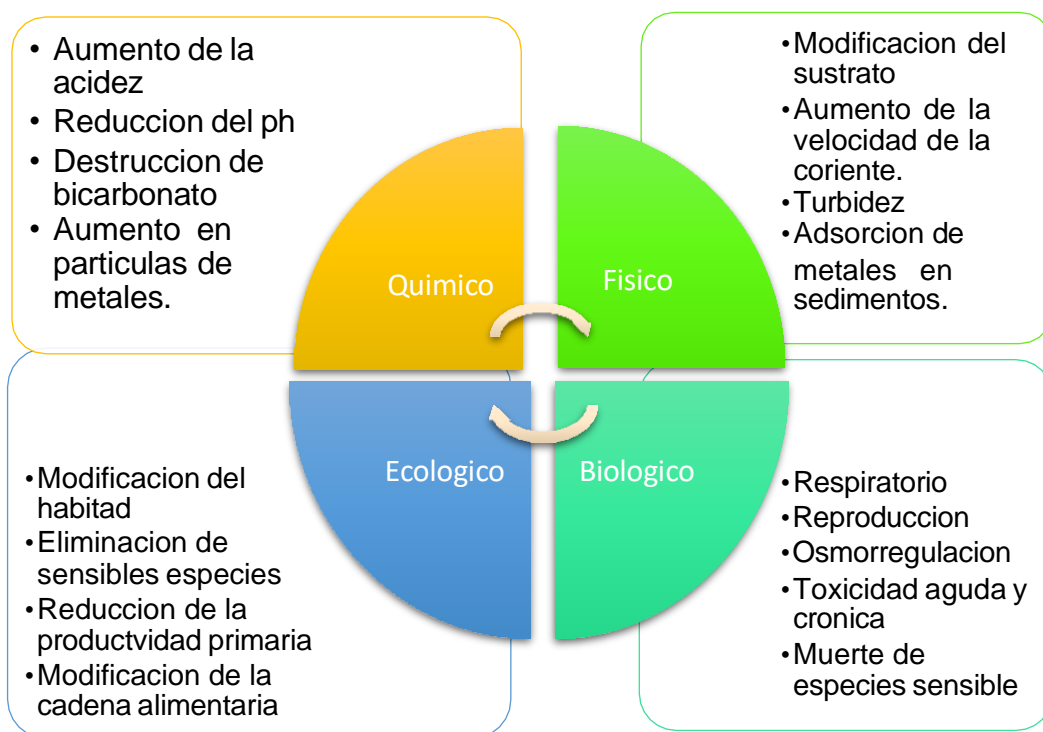
Ficha de Gabinete:

EXPERTO	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	TOTAL
1	90	95	94	95	95	95	94	95	96	95	944
2	80	95	95	95	95	95	95	95	95	95	935
3	85	92	90	90	92	90	95	90	90	90	904
VAR	16.67	2.00	4.67	5.56	2.00	5.56	0.22	5.56	6.89	5.56	293.56

N° de ítems	10	Coefficiente de Confiabilidad	0.90
Sumatoria de varianzas	54.67		
Varianza total de filas	293.56		

Anexo 4. Tipos de residuos mineros.

Tabla 2. Tipos de residuos mineros



Fuente: Ighalo Joshua O. et al., (2022).

CARTA DE PRESENTACIÓN

Señor (a): DR. FERNANDO ANTONIO SERNAQUE AUCCAHUASI

Presente

Asunto: "Validación de instrumento a través de Juicio de expertos"

Es muy grato comunicarnos con usted y expresarle nuestros saludos cordiales, así mismo, hacer de su conocimiento que, perteneciendo a los alumnos de la Universidad Cesar Vallejo, de la sede

Lima Este, donde es de suma importancia la validación de los instrumentos con los cuales se recogerá la información precisa para desarrollar nuestra investigación, gracias a la cual conseguiremos el grado académico de Ingeniero Ambiental.

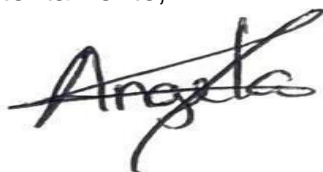
El título de nuestra tesis de investigación es "**Oxidación con Ozono y Filtración en Drenajes Ácidos de Mina para la Remoción de Hierro y Manganeso; Laguna Quiulacocha, Pasco - 2022**", por ello, es imprescindible contar con la aprobación de docentes especializados para poder aplicar los instrumentos en mención, hemos considerado oportuno recurrir a usted, ante su destacada experiencia en temas ambientales y/o investigación ambiental.

El instrumento de validación, adjunto al presente, contiene

- Certificado de validez para la ficha de campo.
- Certificado de validez para la ficha de instrumentos de gabinete.
- Certificado de validez para la ficha de laboratorio.

Expresándole nuestro sentimiento de consideración y respeto nos despedimos de usted, no sin antes agradecerle por la atención que otorgo a la presente.

Atentamente,



FIRMA

Sotil Sahuiña, Angela Lisseth

DNI: 73385422

CERTIFICADO DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES

1.1 Apellidos y Nombres del Validador: **Dr. FERNANDO ANTONIO SERNAQUE AUCCAHUASI**

1.2 Cargo e Institución donde labora: **Docente de la UCV**

1.3 Especialidad o línea de investigación: **Tratamiento y gestión de los residuos solidos**

1.4 Nombre del instrumento: **Instrumentos de Toma de Datos**

1.5 Autores del instrumento: **Angela Lisseth Sotil Sahuña**

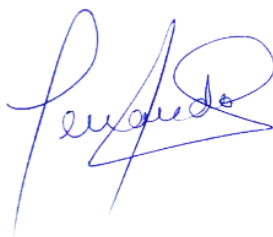
II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICACIONES	Deficiente 00-20%	Regular 21-40%	Buena 41- 60%	Muy buena 61-80%	Excelente 81-100%
1.Claridad	Esta formulado con lenguaje apropiado y específico.					90
2.Objetividad	Esta expresado en conductas observables					90
3.Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología.					90
4.Organizacion	Existe una organización lógica.					90
5.Suficiencia	Comprende los aspectos en cantidad y calidad					90
6.Intencionalidad	Adecuado para valorar aspectos de las estrategias					90
7.Consistencia	Basados en aspectos teóricos-científicos.					90
8.Coherencia	Entre los índices, indicadores y dimensiones.					90
9.Metodologia	La estrategia responde al propósito del diagnóstico.					90
10.Pertinencia	El instrumento es funcional para el propósito de la investigación.					90
PROMEDIO DE VALIDACION						90

III. **PROMEDIO DE VALORACION:**

(X) El instrumento puede ser aplicado, tal como está elaborado.

() El instrumento debe ser mejorado antes de ser aplicado.



Firma del experto informante

DNI N°:07268863

CARTA DE PRESENTACIÓN

Señor (a): MG. SAMUEL CARLOS REYNA MANDUJANO

Presente

Asunto: "Validación de instrumento a través de Juicio de expertos"

Es muy grato comunicarnos con usted y expresarle nuestros saludos cordiales, así mismo, hacer de su conocimiento que, perteneciendo a los alumnos de la Universidad Cesar Vallejo, de la sede

Lima Este, donde es de suma importancia la validación de los instrumentos con los cuales se recogerá la información precisa para desarrollar nuestra investigación, gracias a la cual conseguiremos el grado académico de Ingeniero Ambiental.

El título de nuestra tesis de investigación es "**Oxidación con Ozono y Filtración en Drenajes Ácidos de Mina para la Remoción de Hierro y Manganeso; Laguna Quiulacocha, Pasco - 2022**", por ello, es imprescindible contar con la aprobación de docentes especializados para poder aplicar los instrumentos en mención, hemos considerado oportuno recurrir a usted, ante su destacada experiencia en temas ambientales y/o investigación ambiental.

El instrumento de validación, adjunto al presente, contiene

- Certificado de validez para la ficha de campo.
- Certificado de validez para la ficha de instrumentos de gabinete.
- Certificado de validez para la ficha de laboratorio.

Expresándole nuestro sentimiento de consideración y respeto nos despedimos de usted, no sin antes agradecerle por la atención que otorgo a la presente.

Atentamente,



FIRMA

Sotil Sahuñá, Angela Lisseth

DNI: 73385422

CERTIFICADO DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES

1.5 Apellidos y Nombres del Validador: **MG. SAMUEL CARLOS REYNA MANDUJANO**

1.6 Cargo e Institución donde labora: **Laboratorio Greenlab Perú S.A.C.**

1.7 Especialidad o línea de investigación: **Tratamiento y gestión de los residuos solidos**

1.8 Nombre del instrumento: **Instrumentos de Toma de Datos**

2.5 Autores del instrumento: **Angela Lisseth Sotil Sahuña**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

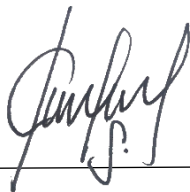
CRITERIOS	INDICACIONES	Deficiente 00-20%	Regular 21-40%	Buena 41-60%	Muy buena 61-80%	Excelente 81-100%
1.Claridad	Esta formulado con lenguaje apropiado y específico.					80
2.Objetividad	Esta expresado en conductas observables					80
3.Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología.					80
4.Organizacion	Existe una organización lógica.					80
5.Suficiencia	Comprende los aspectos en cantidad y calidad					80
6.Intencionalidad	Adecuado para valorar aspectos de las estrategias					80
7.Consistencia	Basados en aspectos teóricos-científicos.					80

8.Coherencia	Entre los índices, indicadores y dimensiones.					80
9.Metodología	La estrategia responde al propósito del diagnóstico.					80
10.Pertinencia	El instrumento es funcional para el propósito de la investigación.					80
PROMEDIO DE VALIDACION						80

I. **PROMEDIO DE VALORACION:**

(X) El instrumento puede ser aplicado, tal como está elaborado.

() El instrumento debe ser mejorado antes de ser aplicado.



Firma del experto informante

DNI N°: 31662440

CARTA DE PRESENTACIÓN

Señor (a): DR. EDUARDO RONALD ESPINOZA FARFAN

Presente

Asunto: "Validación de instrumento a través de Juicio de expertos"

Es muy grato comunicarnos con usted y expresarle nuestros saludos cordiales, así mismo, hacer de su conocimiento que, perteneciendo a los alumnos de la Universidad Cesar Vallejo, de la sede

Lima Este, donde es de suma importancia la validación de los instrumentos con los cuales se recogerá la información precisa para desarrollar nuestra investigación, gracias a la cual conseguiremos el grado académico de Ingeniero Ambiental.

El título de nuestra tesis de investigación es "**Oxidación con Ozono y Filtración en Drenajes Ácidos de Mina para la Remoción de Hierro y Manganeso; Laguna Quiulacocha, Pasco - 2022**", por ello, es imprescindible contar con la aprobación de docentes especializados para poder aplicar los instrumentos en mención, hemos considerado oportuno recurrir a usted, ante su destacada experiencia en temas ambientales y/o investigación ambiental.

El instrumento de validación, adjunto al presente, contiene

- Certificado de validez para la ficha de campo.
- Certificado de validez para la ficha de instrumentos de gabinete.
- Certificado de validez para la ficha de laboratorio.

Expresándole nuestro sentimiento de consideración y respeto nos despedimos de usted, no sin antes agradecerle por la atención que otorgo a la presente.

Atentamente,



FIRMA

Sotil Sahuiña, Angela Lisseth

DNI: 73385422

CERTIFICADO DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES

- 1.9 Apellidos y Nombres del Validador: DR. Eduardo Ronald Espinoza Farfán
- 1.10 Cargo e Institución donde labora: Director nacional de ingeniería ambiental UCV
- 1.11 Especialidad o línea de investigación: Tratamiento y gestión de los residuos solidos
- 1.12 Nombre del instrumento: Instrumentos de Toma de Datos
- 3.5 Autores del instrumento: Angela Lisseth Sotil Sahuiña

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICACIONES	Deficiente 00-20%	Regular 21-40%	Buena 41-60%	Muy buena 61-80%	Excelente 81-100%
1.Claridad	Esta formulado con lenguaje apropiado y específico.					85
2.Objetividad	Esta expresado en conductas observables					85
3.Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología.					85
4.Organizacion	Existe una organización lógica.					85
5.Suficiencia	Comprende los aspectos en cantidad y calidad					85
6.Intencionalidad	Adecuado para valorar aspectos de las estrategias					85
7.Consistencia	Basados en aspectos teóricos-científicos.					85

8.Coherencia	Entre los índices, indicadores y dimensiones.					85
9.Metodología	La estrategia responde al propósito del diagnóstico.					85
10.Pertinencia	El instrumento es funcional para el propósito de la investigación.					85
PROMEDIO DE VALIDACION					85	

II. **PROMEDIO DE VALORACIÓN:** 85

(X) El instrumento puede ser aplicado, tal como está elaborado.

() El instrumento debe ser mejorado antes de ser aplicado.



Firma del experto informante

DNI N°: 40231227

Anexo 5.

Tabla n° 27. Resultados de datos agrupados de tratamiento aplicado por oxidación por ozono y filtración para remoción de concentración de Manganeso en aguas de drenaje ácido de roca de la Laguna Quiulacocha, Región Pasco, 2022.

Tratamientos	Dosis	Repeticiones	Concentración de Mn (mg/l)	Eficiencia de remoción (%)
T1	D1	R1	234.16	33.995
T1	D1	R2	233.76	34.108
T1	D1	R3	232.86	34.361
T1	D2	R1	207.64	41.470
T1	D2	R2	208.48	41.234
T1	D2	R3	209.66	40.901
T1	D3	R1	189.67	46.536
T1	D3	R2	182.34	48.602
T1	D3	R3	183.13	48.379
T1	D4	R1	162.87	54.090
T1	D4	R2	168.63	52.466
T1	D4	R3	167.96	52.655
T1	D5	R1	122.96	65.340
T1	D5	R2	126.56	64.325
T1	D5	R3	125.88	64.517
T2	D1	R1	198.02	44.182
T2	D1	R2	197.76	44.255
T2	D1	R3	197.02	44.464
T2	D2	R1	172.86	51.274
T2	D2	R2	171.89	51.548
T2	D2	R3	170.87	51.835
T2	D3	R1	158.76	55.249
T2	D3	R2	157.23	55.680
T2	D3	R3	159.54	55.029
T2	D4	R1	134.76	62.014
T2	D4	R2	128.82	63.688
T2	D4	R3	130.31	63.268
T2	D5	R1	93.27	73.709
T2	D5	R2	97.46	72.528
T2	D5	R3	95.65	73.038
T3	D1	R1	169.68	52.170
T3	D1	R2	168.72	52.441
T3	D1	R3	166.76	52.994
T3	D2	R1	141.24	60.187
T3	D2	R2	143.23	59.626
T3	D2	R3	145.11	59.096
T3	D3	R1	111.39	68.601
T3	D3	R2	110.58	68.830

T3	D3	R3	112.77	68.212
T3	D4	R1	95.25	73.151
T3	D4	R2	91.34	74.253
T3	D4	R3	93.43	73.664
T3	D5	R1	78.17	77.965
T3	D5	R2	76.35	78.478
T3	D5	R3	74.53	78.991
T4	D1	R1	121.16	65.847
T4	D1	R2	118.24	66.670
T4	D1	R3	120.38	66.067
T4	D2	R1	95.25	73.151
T4	D2	R2	94.17	73.455
T4	D2	R3	93.03	73.777
T4	D3	R1	67.83	80.880
T4	D3	R2	65.74	81.469
T4	D3	R3	66.62	81.221
T4	D4	R1	42.84	87.924
T4	D4	R2	41.95	88.175
T4	D4	R3	40.76	88.511
T4	D5	R1	10.54	97.029
T4	D5	R2	10.65	96.998
T4	D5	R3	10.43	97.060
T6	D1	R1	104.92	70.425
T6	D1	R2	102.81	71.020
T6	D1	R3	100.73	71.606
T6	D2	R1	77.93	78.033
T6	D2	R2	75.81	78.631
T6	D2	R3	73.75	79.211
T6	D3	R1	41.68	88.251
T6	D3	R2	43.46	87.749
T6	D3	R3	45.85	87.076
T6	D4	R1	20.54	94.210
T6	D4	R2	19.36	94.543
T6	D4	R3	21.48	93.945
T6	D5	R1	4.64	98.692
T6	D5	R2	4.56	98.715
T6	D5	R3	4.42	98.754
T7	D1	R1	87.06	75.459
T7	D1	R2	86.86	75.516
T7	D1	R3	86.62	75.583
T7	D2	R1	55.05	84.482
T7	D2	R2	54.51	84.635
T7	D2	R3	54.53	84.629
T7	D3	R1	34.5	90.275
T7	D3	R2	34.51	90.272
T7	D3	R3	34.52	90.269

T7	D4	R1	13.48	96.200
T7	D4	R2	12.5	96.476
T7	D4	R3	13.52	96.189
T7	D5	R1	1.12	99.684
T7	D5	R2	1.08	99.696
T7	D5	R3	0.98	99.724

Fuente: Elaboración propia

Anexo 6.

Tabla n° 28. Resultados de datos agrupados de tratamiento aplicado por oxidación por ozono y filtración para remoción de concentración de Hierro en aguas de drenaje acido de roca de la Laguna Quiulacochoa, Región Pasco, 2022.

Tratamientos	Dosis	Repeticiones	Concentración de Fe (mg/l)	Eficiencia de remoción (%)
T1	D1	R1	822.46	16.707
T1	D1	R2	820.35	16.921
T1	D1	R3	821.24	16.831
T1	D2	R1	770.27	21.992
T1	D2	R2	769.35	22.086
T1	D2	R3	762.43	22.786
T1	D3	R1	666.52	32.500
T1	D3	R2	668.46	32.303
T1	D3	R3	670.69	32.077
T1	D4	R1	551.36	44.162
T1	D4	R2	555.48	43.745
T1	D4	R3	553.54	43.941
T1	D5	R1	393.72	60.127
T1	D5	R2	398.94	59.598
T1	D5	R3	391.56	60.346
T2	D1	R1	674.44	31.697
T2	D1	R2	672.99	31.844
T2	D1	R3	671.83	31.962
T2	D2	R1	565.21	42.759
T2	D2	R2	564.95	42.786
T2	D2	R3	566.02	42.677
T2	D3	R1	450.93	54.333
T2	D3	R2	452.75	54.149
T2	D3	R3	454.05	54.017
T2	D4	R1	344.59	65.102
T2	D4	R2	346.94	64.864
T2	D4	R3	348.15	64.742
T2	D5	R1	233.99	76.303
T2	D5	R2	237.06	75.992
T2	D5	R3	235.63	76.137
T3	D1	R1	487.19	50.661
T3	D1	R2	479.37	51.453
T3	D1	R3	485.55	50.827
T3	D2	R1	390.35	60.468
T3	D2	R2	386.23	60.885
T3	D2	R3	392.11	60.290

T3	D3	R1	298.11	69.810
T3	D3	R2	292.92	70.335
T3	D3	R3	293.85	70.241
T3	D4	R1	245.25	75.163
T3	D4	R2	241.34	75.559
T3	D4	R3	243.43	75.347
T3	D5	R1	138.17	86.007
T3	D5	R2	129.35	86.900
T3	D5	R3	134.53	86.376
T4	D1	R1	229.16	76.792
T4	D1	R2	228.24	76.885
T4	D1	R3	230.38	76.669
T4	D2	R1	185.13	81.251
T4	D2	R2	184.87	81.278
T4	D2	R3	183.97	81.369
T4	D3	R1	127.43	87.095
T4	D3	R2	125.99	87.241
T4	D3	R3	126.92	87.146
T4	D4	R1	78.99	92.000
T4	D4	R2	79.12	91.987
T4	D4	R3	81.73	91.723
T4	D5	R1	31.98	96.761
T4	D5	R2	32.84	96.674
T4	D5	R3	33.13	96.645
T6	D1	R1	97.92	90.083
T6	D1	R2	98.81	89.993
T6	D1	R3	99.73	89.900
T6	D2	R1	77.93	92.108
T6	D2	R2	75.81	92.322
T6	D2	R3	73.75	92.531
T6	D3	R1	51.28	94.807
T6	D3	R2	53.16	94.616
T6	D3	R3	55.23	94.407
T6	D4	R1	32.54	96.705
T6	D4	R2	33.36	96.622
T6	D4	R3	35.48	96.407
T6	D5	R1	11.64	98.821
T6	D5	R2	10.56	98.931
T6	D5	R3	10.42	98.945
T7	D1	R1	86.1	91.280
T7	D1	R2	89.64	90.922
T7	D1	R3	87.83	91.105
T7	D2	R1	63.45	93.574
T7	D2	R2	65.41	93.376
T7	D2	R3	67.33	93.181
T7	D3	R1	41.5	95.797

T7	D3	R2	44.51	95.492
T7	D3	R3	47.52	95.188
T7	D4	R1	28.48	97.116
T7	D4	R2	27.5	97.215
T7	D4	R3	28.52	97.112
T7	D5	R1	1.19	99.879
T7	D5	R2	1.01	99.898
T7	D5	R3	0.89	99.910

Fuente: Elaboración propia