

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS AGRARIAS**

PROGRAMA DE MAESTRIA EN CIENCIAS

TESIS:

**EFFECTO DE LA OZONIFICACIÓN EN LA CONCENTRACIÓN DE HIERRO
Y MANGANESO, DE LAS AGUAS DEL RÍO TINGO MAYGASBAMBA-
BAMBAMARCA, INFLUENCIADA POR LA ACTIVIDAD MINERA.**

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

Presentada por:

Bachiller: JUAN CARLOS BECERRA RUITÓN

Asesora:

Dra. CONSUELO BELANIA PLASENCIA ALVARADO

Cajamarca – Perú

2022

COPYRIGHT © 2022 by
JUAN CARLOS BECERRA RUITÓN
Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PROGRAMA DE MAESTRIA EN CIENCIAS

TESIS APROBADA:

EFFECTO DE LA OZONIFICACIÓN EN LA CONCENTRACIÓN DE HIERRO Y MANGANESO, DE LAS AGUAS DEL RÍO TINGO MAYGASBAMBA- BAMBAMARCA, INFLUENCIADA POR LA ACTIVIDAD MINERA

Para optar el Grado Académico de
MAESTRO EN CIENCIAS
MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

Presentada por:
Bachiller: JUAN CARLOS BECERRA RUITÓN

JURADO EVALUADOR

Dra. Consuelo Belania Plasencia Alvarado
Asesora

Dr. Juan Edmundo Chávez Rabanal
Jurado Evaluador

Dr. Nilton Eduardo Deza Arroyo
Jurado Evaluador

Dr. David Milton Lara Ascorbe
Jurado Evaluador

Cajamarca – Perú

2022



Universidad Nacional de Cajamarca
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD
Escuela de Posgrado
CAJAMARCA - PERU



PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 17 horas, del día 21 de abril de dos mil veintidós, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el **Dr. JUAN EDMUNDO CHÁVEZ RABANAL**, **Dr. NILTON EDUARDO DEZA ARROYO**, **Dr. DAVID MILTON LARA ASCORBE**, y en calidad de Asesora la **Dra. CONSUELO BELANIA PLASENCIA ALVARADO**, Actuando de conformidad con el Reglamento Interno y el Reglamento de Tesis de Maestría de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada **“EFECTO DE LA OZONIFICACIÓN EN LA CONCENTRACIÓN DE HIERRO Y MANGANESO, DE LAS AGUAS DEL RÍO TINGO MAYGASBAMBA- BAMBAMARCA, INFLUENCIADA POR LA ACTIVIDAD MINERA”**, presentada por el Bach. en Ingeniería de Minas, **JUAN CARLOS BECERRA RUITÓN**.

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó...APROBAR...con la calificación de DIECIOCHO (18.0)...la mencionada Tesis; en tal virtud, el Bach. En Ingeniería Minas, **JUAN CARLOS BECERRA RUITÓN**, está apto para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias, con Mención en Gestión Ambiental.

Siendo las 18.20 horas del mismo día, se dio por concluido el acto.

.....
Dra. Consuelo Belania Plasencia Alvarado
Asesora

.....
Dr. Juan Edmundo Chávez Rabanal
Jurado Evaluador

.....
Dr. Nilton Eduardo Deza Arroyo
Jurado Evaluador

.....
Dr. David Milton Lara Ascorbe
Jurado Evaluador

AGRADECIMIENTO

A Dios por que por cada día de vida sin el nada soy, con el todo lo tengo.

A mi Esposa María y a mis hijos Chris, Ángel y Valery por el apoyo incondicional y estar siempre presentes en cada paso y logro en cada día de mi vida y por ser mi motor y motivo.

A mis hermanos Alcides y Jaime que siempre estuvieron pendientes de mí y que ahora están en el reino del Señor.

A mi asesora Dra. Consuelo Plasencia Alvarado, por su apoyo, sus palabras motivadoras, por sus orientaciones académicas y sus buenos consejos para la realización de mi tesis.

Al Dr. Segundo Eloy Soto Abanto, por darse un tiempo en leer mis informes, aclarar dudas y darme sugerencias para la realización de mi tesis.

A Wilmer Aguirre, por su el apoyo desinteresado y su tiempo para llegar a la zona de estudio.

ÍNDICE GENERAL

ÍTEMS	PÁG.
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes de la investigación	5
2.2. Base Teórica.....	10
2.2.1. El Agua	10
2.2.2. Contaminación del agua por metales pesados	11
2.2.3. Alternativas de descontaminación o remoción de metales pesados	12
2.3. Manganeseo	13
2.3.1. Propiedades Físico Químicas del Manganeseo	15
2.3.2. Efectos del Manganeseo sobre la salud	16
2.3.3. Efectos ambientales del Manganeseo.....	16
2.3.4. Manganeseo en aguas Naturales.....	16
2.4. Hierro	17
2.4.1. Propiedades Físico Químicas del Hierro	18
2.4.2. Efectos del Hierro sobre la salud	19
2.4.3. Efectos ambientales del Hierro	19
2.4.4. El Hierro en agua naturales	20
2.5. Ozono	21
2.5.1. Propiedades del Ozono	22
2.5.2. Generación de Ozono	24
2.6. Tecnologías para la remoción de Fe y Mn.....	25
2.6.1. Método Convencional.....	25
2.6.2. Métodos Biológicos	26
2.6.3. Ozonificación para remover Fe y Mn.....	26
2.7. Definición de Términos Básicos	28

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS	30
3.1. Materiales y Equipos.....	30
3.1.1. Materiales	30
3.1.2. Equipos	30
3.2. Metodología de la Investigación	30
3.3. Ubicación y descripción de la Zona de Estudio	31
3.3.1. Ubicación Geográfica del río Tingo Maygasbamba.....	31
3.4. Metodología	32
3.4.1. Inspección y Selección del muestreo.....	32
3.4.2. Estaciones de Muestreo	33
3.4.3. Selección de parámetros	35
3.4.4. Mediciones de Parámetros.....	35
3.4.5. Toma y preservación de muestras	36
3.5. Procedimiento Experimental.....	38
3.5.1. Preparación del composito:	38
3.5.2. Muestra Tratada.....	38
3.5.3. Variación de pH.....	39
3.5.4. Muestra a pH natural	40
3.5.5. Variación a pH 6.0.....	41
3.5.6. Variación a pH 8.0.....	41
3.5.7. Desarrollo de la prueba.....	42
3.5.8. Condiciones de Operación de la Prueba	43
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
4.1. Caracterización de Aguas en el río Tingo Maygasbamba.....	44
4.2. Concentración del Hierro	45
4.2.1. Concentración a pH natural	45
4.2.2. Concentración Fe a pH: 6	47
4.2.3. Concentración Fe a pH: 8	49
4.3. Concentración Mn.....	50
4.3.1. Concentración de Mn a pH natural.....	50
4.3.2. Concentración de Mn a pH: 6.....	53
4.3.3. Concentración de Mn a pH: 8.....	55
CAPÍTULO V CONCLUSIONES	60
CAPÍTULO VI REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
CAPÍTULO VII ANEXOS	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estándar Calidad Ambiental para agua, Riego de vegetales y bebida de animales, categoría 3.....	12
Tabla 2. Propiedades Físico Químicas del Manganeso.....	15
Tabla 3. Propiedades Físico Químicas del Hierro.....	18
Tabla 4. Potencial de reducción de las especies más oxidantes.....	23
Tabla 5. Propiedades Físico Químicas del Ozono.	24
Tabla 6. Estaciones de Muestreo del río Tingo Maygasbamba.	33
Tabla 17. Prueba a distintos rangos de pH.....	43
Tabla 8. Condiciones de la prueba.	43
Tabla 9. Concentración inicial de Fe y Mn en el río Tingo Maygasbamba.....	44
Tabla 10. Concentración de Fe a pH natural.....	45
Tabla 11. Análisis de Varianza para el modelo de regresión de Fe versus tiempo.....	46
Tabla 12. Resumen del modelo de regresión.	46
Tabla 13. Coeficientes de regresión para el modelo de Fe vs Tiempo.	47
Tabla 14. Concentración del Fe a pH: 6.....	47
Tabla 15. Análisis de varianza para modelo de regresión de Fe vs Tiempo.....	48
Tabla 16. Resumen del modelo de regresión.	49
Tabla 17. Coeficientes de regresión para modelo Fe vs Tiempo.	49
Tabla 18. Concentración de Fe a pH: 8.....	50
Tabla 19. Concentración de Mn a pH natural.	51
Tabla 20. Análisis de Varianza para modelo de regresión Mn vs Tiempo.	52
Tabla 21. Resumen del modelo.....	52
Tabla 22. Coeficientes de regresión para modelo Mn vs Tiempo.....	52
Tabla 23. Concentración de Mn a pH: 6.	53
Tabla 24. Análisis de Varianza para modelo de regresión de Mn vs Tiempo.	54
Tabla 25. Resumen del modelo.....	54
Tabla 26. Coeficientes de regresión para el modelo de Mn vs el Tiempo.	55
Tabla 27. Concentración de Mn a pH: 8.	55
Tabla 28. Análisis de Varianza para el modelo de regresión de Mn vs Tiempo.....	56
Tabla 29. Resumen del modelo.....	57
Tabla 30. Coeficientes de regresión para el modelo de Mn vs Tiempo.....	57
Tabla 31. Disminución de Fe y Mn a los diferentes niveles de pH	59

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i>	Tecnologías de Tratamiento.	13
<i>Figura 2.</i>	Diagrama de Frost, el Manganeso en disolución ácida y básica.	14
<i>Figura 3.</i>	Representación de iones de Manganeso.	15
<i>Figura 4.</i>	Composición Química del Ozono.....	21
<i>Figura 5.</i>	Estructura del Ozono.	22
<i>Figura 6.</i>	Producción del Ozono.....	25
<i>Figura 7.</i>	Componentes de un sistema de Ozonización.....	27
<i>Figura 8.</i>	Esquema del proceso de remoción de metales a través de Ozono.....	28
<i>Figura 9.</i>	Plano de ubicación de puntos de monitoreo.	31
<i>Figura 10.</i>	Puntos de monitoreo del río Tingo Maygasbamba.	32
<i>Figura 11.</i>	Agua Contaminada con metales pesados – Hualgayoc.	34
<i>Figura 12.</i>	Muestras de caracterización del efluente.	37
<i>Figura 13.</i>	Preparación del composito.....	38
<i>Figura 14.</i>	Lectura de muestra de vertido de Bocamina Prosperidad.	39
<i>Figura 15.</i>	Pesado de soda cáustica.	40
<i>Figura 16.</i>	Muestra de agua a pH natural.	40
<i>Figura 17.</i>	Muestra de variación a pH 6.....	41
<i>Figura 18.</i>	Muestra de variación a pH 8.....	42
<i>Figura 19.</i>	Equipo Ozonizador, microburbugeador.....	43
<i>Figura 20.</i>	Concentración de Fe a pH natural.	45
<i>Figura 21.</i>	Concentración de Fe a pH: 6.	48
<i>Figura 22.</i>	Concentración del Fe a pH: 8.	50
<i>Figura 23.</i>	Concentración de Mn a pH natural.....	51
<i>Figura 24.</i>	Concentración del Mn a pH: 6.....	53
<i>Figura 25.</i>	Concentración del Mn a pH: 8.....	56
<i>Figura 26.</i>	Disminución de Fe y Mn a los diferentes niveles de pH	59
<i>Figura 27.</i>	Lectura de pH en río Tingo Maygasbamba	73
<i>Figura 28.</i>	Toma de muestra de toma de río Tingo Maygasbamba.....	73
<i>Figura 29.</i>	Toma de muestra en boca mina Prosperidad.	74
<i>Figura 30.</i>	Toma de muestra en Quebrada la M.....	74

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar el efecto de la ozonificación en la reducción de hierro y manganeso en las aguas del río Tingo Maygasbamba influenciada por la actividad minera. Se consideró un enfoque cuantitativo a nivel comparativo (niveles de pH 2, pH: 6 y pH: 8) y explicativo (efecto de la ozonificación) con diseño no experimental longitudinal, para la cual se tomó 4 muestras de agua en época de sequía de julio a septiembre, referenciándose 4 puntos de muestreo. La concentración inicial fue para el manganeso de 71,7 mg/L, y para el hierro fue de 382,5 mg/L y un pH de 2,87, con esto se evidenció que el río Tingo Maygasbamba no cumple con los parámetros establecidos por el DS-004-2017 MINAM. Se realizó la remoción del hierro y el manganeso a través del ozono, el cual es un oxidante de amplio espectro de tecnología limpia y amigable al medio ambiente. Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio Regional del Agua de Cajamarca, mediante análisis de ICP-MS. Con los datos obtenidos se inició el ensayo aumentando el pH a la muestra de agua del río Tingo Maygasbamba, de pH ácido a un pH básico utilizando soda cáustica aproximadamente 16,8 gramos, con tiempos que oscilaron entre 5 a 50 minutos y concentraciones de 1,25 g/L hasta 12,5 g/L de Ozono. Se concluyó que cuando el pH alcanzó el valor de 8 y en un tiempo de 5 minutos, la remoción resulta satisfactoria, obteniendo así valores en Fe de 0,01 mg/L y de Mn de 0,05 mg/L.

Palabra Clave: Ozonificación, calidad del agua, metales pesados.

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the effect of ozonation on the reduction of iron and manganese in the waters of the Tingo Maygasbamba river influenced by mining activity. A quantitative approach was considered at a comparative level (levels of pH 2, pH: 6 and pH: 8) and explanatory (effect of ozonation) with a non-experimental longitudinal design, for which 4 water samples were taken in the dry season of July to September, referencing 4 sampling points. The initial concentration was 71.7 mg/L for manganese, and for iron it was 382.5 mg/L and a pH of 2.87, with this it was shown that the Tingo Maygasbamba river does not meet the established parameters. by DS-004-2017 MINAM. The removal of iron and manganese was carried out through ozone, which is a broad-spectrum oxidant of clean technology and friendly to the environment. The samples were analyzed at the Regional Water Laboratory of Cajamarca, through ICP-MS analysis. With the data obtained, the test was started by increasing the pH of the water sample from the Tingo Maygasbamba river, from acidic pH to basic pH using caustic soda approximately 16.8 grams, with times that ranged from 5 to 50 minutes and concentrations of 1.25 g/L up to 12.5 g/L of Ozone. It was concluded that when the pH reached the value of 8 and in a time of 5 minutes, the removal is satisfactory, thus obtaining Fe values of 0.01 mg/L and Mn of 0.05 mg/L.

Key Word: Ozonation, water quality, heavy metals.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Las principales fuentes de agua de América Latina contienen el 30% de agua dulce del mundo, pero parte de estas aguas están contaminadas con residuos químicos, metales pesados, partículas y patógenos que amenaza la flora y la fauna, dañando los ecosistemas sin poder remediarlos. Las complicaciones por el impacto de los metales pesados en cuerpos de agua, afectan y las personas de los alrededores de estos ríos. Las concentraciones de estos metales en los suministros de agua son causadas por diferentes actividades humanas que aumentan los efectos extremadamente dañinos y entornos que sustentan la vida humana. Esta contaminación no solo afecta la salud, sino que también afecta los niveles socioeconómico locales y nacionales, debido a los altos costos por tratamientos y la falta de productividad en las zonas afectadas (Pabón, 2020).

Varios países de América Latina, como Colombia, aunque tienen tradición minera, no se ha implementado metodologías que permitan el diagnóstico preciso del Estado de sus fuentes hídrica. Así mismo en Chile, entre los años 2008 y 2019, en las principales plantas de agua de la zona centro, se encontró manganeso y otras sales, excediendo la norma de manera ligera (García, 2020).

En Perú se documentó 4,867 personas estuvieron expuestas a metales pesados, por tener contacto a fuentes de agua con sustancias químicas que incluyen hierro y manganeso entre otros metales (CDC, 2017). Los metales pesados son acumulativos y su exposición a metales tóxicos como estos causan muchos problemas de salud crónicos. Las personas afectadas culpan a los grandes proyectos mineros que operan, poniendo de quienes se encuentran alrededor de proyectos, afectando la biodiversidad, biología y la geomorfología en todo el Perú, principalmente relacionado a la minería e hidrocarburos,

además de la indiferencia del estado (OMS, 2018).

Hualgayoc es una zona con gran número de compromisos de aprovechamiento ambiental a nivel nacional y de cuenca, de los cuales el más afectado es el Llaucano con 1,080 compromisos de aprovechamiento identificados. Por ello Cajamarca es considerada esta identificada como la segunda ciudad más golpeada del país. Entre ellos se encuentran los ríos Tingo Maygasbamba y Hualgayoc (De Echave, 2019).

La biodiversidad se ve afectada en diferentes partes del mundo, creando ambientes inestables en las comunidades y poblaciones en general, afectando así el ambiente que nos rodea, el cual daña la salud de los habitantes y dificultando el desarrollo de muchas actividades agropecuarias (Sanchez, 2017).

Entre las diferentes causas de contaminación, la principal es debido a las descargas de aguas de minería, la cual presenta elevados contenidos de hierro y manganeso, que provoca que las aguas no sean aptas para el consumo humano, animales y regadío. El manganeso y el hierro son oligoelementos nocivos para la salud en altas y los iones de manganeso le dan su color rojo, turbidez, olor y sabor característico, facilitando la formación de biopelículas en las redes de distribución incrementando y aumenta el riesgo de microorganismos (AWWA, 2017).

La presencia de hierro y manganeso en los cuerpos de agua, es grave problema que afecta no solamente a la salud humana sino también a la flora y fauna, ya que a un pH entre 2 y 5, y una concentración de 0,9 mg/L de hierro puede ser letal, al igual que el manganeso en altas concentraciones y a muy bajo pH, lo que hace que las raíces de las plantas se tornen marrones después dañar sus partes superiores (MacFarland, 2015).

Los altos niveles de manganeso en el agua, están asociados con síntomas neurológicos similares a los de la enfermedad de Parkinson. Se encontraron diversos síntomas neurológicos en personas que bebieron agua contaminada con manganeso durante dos o

tres meses, además de otros contaminantes de pilas secas. Dos meses después del inicio de los síntomas, la concentración de manganeso en el agua era de 14 mg/L. En Grecia, un estudio realizado en ancianos mostró una alta incidencia de síntomas neurológicos entre los expuestos a manganeso en el agua de 1,8 y 2,3 mg/L, otros estudios en Alemania no mostraron ningún empeoramiento de los síntomas neurológicos. Síntomas en personas que bebieron agua con contenido de manganeso entre 0,3 y 2,2 mg/L, en comparación con aquellas que bebieron agua con un contenido de manganeso de menos de 0,05 mg/L (Linus, 2015).

Teniendo en cuenta la problemática descrita y las investigaciones previas, la presente tesis estuvo encaminada a contribuir con el conocimiento de los procesos de remoción de hierro y manganeso empleando un sistema de tratamiento con ozono, como una alternativa que avale el cumplimiento de los parámetros de calidad de agua. Así como también contribuir a determinar la calidad de agua del río Tingo Maygasbamba y determinar el tipo de tratamiento que se debe aplicar para mejorar la calidad del agua que utilizará la población de las zonas de influencia.

Se propuso el siguiente problema de investigación: ¿Cuál es el efecto de ozonificación para la reducción de hierro y manganeso en las aguas del río Tingo Maygasbamba - Bambamarca influenciada por la actividad minera?

Se planteó como hipótesis general: La Ozonificación tienen el efecto de reducir la concentración de hierro y manganeso en las aguas del río Tingo Maygasbamba - Bambamarca influenciada por la actividad minera.

El Objetivo general fue: Determinar el efecto de ozonificación para la reducción de hierro y manganeso en las aguas del río Tingo Maygasbamba - Bambamarca influenciada por la actividad minera. Los objetivos específicos fueron: a). Comparar la concentración de hierro y manganeso en las aguas del río Tingo Maygasbamba antes y después de aplicar

la técnica de ozonificación, b). Determinar el rango óptimo de pH para la reducción de hierro y manganeso mediante la técnica de ozonificación, c). Determinar el rango óptimo de ozono, tiempo, para la reducción de hierro y manganeso, d) Determinar la calidad del agua del río Tingo Maygasbamba en hierro y manganeso en función de ECAs agua categoría 3.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Internacionales

Chhaya y Srivastava (2021) en su artículo titulado: Eficacia del proceso Ozonización /Fe₂/H₂O, para la desintoxicación de metales pesados en aguas residuales municipales mediante el uso de RSM (Metodología de Superficie de Respuesta), se enfocaron en determinar si el proceso de Ozonización y Fenton permite eliminar metales pesados tóxicos como el plomo, cromo, zinc y el manganeso en aguas residuales municipales reales. Para esto los autores consideraron Ozono producido por un generador modelo S1-300 y para suministrar oxígeno se utilizó una botella de grado medicinal. El agua residual fue adquirida en una planta de tratamiento de aguas residuales en la India. A partir de botellas de polietileno estériles de litro y medio se recogieron muestras para posterior analizarlas a través de sus parámetros fisicoquímicos en un plazo de cuatro días mediante método estándar. A partir de la aplicación de modelos matemáticos, se determinó la eficacia de eliminación de metales pesados. En base a estadísticas resumen, encontrándose que los modelos lineales e interactivos no se ajustaron en comparación al modelo cuadrático, por esto se consideró este último para describir el dominio de las variables del proceso en la eliminación de metales pesados. Se concluyó que la intensificación de la ozonización y el proceso Fenton permitió la desintoxicación de metales pesados como el plomo, cromo, zinc y manganeso para las aguas residuales, encontrándose para el manganeso una eliminación del 94.48%, por lo que se considera que la combinación de la ozonización y el proceso Fenton es una alternativa para remediar las aguas con metales pesados.

Jasim y Mohseni (2019) en su artículo: Aplicación de Ozono para el tratamiento de arsénico y manganeso en la ciudad de White Rock, BC, Canadá, desarrollada con la finalidad de tratar el agua para suministro y mejorar las infraestructuras críticas del sistema de la ciudad canadiense como parte de un proyecto de gestión de calidad. Se estudió siete pozos, en los que se encontró un elevado nivel de arsénico y manganeso natural en diversas concentraciones. Tras la toma de muestra de los pozos 6 y 7, se encontró que el nivel de manganeso fue de 130 – 140 µg/L y 7 – 10 µg/L de arsénico. Para contrarrestar esto se instalaron dos patines de inyección de Ozono, los cuales aportaron de forma individual un 50% de capacidad total de generación de O₃. Con los resultados obtenidos se concluyó que el construir y mejorar las plantas de tratamiento de agua es estratégico, que permite garantizar la sostenibilidad de las infraestructuras de los sistemas de agua. Por lo que, la ciudad en estudio permitirá brindar agua saludable a los residentes del municipio, a raíz de la reducción del arsénico y el manganeso a parámetros ideales por los efectos del Ozono.

Chungheng et al. (2020), en su artículo: Efecto del tratamiento de Ozonización en la fase química de los metales pesados en los lodos de depuradoras y su posterior proceso de biolixiviación, investigaron el efecto de la Ozonización sobre el manganeso y otros metales pesados. Para el análisis se consideró una planta local de tratamiento en China, en donde se realizó un tamiz a fin de eliminar residuos, estos se almacenaron a bajas temperaturas para su posterior evaluación. Para el tratamiento de Ozonización se generó ozono a través de un generador WG-S5, los lodos fueron tratados gracias a un reactor discontinuo de polimetilmetacrilato con un diámetro de 100 mm y 1500 mm de altura. Entre sus principales resultados, se encontró que el manganeso distribuido en fracción soluble se oxida inmediatamente después de la Ozonización. Se concluyó que la tasa de biolixiviación de todos los metales estudiados mejoró y la eficiencia de solubilidad

de Cr, Zn, Ni, As y Pb aumento.

Nacionales

Echegaray (2017) en su investigación: Reducción del manganeso con el método de Reducción-Alcalinización en las aguas contaminadas por los procesos mineros en la Provincia de Huaral, Lima-2018, su objetivo fue eliminar el manganeso a través del método Reducción, Alcalinización de aguas contaminadas por la minería. Su investigación fue aplicada, analítica, deductiva, porque abordó el tema desde una perspectiva general, de acuerdo al tratamiento del efluente, para ello uso prueba de jarras para determinar la cantidad de reactivos a usar, con una precisa caracterización del efluente. Su diseño es pre-experimental, porque no tiene el control de los parámetros ambientales, Sus análisis lo realizó tomando 10 muestras de agua de 1L del efluente generado por los procesos mineros. Encontrándose al manganeso en 3,063 mg/L y con un pH ácido de 6, determinándose que no cumple con los ECAs Nacionales. Los resultados obtenidos mediante el proceso reducción de alcalinización, la remoción de manganeso quedó en 0,0159 mg/L, con eficiencia del 99%, las aguas tratadas serán usadas para riego.

Loarte (2015) en su investigación: Efecto del pH y tipo de absorbente en la remoción de manganeso de aguas superficiales contaminadas por relaves mineros Huancayo 2015, su objetivo fue determinar la influencia del pH y cuál será el tipo de absorbente para remover el manganeso de aguas superficiales contaminadas por relaves mineros, analizando las características fisicoquímicas del río Yauli, su diseño fue experimental factorial, empleando 2 variables (pH y tipo de absorbente), teniendo 3 niveles y cada una de las variables, lo cual realizó 9 experimentos con 2 repeticiones, para el proceso de absorción se tomaron la temperatura, tiempo de agitación, velocidad, volumen. Su análisis se hicieron tomando muestras del río Yauli a 100 metros de la desembocadura del túnel Kingsmill, realizandolo aleatoriamente, la cual fue de 1000 mL,

llevadas a laboratorio se le realizó un ICP – MS (Inducción de Plasma, Espectrometría de masa) y para tema del absorbente se usó bentonita, aserrín, ambos componentes se mezclaron en una relación de 1:1, los análisis dieron para el manganeso 18,41 mg/L, las variables óptimas fueron de bentonita a pH 8, logrando buenos resultados de remoción y una concentración de equilibrio de 0,827 que representa el 95% de remoción. Se concluyó que el pH y tipo de absorbente son determinantes para la remoción de manganeso y el tipo de absorbente el más influyente es con $F_B=6772,41$.

Calderón (2021) en su investigación: Precipitación de hierro y manganeso secuencial de efluentes de drenajes ácidos – Lima 2021. Su objetivo fue precipitar los metales mediante neutralización con cal, los cuales al agregarle el componente precipita al hierro como hidróxidos férricos (III) e hidróxidos de manganeso (IV). Realizaron sus pruebas con la caracterización del efluente, que tenía un pH inicial de 2,2; se le realizó las pruebas por espectrometría y absorción atómica, para ello usaron volúmenes de 2 litros con agua destilada a los cuales se le agrego sulfato férrico y sulfato maganoso, se le adicono los reactivos (cal y floculante) en forma independiente agitados a 250 RPM con controles de pH y potencial redox, luego de la separación de sólido – líquido. En la segunda etapa se coloca el efluente ácido, fraccionado primero para el hierro, dejándolo reposar hasta su decantación, el mismo procedimiento es para el manganeso y la obtención es agua tratada y lodos por separado de hierro y manganeso. Se concluyó que el proceso de fraccionamiento de metales de un efluente minero se desarrolla controlando el pH de medio ácido a medio básico, la aireación nos ayuda a acelerar la cinética, Los valores obtenidos son del 92 %.

Locales.

Cieza y Zegarra (2018) en su investigación: Efecto de la aplicación del ozono en la concentración de metales en solución en el agua del río Hualgayoc – 2018,

determinaron el efecto al aplicar ozono en la concentración de metales en solución en el río Hualgayoc. Para los investigadores consideraron realizar una investigación tipo aplicada, con un diseño experimental, pues se manipuló la aplicación del ozono. Se evaluó muestras de agua recolectada proveniente del río en estudio, incluso se eliminó su factor de variabilidad de concentración inicial. Entre sus principales resultados se encontró que la aplicación de ozono se realizó en tres fases, las cuales se diferencian por su acondicionamiento de pH y luego evaluando la concentración de manganeso en intervalos de 5 minutos, donde la fase de pH 8 alcanza una concentración de manganeso por debajo del parámetro ambiental. Se concluyó que la aplicación de ozono permite disminuir las concentraciones de manganeso, siendo el pH 8 y un tiempo mayor de 11.6 minutos para obtener resultados óptimos.

Tirado y Valverde (2018) en su investigación: Determinación de la concentración de hierro, manganeso y cobre en aguas del río Chiminero, de la Provincia de Cajabamba, tuvo como objetivo determinar la concentración de hierro, manganeso y cobre en el río Chiminero de la Provincia de Cajabamba. Para ello tomo muestras del río en diferentes puntos, tomando en cuenta la accesibilidad en los meses de estiaje (Julio – Setiembre) y así determinar la concentración de metales. Sus resultados obtenidos muestran que las concentraciones de hierro se encontraban en 6,25 mg/L, manganeso en 8,54 mg/L, los cuales superan los Límites Máximos Permisibles. Se concluyó que en los cuatros puntos analizados del río Chiminero la concentración de hierro supera los ECAs peruanos.

Ruiz (2015) en su investigación: Proceso HDS en Minera Sipán para la optimización de remoción de manganeso en aguas de drenaje ácido- Cajamarca, su objetivo fue caracterización metálica y determinar cuál es la abundancia de los metales presentes en la muestra. Para ello se obtuvieron datos del estudio geoquímico de cierre de mina, elaborado por Klohn Crippen en el 2009, asumiendo que los resultados están

actualizados, incluyendo análisis geoquímico basados en los resultados de investigación y desarrollo, en las cuales se contempla su cierre de minas. Los métodos de prueba se realizan utilizando análisis mineralógicos para evaluar el contenido de minerales e identificar los existente. El patrón geológico determinará su capacidad de generación de acidez. Se tomaron 6 muestras del tajo. Los cuales indican la presencia de pirita con minerales que aportan iones sulfatos, que son agentes formadores de agua ácida. Los resultados obtenidos indicaron que el pH de las muestras está por debajo de 5 y el contenido de manganeso era de 10,70 mg/L. Se concluye que las estructuras del Proyecto se componen de silicatos neutros en presencia de pirita, que inducen a la acidez al formar lixiviación ácida, con altas de metales pesados como el manganeso.

2.2. Base Teórica

2.2.1. *El Agua*

El agua es una sustancia que consta de dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno (H₂O), y en su estado sólido (hielo), gaseoso (vapor) y líquido (agua), es una fuente inocua para la salud (CONAGUA, 2016).

El agua es un elemento básico para la vida de todos los seres vivos, sus propiedades son únicas, es el primer disolvente universal, que contribuye a la regulación del clima. Es un reactivo ideal en muchos procesos metabólicos, tiene una alta capacidad calorífica y es capaz de expandirse al solidificarse. El agua está habitada por organismos vivos que pueden reaccionar a factores físicos y químicos, muchos de los cuales afectan su vida y su sustentabilidad. Cuanto más usamos el agua, más hemos creado ciclos antropológicos. Tomar agua de los manantiales naturales es muy útil para la humanidad, pero valdrá la pena cuando se devuelva sin la condición de tomarla. Por lo tanto, afectar el ciclo biológico natural (EPA, 2018).

Según la Autoridad Nacional del Agua (2016), el agua es una sustancia esencial para la vida, un recurso natural renovable, necesario para la vida, sensible y estratégico para el desarrollo sostenible, el mantenimiento de los sistemas naturales, la naturaleza y los ciclos que la sustentan.

2.2.2. Contaminación del agua por metales pesados

La contaminación por metales pesados es un problema ambiental generado por las industrias indiscriminadamente, los metales no se degradan se van acumulando en el cuerpo de las personas y los animales. La mayor parte de los metales pesados son muy tóxicos aun en pequeñas concentraciones, dependen de la solubilidad de los compuestos en el agua. Por ello se requiere de estrategias y de tecnologías limpias, rentables y amigables al medio ambiente para el agua, los sedimentos y los suelos contaminados con metales pesados (Parque, 2016).

La calidad del agua puede verse afectada por actividades industriales o naturales, que tienen efectos adversos sobre el medio ambiente y los ecosistemas. En condiciones De naturales, la contaminación puede deberse a la eutrofización, debido al aumento del contenido de nutrientes en el agua, la lixiviación de suelo y en última instancia, las erupciones volcánicas. Tenemos además el estrés hídrico que es uno de los primordiales inconvenientes que sufre el mundo. También tenemos escasez de agua, que es uno de los grandes problemas del mundo. La contaminación también puede ocurrir por actividades humanas como actividades agrícolas, industriales, minero metalúrgicas, la cual es una de las principales causas de contaminación, debido a que, durante la extracción y fundición de metales, se dispersan y depositan sus desechos, provocando cambios ambientales. Los metales son indicadores de la calidad ecológica de todos los cursos de agua por su toxicidad y potencial de bioacumulación. Los metales pesados forman grupos con minerales como carbonatos y sulfatos. Las altas concentraciones de metales pesados en

los cuerpos de agua están asociadas a la minería, cuya explotación arrojará al medio ambiente de manera irresponsable, provocando fuertes impactos ambientales. (Sanabria, 2015).

De acuerdo a las lecturas de parámetros de campo, conductividad eléctrica, metales pesados, turbiedad, pH, en el Tingo distrito de Hualgayoc no cumple con los límites Máximos Permisibles, debido a altos índices de aluminio, hierro, manganeso como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1.
Estándar Calidad Ambiental para agua, Riego de vegetales y bebida de animales, categoría 3.

Parámetro	Unidad	Limite	Limite Promedio Anual
pH	mg/L	6,5- 8,5	6,5 – 8,5
Sólidos Totales	mg/L	50	25
Aceites y Grasas	mg/L	5	5
Cianuro Total	mg/L	1	0.8
Arsénico Total	mg/L	0.1	0.08
Cadmio Total	mg/L	0.05	0.04
Cromo Hexavalente	mg/L	0.1	0.08
Cobre Total	mg/L	0.5	0.4
Hierro (disuelto)	mg/L	2	1.6
Manganeso (disuelto)	mg/L	0.2	0.2
Mercurio Total	mg/L	0.002	0.0016
Zinc Total	mg/L	1.5	1.2

Fuente. (DS-004-MINAM, 2017).

2.2.3. Alternativas de descontaminación o remoción de metales pesados

En la actualidad existen diversos procesos de remoción de metales pesados los cuales pueden ser: precipitación química, ultrafiltración, reducción electrolítica, extracción por solventes, intercambio iónico, absorción de carbón activado, ósmosis inversa y oxidación por ozono. Estas tecnologías se pueden aplicar, pero dependiendo de las características de las aguas residuales, así como del lugar de aplicación, generación de

residuos, recolección de lodos residuales y por supuesto la eficiencia económica. En algunos casos, los procedimientos anteriores también deben usarse según sea necesario para la solución (Sanabria, 2015).

Debido a esta problemática los investigadores han evaluado diferentes métodos para la remoción y eliminación de los metales de las fuentes de agua, con el solo propósito de preservar los ecosistemas y la vida humana. Por ello el ozono es una alternativa amigable y económica para la eliminación de los metales (Tejada, 2015); como se muestra en la figura 1.

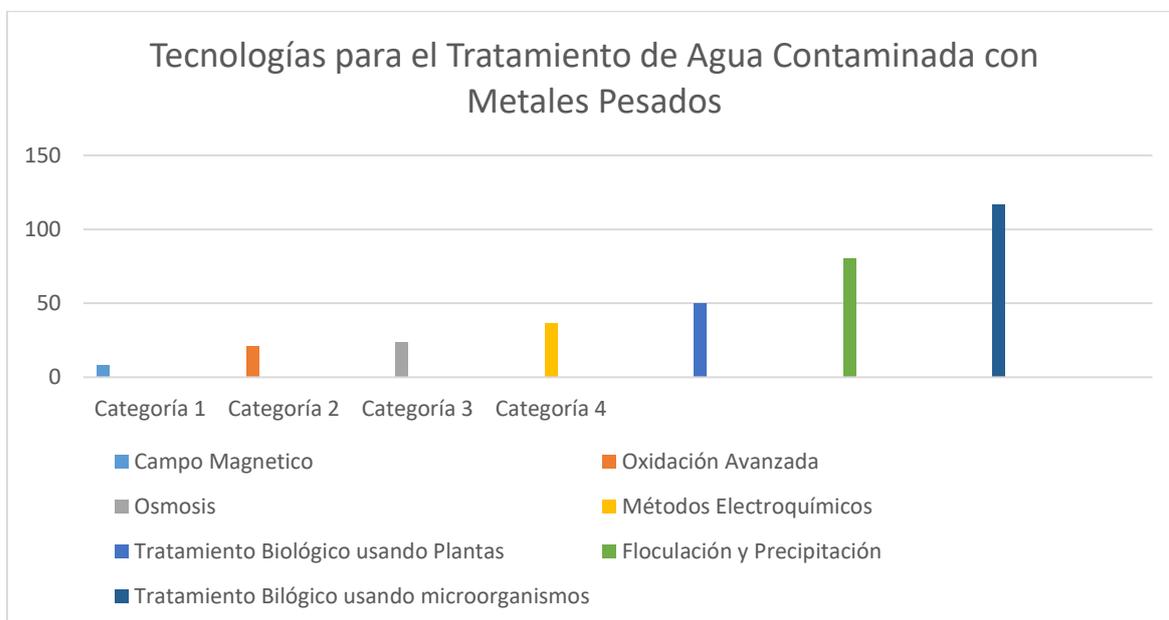


Figura 1. Tecnologías de Tratamiento.

Fuente. (Salud, 2019)

2.3. Manganeso

El manganeso es un elemento químico muy común en la corteza terrestre y es el segundo metal de transición más abundante después del hierro. El manganeso tiene una configuración electrónica $[Ar] 3d^5 4s^2$ y pertenece al grupo VIIB de la tabla periódica, ubicado en el período 4. Su configuración electrónica es la de un gas noble, el orbital de manganeso "d" contiene 5 electrones y el orbital "s" contiene 2 electrones. Esto significa

que en su estado de reducción más positivo alcanza el estado de oxidación 2. También es debido al orbital "d" que pueden formar diferentes grados de oxidación (Cincero, 2003).

El manganeso se presenta en tres formas diferentes: en solución (óxido de manganeso Mn^{2+}), en estado coloidal (en forma de turbidez e hidróxido) y en forma de partículas suspendidas relativamente grandes (manganeso (Mn^{4+}) y partículas (orgánicas) disueltas, orgánicos e inorgánicos) (Herrera, 2015).

El M^{+2} (manganeso) en la celda Frost se considera la forma más soluble y más importante de manganeso en la naturaleza, y constituye la mayor parte del régimen pE-pH asociado con el agua natural. Como se aprecia en la figura 2.

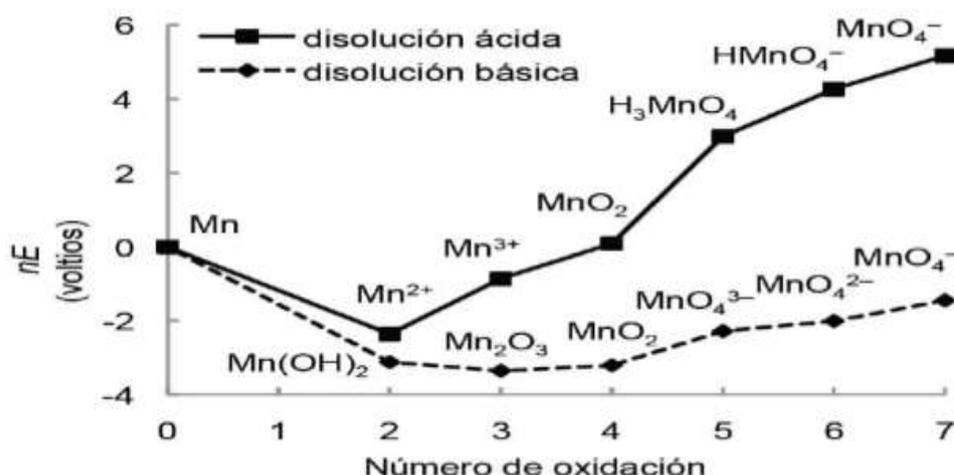


Figura 2. Diagrama de Frost, el Manganeso en disolución ácida y básica. Fuente. (Blasco, 2005)

En solución acuosa, que es neutra y ácida, se presenta como ion hexahidratado $[Mn(H_2O)_6]^{2+}$, de color rosa muy pálido con alta capacidad antioxidante. El medio principal es el hidróxido de Mn $(OH)^2$, que se oxida muy fácilmente incluso en el aire. A valores de pH superiores a 9,0 no se aprecia la presencia de iones Mn^{+2} . En solución acuosa, neutra y ácida, existe como el ion Hexa-acuoso $[Mn(H_2O)_6]^{+2}$, de color rosa muy pálido, que es bastante resistente a la oxidación. Como se muestra en la figura 3.

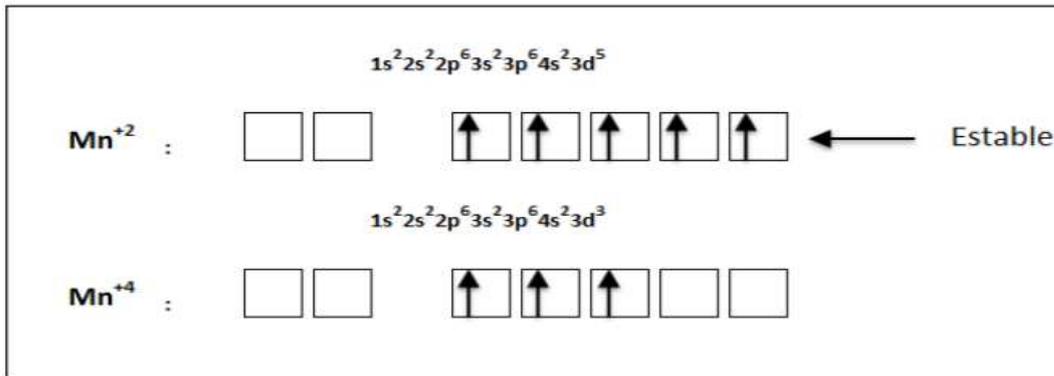
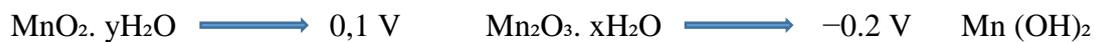


Figura 3. Representación de iones de Manganeso.

Fuente. (Coelho, 2008)



2.3.1. Propiedades Físico Químicas del Manganeso

Los diferentes estados de oxidación dan al manganeso el color marrón característico de los productos en los que se ha formado el residuo (Cincero, 2003). Sus principales propiedades físico químicas de esta sustancia se enumeran en la tabla 2.

Tabla 2.

Propiedades Físico Químicas del Manganeso.

Nombre	Manganeso
Número Atómico	25
Valencia	2, 3, 4, 6, 7
Estado de Oxidación	+2
Electronegatividad	1.5
Radio Covalente (Å)	1.39
Radio Iónico (Å)	0.8
Radio Atómico (Å)	1.26
Configuración Electrónica	[Ar]3d ⁵ 4s ²
Potencial Primero de Ionización (e V)	7.46
Masa Atómica (g/mol)	54.938
Densidad (g/ml)	7.43
Punto de Fusión	2.15
Descubridor	Joahan Gahn 1774
Sistema	Tetragonal
Color	Negro
Brillo	Metálico

Fuente: (Chang R. , 2021)

2.3.2. Efectos del Manganeso sobre la salud

El manganeso es un micronutriente esencial, en pequeñas cantidades es necesario para el mantenimiento y funcionamiento del organismo, pero en altas concentraciones será perjudicial para el organismo humano. La absorción de manganeso en el cuerpo humano proviene principalmente de los alimentos: espinacas, té, arroz, soja, huevos, nueces, aceite de oliva y ostras. Cuando es absorbido por el cuerpo humano, el manganeso se transporta a través de la sangre al hígado, los riñones, el páncreas y las glándulas endocrinas. El manganeso puede causar problemas en los pulmones, el hígado y los vasos sanguíneos, presión arterial baja, retraso del crecimiento fetal en animales y daño cerebral. Cuando el manganeso se absorbe a través de la piel, puede causar temblores y falta de coordinación. (Gómez, 2014).

2.3.3. Efectos ambientales del Manganeso

El manganeso se encuentra en el aire, el suelo, el agua y los alimentos debido a la liberación de manganeso de los desechos industriales y mineros. Su degradación no puede ocurrir espontáneamente, solo cambia de forma, se pega o se separa en partículas en agua o precipita (ATSDR, 2016).

En las plantas, los iones de manganeso, después de ser absorbidos por las raíces desde el suelo hacia las hojas, provocarán cambios en la planta, lo que provocará toxicidad y deterioro funcional, y el crecimiento provocará manchas marrones en las hojas y los tallos. (Chang R. , 2021).

2.3.4. Manganeso en aguas Naturales

El manganeso actúa como ion en el agua, su sal es fácilmente soluble y estable en sustancias ácidas. Se han encontrado coloides y compuestos orgánicos de manganeso en aguas superficiales y subterráneas. Las bacterias del manganeso producen un color rojizo

alrededor de las fuentes de agua o en las rocas. La oxidación del manganeso es difícil debido a su solubilidad, por lo que su oxidación se produce a $\text{pH} > 8$. La reacción del ion manganeso con el dióxido de manganeso se muestra en la siguiente ecuación (Ramalho, 2009).



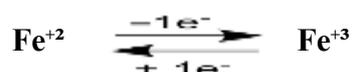
2.4. Hierro

El hierro es un elemento químico, simbolizado (Fe), el cuarto más abundante en la corteza terrestre, con producción muy elevada en todo el mundo a diferencia de otros metales, de color gris plateado magnético, forman con otros minerales como son: óxidos, minerales hidratados, sulfuros y silicatos. siendo imprescindible para el transporte de oxígeno, transferencia de electrones, reacciones enzimáticas, metabolismo y la fotosíntesis (Gutiérrez, 2015).

El hierro es un elemento químico, de símbolo (Fe), el cuarto más grande en la corteza terrestre, con una producción muy alta a nivel mundial, a diferencia de otros metales, el gres porcelánico tiene un magnetismo plateado, se forman a partir de otros minerales como: óxidos, minerales hidratados, sulfuros y silicatos. Necesario para el transporte de oxígeno, transporte de electrones, reacciones enzimáticas, metabolismo y fotosíntesis (Ferroplanes, 2020).

Dado que la proporción de protones y neutrones en el núcleo de hierro es estable, y por tanto las diversas reacciones de fusión y fisión en el espacio que dieron lugar a su formación, se estima que la masa de la Tierra contiene un 32% de este elemento (Usui, 1994).

La importancia del hierro se da porque tiene dos estados de oxidación estable Fe^{+2} y Fe^{+3} , los cuales pueden intercambiar electrones con facilidad como se muestra en la ecuación siguiente. El hierro es un excelente catalizador de reacciones redox biológicas las cuales fueron parte del inicio de la vida (Pélaez, 2013).



2.4.1. Propiedades Físico Químicas del Hierro

El hierro mineral tiene muchas formas diferentes, como Fe^{+2} , Fe^{+3} soluble en agua e insoluble. Las concentraciones pueden ser altas y se pueden encontrar en aguas subterráneas y superficiales. Según el potencial redox y el pH del agua, el hierro se encuentra en un estado u otro. En la Tabla 3, se encuentran sus principales propiedades (Pélaez, 2013).

Tabla 3.
Propiedades Físico Químicas del Hierro.

Nombre	Hierro
Número Atómico	26
Valencia	2, 3,
Estado de Oxidación	+3
Electronegatividad	1.8
Radio Covalente (Å)	1.39
Radio Iónico (Å)	0.8
Radio Atómico (Å)	1.26
Configuración Electrónica	[Ar]3d ⁶ 4s ²
Masa Atómica (g/mol)	55.847
Densidad (g/ml)	7.86
Punto de Fusión	1536
Descubridor	Antiguos
Sistema	Alotrópico
Color	Gris Plateado
Brillo	Metálico Intenso

Fuente: (Chang R. , 2021)

El hierro es un elemento especial porque está involucrado en importantes procesos humanos como la respiración celular y los sistemas enzimáticos que mantienen la integridad celular. En la naturaleza lo encontramos en forma de óxidos, hidróxidos de hierro o polímeros (Tostado, 2015). En nuestro organismo actúa como:

- Funcional: Formando compuestos, hemoglobina, enzimas y mioglobina
- Transporte: transferrina
- Depósito: Formando ferritina y homosiderina

2.4.2. Efectos del Hierro sobre la salud

La deficiencia de hierro causa anemia y es el problema nutricional más común que afecta a muchos niños y mujeres en todo el mundo (killip, 2007).

El exceso de hierro puede ser dañino, después de su ingestión puede causar malestar estomacal, estreñimiento, vómitos y desmayos, también reduce la absorción de zinc, en dosis muy altas causará estreñimiento, náuseas, dolor abdominal, vómitos y desmayos. Altas dosis de hierro reducen la absorción de zinc. En dosis muy altas, el hierro puede provocar insuficiencia orgánica, coma, convulsiones y la muerte (NIH, 2019).

2.4.3. Efectos ambientales del Hierro

La contaminación por hierro se presenta en los sectores industrial, tecnológico, agrícola y minero. debido al tratamiento inadecuado de los desechos y la aplicación de muchos fertilizantes químicos al suelo con metales pesados como el hierro, contaminando ríos, vegetales, animales y alimentos, alterando el equilibrio de la cadena alimentaria, provocando daños irreversibles a la naturaleza. y medio ambiente El hierro puede causar intoxicaciones graves, y lo más preocupante es que la acumulación de este metal en el cuerpo alterará los procesos bioquímicos y fisiológicos, provocando muchas enfermedades diferentes (Waisberg, 2013).

2.4.4. El Hierro en agua naturales

Las fuentes naturales de hierro y manganeso a menudo se encuentran en pozos profundos expuestos a roca mineralizada durante un largo período de tiempo. El agua de pozos y manantiales superficiales rica en hierro y manganeso puede ser incolora al principio, pero las manchas o granos de color marrón anaranjado (hierro) y un sabor metálico ayudan a determinar la concentración del elemento en el agua. Por supuesto, la primera pauta es el análisis químico, el tiempo de disolución del hierro es muy importante y su pH es inferior a 7 (Swistock, 2019).

En pequeñas dosis, el hierro no es tóxico, pero en altas dosis es perjudicial para la salud humana. De igual manera, los equipos de tratamiento de agua potable se dañan debido a la acumulación de depósitos de óxido, afectando la eficiencia, dando señales falsas y datos erróneos sobre la calidad de las aguas residuales. Los óxidos se depositan en la red de drenaje, que suele ser crítica para la limpieza, y provoca restricciones y mitigaciones, provocando escasez de suministro y la formación de bacterias difíciles de limpiar (Alvarez, 2020).

Se pueden detectar hasta 0,5 mg/l de hierro, que es un subproducto del lavado de contaminantes industriales y mineros y agua potable debido al uso de coagulantes férricos como el cloruro férrico, que corroe las tuberías de acero y la fundición. Hierro de la red de alcantarillado. La corrosión se produce debido al desgaste de los materiales metálicos como resultado de reacciones químicas, incluidas las reacciones redox. Este fenómeno ocurre cuando los materiales metálicos se desgastan porque tienden a alcanzar la energía potencial más baja (Salazar, 2015).

2.5. Ozono

El ozono es un gas incoloro e inestable con tres átomos de oxígeno (O_3), es altamente oxidante, fácil de obtener, pero a la vez muy quebradizo y de fácil destrucción, como se muestra en la figura 4, su composición química (IDEAM, 2015).

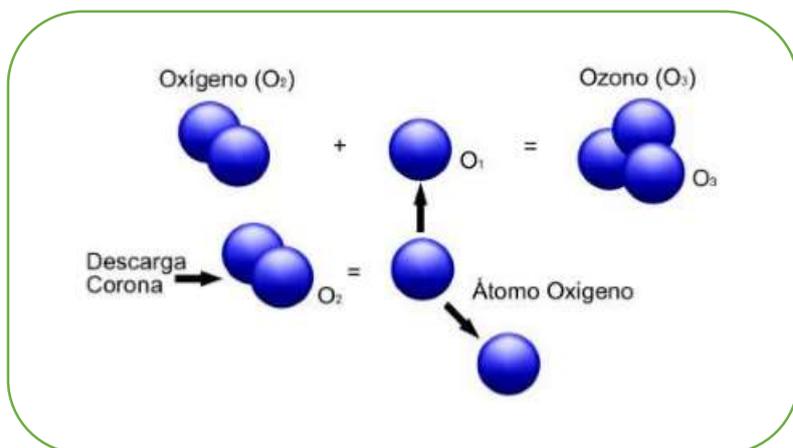


Figura 4. Composición Química del Ozono.

Fuente. (IDEAM, 2015)

El primer descubrimiento del oxígeno fue realizado en 1785 por el químico holandés M. Van Marum, quien advirtió que cuando se expone a descargas eléctricas, el oxígeno tiene un olor desagradable característico y su propiedad principal es que se empaña con el mercurio. Posteriormente, otro investigador, Cruikshank (1801), observó propiedades similares, pero utilizando electrólisis. Así se comprobó que el olor es la formación de un componente derivado del oxígeno al que se ha denominado ozono, que significa olor (IDEAM, 2015).

En estado líquido es de color índigo (azul-violeta) y su punto de ebullición es de $-112^{\circ}C$. En estado sólido, es de color púrpura oscuro y se funde a $-250^{\circ}C$. Es muy inestable en ambos estados y puede explotar con un simple impacto. Algunas sales de hierro, manganeso o sulfuro no son deseables en el agua porque causan olores, sabores y manchas desagradables en la ropa y no se pueden eliminar con detergentes. Estos metales están sujetos a niveles máximos y parámetros de liberación. Los límites actuales en España

(Directiva 98/83 y RD 140/2003) son de 0,2 mg/l para el hierro y 0,05 mg/l para el manganeso (Rosal, 2019).

La molécula presenta una estructura molecular angular, con una longitud de enlace oxígeno - oxígeno de 1,28 Å; se puede representar en la figura 5, de la siguiente manera:

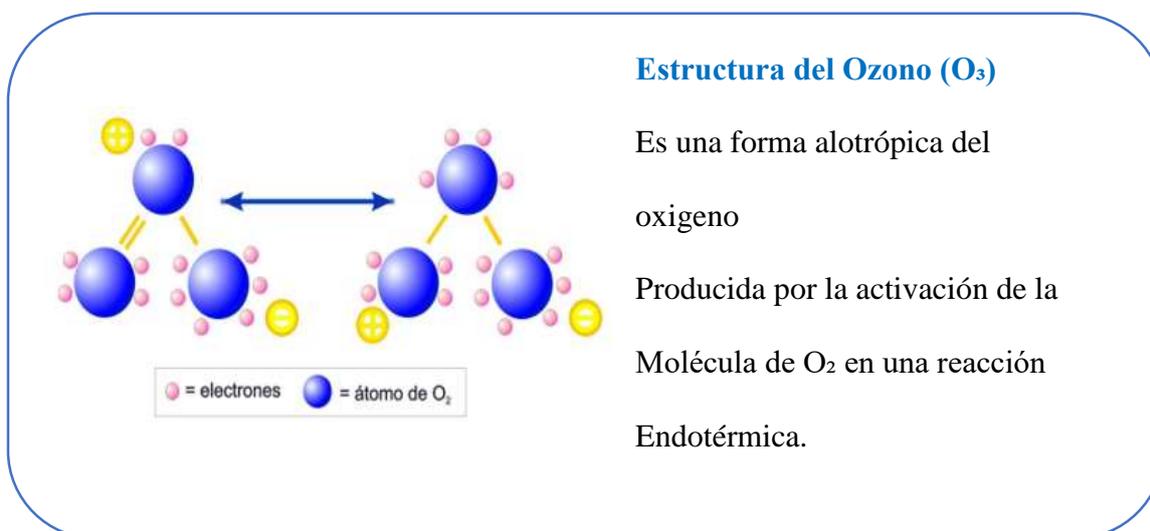


Figura 5. Estructura del Ozono.

Fuente. (IDEAM, 2015)

La oxidación avanzada (POA) es un proceso fisicoquímico que puede cambiar la estructura química de los contaminantes metálicos. Estos procesos involucran la formación y utilización de formas intermedias, como los radicales hidroxilos (HO), que son producidos por fotoquímicos u otras formas de energía que logran una alta eficiencia de oxidación y solo por detrás del flúor (Domenech, 2012).

2.5.1. *Propiedades del Ozono*

Las propiedades más importantes del ozono son oxidantes, bactericidas y de amplio espectro en la eliminación de metales y microorganismos del agua (Hidretec, 2015).

La atracción del ozono, la atracción entre átomos (enlaces covalentes) es despreciable, por lo que su molécula es muy inestable. Esto provoca un aumento de temperatura y presión, consiguiendo una inestabilidad total por encima de los 200 °C. Por

lo tanto, el ozono no se puede almacenar y debe producirse en el país. (Laphan, 2013).

Hoy en día, el ozono es muy utilizado por su alta capacidad oxidante, entre los cuales el poder reductor de los compuestos oxidantes es el más alto, por lo que se encuentra entre los compuestos con mayor potencial como se muestra en la Tabla 4. Por esta razón, muchos usos del ozono han sido desarrollado principalmente para la eliminación de olores y la eliminación de metales pesados (Gottschalk, 2000).

Tabla 4.
Potencial de reducción de las especies más oxidantes.

Especie	Potencial de reducción, E° (V)
Flúor	3.03
Radical Hidroxilo (OH)⁻	2.8
Oxígeno Atómico	2.42
Ozono (O₃)	2.07
Peróxido de Hidrógeno (H ₂ O ₂)	1.78
Radical Perhidroxilo (HO ₂)	1.7
Permanganato	1.68
Dióxido de Cloro	1.57
Ácido Hipocloroso	1.49
Cloro Gas	1.36
Ácido Hipobromoso	1.33
Oxígeno	1.23
Hipoclorito	0.94

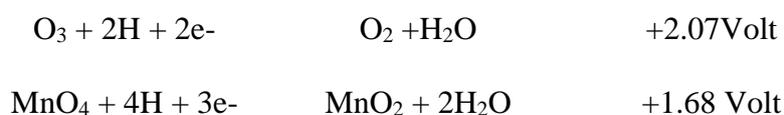
El olor es detectado en concentraciones por encima de 0.1 ppm. Sus principales propiedades físico-químicas de esta sustancia se enumeran en la tabla 5.

Tabla 5.
Propiedades Físico Químicas del Ozono.

Nombre Químico	Ozono
Masa Molecular Relativa	48 g/L
Volumen Molar	22,4 m ³ PTM/mol
Fórmula Empírica	O ₃
Número de Registro CAS	10028-15-6
Referencias EINECS	233-069-2
Densidad (gas)	2,144 g/L a 0°C
Densidad (líquido)	1,574 g/cm ³ a -183 °C
Temperatura de Condensación a 100 kpa	-112 °C
	-196 °C
Temperatura de Fusión	-110,5 °C
Punto de Ebullición	-251,4 °C
Presión Crítica	-12 °C
Temperatura Crítica	54 atm
Densidad Relativa frente al aire	1,3 veces más pesado que el aire
Inestable y Susceptible de Explosionar	Líquido – 112 °C
Fácilmente	Sólido – 192 C
Equivalencia	1ppm = 2 mg/m ³

Fuente. (IDEAM, 2015)

El Ozono es un agente fuertemente oxidante, con un potencial de oxidación inferior solamente al del Flúor, tal como indica en la siguiente ecuación:



2.5.2. *Generación de Ozono*

El ozono se puede generar en tres procesos: descarga eléctrica (corona), método electroquímico y radiación ultravioleta (UV). El método más común es la descarga eléctrica (corona). Este método se logra usando grandes cantidades de energía, con producción de ozono acondicionado, y métodos electroquímicos y ultravioleta aún menos eficientes. El ozono se genera en un generador de ozono. El gas de alimentación puede

ser aire puro u oxígeno. Alrededor del 1% al 10% del oxígeno que pasa a través de los electrodos se convierte en ozono. (Beutelspacher, 2005).

Cuando se utiliza aire, la concentración de ozono a la salida del generador de ozono oscila entre el 1 % y el 4 %, y cuando se utiliza oxígeno puro, la concentración suele oscilar entre el 4 % y el 12 % en peso. La descarga de corona entre los dos electrodos hace que un electrón fluya a través de la puerta de descarga, como se muestra en la Figura 6. Estos electrones proporcionan energía para la disociación de las moléculas de oxígeno, lo que conduce a la formación de ozono según las ecuaciones 1 y 2. (Beutelspacher, 2005).

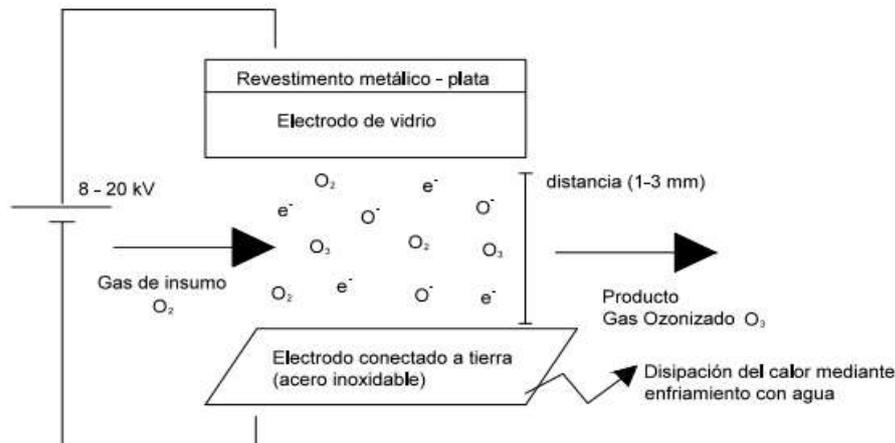


Figura 6. Producción del Ozono.

Fuente. (Santiago, 2005)

2.6. Tecnologías para la remoción de Fe y Mn

2.6.1. Método Convencional

El método convencional usa proceso de oxidación, alcalinización, precipitación y filtración, el cual consiste en la dosificación de un compuesto químico como lechada de cal o soda caustica, el cual se le adiciona para aumentar el pH de solución, ya que el pH.

inicial de las fuentes con hierro y manganeso siempre están en pH menos de 4. Una vez elevado el pH de la solución inicia la precipitación y los sólidos con hierro y manganeso a través de la lechada se vuelven insolubles, una vez logrado la precipitación se adecua a través de una homogenización la cual seguidamente pasa al sistema de filtración el cual es el producto final obtenido tiene una eficiencia de hasta el 99%. (Anastopoulos, 2015). Los oxidantes más empleado son el ozono, hipoclorito, permanganato de potasio, peróxido de hidrogeno, entre otros. Lo importante es determinar la dosificación optima de acuerdo a las características del efluente (Zewail, 2015).

2.6.2. Métodos Biológicos

Estos se denominan agentes de biorremediación que utilizan microorganismos para destruir los contaminantes del agua, como el hierro y el manganeso. Existen bacterias oxidantes de metales pesados como *Acidithiobacillus ferrooxidans* para el hierro y *Acinetobacter sp* para el manganeso que ayudan a eliminar estos metales pesados de las fuentes de agua. El tratamiento biológico siempre requiere propiedades y condiciones ambientales específicas para eliminar los metales pesados de las fuentes de agua. Porque no todas las aguas subterráneas o superficiales son económicamente viables. Los microorganismos pueden cultivarse en un biofiltro y luego usarse para eliminar el hierro y el manganeso del agua, logrando un rendimiento muy significativo del 93% (Ali, 2013).

2.6.3. Ozonificación para remover Fe y Mn

La ozonización se realiza en dos etapas, la primera consiste en aportar agua tratada con ozono mezclada con aire u oxígeno, dispersada de manera que el área en contacto con el agua donde se introduce sea la mayor posible. La segunda etapa del proceso se logra exponiendo el ozono a compuestos orgánicos e inorgánicos en el agua para oxidarlo. El ozono restante en el agua sigue siendo ozono residual y el ozono no utilizado sale del reactor. La desinfección ocurre cuando daña y destruye componentes vitales incluso de

microorganismos persistentes como giardia, virus y algunas formas de algas (Evans, 2010).

En la Ozonización tiene muy buena eficacia, pero depende de la contaminación (química y biológica) o del agua a ser tratada, del tiempo de contacto y de la concentración de ozono. Los componentes de un sistema de ozonización se muestran en la figura 7.

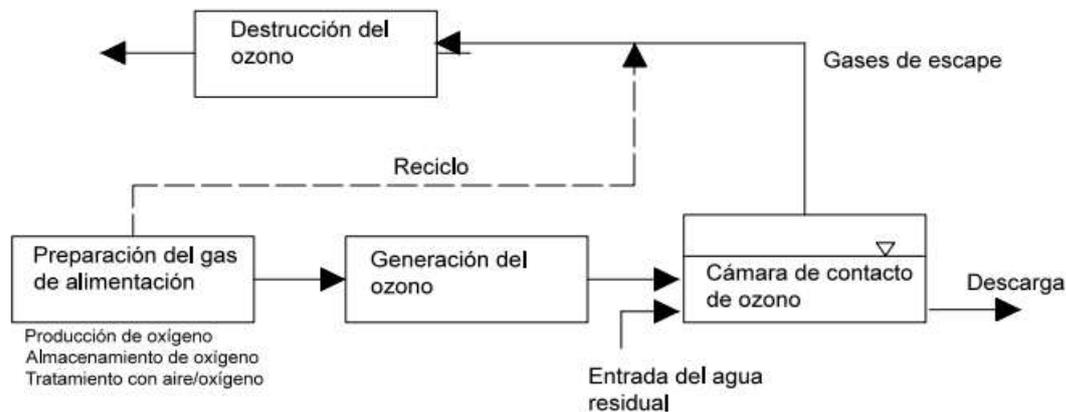


Figura 7. Componentes de un sistema de Ozonización.

Fuente. (Santiago, 2005)

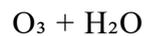
Preparación del gas de alimentación.

- Generación del Ozono.
- Contacto del Ozono que suele realizarse bien por difusores de burbuja mediante inyector tipo Venturi.
- Destrucción del ozono que se realiza por destrucción térmica o bien destrucción catalítica con catalizadores de paladio, óxido de níquel o manganeso.

En 2018, ASP realizó un estudio para probar la efectividad del ozono en la eliminación de manganeso del agua con altas concentraciones de este contaminante. Se ha encontrado que es muy eficaz y rápido de eliminar. Las pruebas realizadas con ozono eliminaron el 87% del manganeso disuelto en solo 5 minutos. El método utilizado es propio y los resultados son muy satisfactorios cuando se trata de excesos de hierro y manganeso

El mecanismo de acción del ozono inyectado en el agua, puede ejercer su poder oxidante mediante los mecanismos de acción (EPA, 2018). Las cuales pueden ser:

- Oxidación por radicales libres hidroxilos
- Los radicales libres hidroxilos, $(OH)^{\cdot}$, se genera en el agua como a continuación se expone:



La aplicación de ozono es el único tratamiento que consigue resultados positivos en la eliminación de manganeso, comparado con los demás (ASP, 2018).

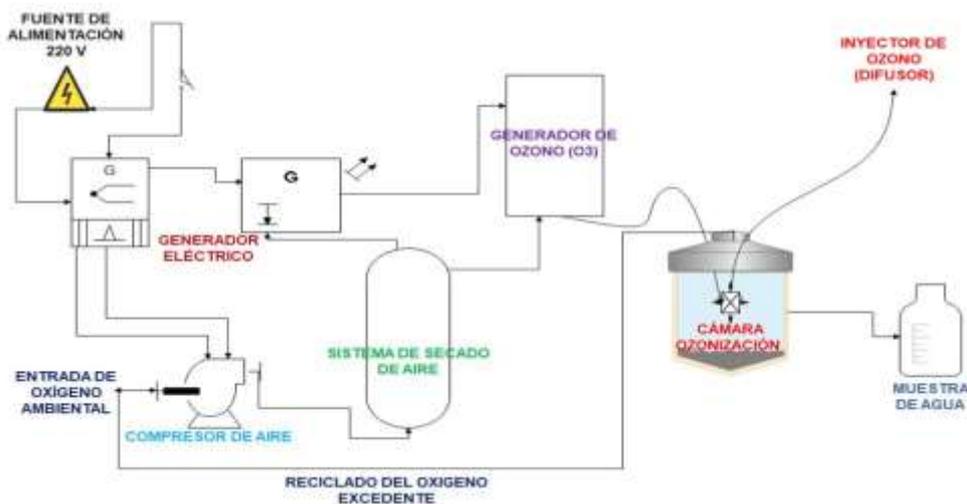


Figura 8. Esquema del proceso de remoción de metales a través de Ozono.
Fuente. (Diseño del Ozonador, 2021)

2.7. Definición de Términos Básicos

pH. - Es el potencial de hidrógeno de una sustancia, expresado en la escala de pH, donde el valor de una solución va de 0 a 14. Donde cero es el punto menos ácido y 14 es el punto base. El valor de Ph 7 es el punto neutro de la titulación equivalente con agua pura a 25°C (Siwek, 2021).

Calidad de Agua. - Es la capacidad intrínseca del agua para satisfacer los usos de los que puede derivarse y que, en condiciones de equilibrio, pueden mantener un ecosistema equilibrado que cumpla con determinados objetivos de calidad (calidad

ambiental) (Cabezas, 2015).

Agua Superficial. – El agua superficial se encuentra en ríos, lagos y lagos, se encuentra en la naturaleza, de la lluvia, de los arroyos o de las aguas subterráneas (Peña, 2017).

Agua Ácida. - El agua ácida surge naturalmente de la oxidación espontánea de la pirita y otros sulfuros asociados en presencia de agentes oxidantes fuertes (O_2 y Fe^{+3}). El agua normal cualquiera que entre en contacto con la pirita formará agua ácida (MAMIM, 2018).

Pasivo Ambiental. – Es un estado del medio ambiente creado por el hombre en el pasado y empeorado con el tiempo, que en la actualidad supone una amenaza para el medio ambiente y la calidad de vida humana. La responsabilidad ambiental puede afectar la calidad del agua, el suelo, el aire y los ecosistemas, degradándolos (Zeballos, 2017).

Efluente. - Cualquier efluente que ingresa al medio ambiente desde un punto de origen, también conocido como distribución, desde un lugar conocido como confluencia, se descarga de un lago o río como desviación secundaria, ya sea natural o artificial (Monkhouse, 1978)

Estándar de Calidad Ambiental ECAs: El Estándar de Calidad Ambiental (ECA) es un instrumento de gestión ambiental que se establece para medir el estado de la calidad del ambiente en el territorio nacional. (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAN).

Contaminación. - Se refiere a la presencia de cualquier agente en el medio ambiente (físico, químico o biológico) o una combinación de diferentes agentes en ubicaciones, formas y concentraciones que son dañinas o nocivas para el medio ambiente. La salud, la seguridad o el bienestar de las personas, o en su momento, puedan dañar la vida vegetal o animal, o impedir el uso normal de la propiedad y los espacios de recreación (MINAM, 2017).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales y Equipos

3.1.1. *Materiales*

- Cuaderno de Campo.
- Tablero de guía.
- Mapas Hidrográficos de la zona de estudio.
- Wincha Metálica.
- Frascos de 0,5 L de Polietileno.
- Hojas de Papel Bond.
- Papel Absorbente.

3.1.2. *Equipos*

- pH metro, marca Akton.
- GPS, Garmin.
- Laptop Portátil.
- Cámara Fotográfica.
- Ozonador Marca Forza.
- Vasos de Precipitado de 50 mL y 200 mL marca Pirex.
- Cronómetro.
- Agua Destilada.

3.2. Metodología de la Investigación

La investigación emplea un enfoque cuantitativo a nivel comparativo (niveles de pH natural, pH: 6 y pH: 8) y explicativo (efecto de la ozonificación) con diseño no

experimental longitudinal de serie de tiempo pues lo valores de la variable respuesta de Fe y Mn se mide a intervalos de tiempo equidistantes.

3.3. Ubicación y descripción de la Zona de Estudio

3.3.1. Ubicación Geográfica del río Tingo Maygasbamba

La zona de estudio fue en el río Tingo Maygasbamba que forma parte del sistema hidrográfico de la cuenca del río Llaucano siguiendo su cauce hasta el río Marañón, geográficamente se ubica en la provincia de Hualgayoc, Región de Cajamarca en la sierra Norte del Perú, como se aprecia en la figura 9.



Figura 9. Plano de ubicación de puntos de monitoreo.
Fuente. (Earth, 2021)

El monitoreo fue en las aguas del río Tingo Maygasbamba el cual nace de dos quebradas o ríos menores. En este tramo inicial, el río Tingo Maygasbamba adopta el nombre de quebrada El Puente de La Hierba, para luego convertirse en el río Tingo

Maygasbamba y desembocar en el río Llaucano, que tiene un área de 121.6 km² y un perímetro de 61.0 km. Los 4 puntos de monitoreo se registraron con GPS garmin, apreciados en la figura 10.



Figura 10. Puntos de monitoreo del río Tingo Maygasbamba.
Fuente. (Earth, 2021)

3.4. Metodología

3.4.1. Inspección y Selección del muestreo

La inspección preliminar se realizó el 15 de enero del 2020; y la segunda se realizó el 16 de agosto del 2021, época de menor precipitación. La frecuencia del muestreo consistió en una visita preliminar a la zona del río Tingo Maygasbamba y se identificó las 4 estaciones de muestreo representativas y la toma muestras para analizar, de acuerdo al régimen hidrológico del río Tingo Maygasbamba en período de sequía (de julio a setiembre).

3.4.2. Estaciones de Muestreo

En la tabla 6 se presentan la ubicación de las cuatro estaciones de muestreo con su respectiva codificación, georreferenciación y altitud. La selección de dichas estaciones de monitoreo se realizó para buscar garantizar la representatividad y la accesibilidad a los puntos de muestreo.

Tabla 6.
Estaciones de Muestreo del río Tingo Maygasbamba.

Código	Estaciones de Muestreo Nombre	Coordenadas Este	UTM Norte	Altitud msnm
RTGIN-1	río Tingo 200 m antes del vertido	760885	9252972	3510
RTGIN-2	Quebrada La M	761079	9253231	3566
RTGIN-3	Boca Mina	761141	9253180	3575
RTGIN-4	río Tingo 200 m después del vertido	761152	9253220	3560

- RTING-1.

El primer punto de muestreo se realizó a 200 antes del vertido de minería, el cual es una bocamina abandonada. Este punto se determinó por la verificación encontrada de ganadería y pastoreo en las orillas del río, no se constata arrojamiento de residuos sólidos ni descargas de aguas residuales, puesto que en esta zona mayormente existe vegetación y se puede apreciar que no existen viviendas cercanas.

- RTING-2.

El segundo punto de muestreo, se seleccionó debido a la unión de la quebrada la M hacia el río Tingo Maygasbamba, donde se evidencia un color característico marrón claro y verifica basura y desperdicios orgánicos. La unión tiene una distancia de unos 100 metros aproximadamente, el cual nos permite tomar la muestra.

- TING-3.

El tercer punto de muestreo es el drenaje ácido de mina, el cual se filtra de una bocamina abandonada y sus descargas ingresan directamente al río Tingo Maygasbamba. Este punto es la principal área de muestreo de la investigación, tiene aproximadamente unos 500 de distancia hacia la llegada al río.

- RTING-4.

El cuarto punto de muestreo se seleccionó a una distancia de 200 metros aguas abajo, después del vertido de la bocamina, donde ya no tiene aportantes y se puede verificar como está en si su descarga final.

La visita a los alrededores del río Tingo Maygasbamba, nos muestra la cercanía de la bocamina Prosperidad, la cual descarga sus vertidos al río. Como se evidencia en la figura 11.



Figura 11. Agua Contaminada con metales pesados – Hualgayoc.
Fuente. (Earth, 2021)

3.4.3. Selección de parámetros

Para la elección de los parámetros de estudio se tuvo en cuenta la clasificación de las aguas del río Tingo Maygasbamba, categoría III - Aguas para riego de vegetales de consumo crudo y bebidas de animales, según Decreto Supremo 004-2017-MINAM. En la visita preliminar realizada el 15 de enero del 2020 se observó una fuente de contaminación por vertimiento de aguas ácidas en la zona entre los puntos R2 y R3, residuos sólidos (cartón, botellas de plástico, excremento de animales, etc.). Así como una posible contaminación por actividad minera debido a los proyectos que se realizan en las zonas aledañas al río Tingo Maygasbamba.

Los análisis para hierro y manganeso fueron realizados en el Laboratorio Regional del Agua de Cajamarca certificado y acreditado por con el Instituto Nacional de la Calidad. También se contrastó los parámetros de acuerdo a nuestra disposición de recursos, como reactivos, equipos y materiales. El método usado fue EPA Method2007 (Validado) 2020, el cual detecta metales y oligoelementos en aguas y residuos por espectrometría de emisión atómica acoplada inductivamente, los cuales determinan metales y algunos no metales en disolución, usando instrumentos secuenciales o simultáneos.

3.4.4. Mediciones de Parámetros

Los parámetros determinados en el campo fueron la temperatura, pH, la velocidad superficial del flujo y el área transversal del río para determinar el caudal.

3.4.4.1. Mediciones en laboratorio

Los parámetros que se analizaron en el laboratorio a través de la técnica analítica de ICP, lectura de 34 elementos entre ellos para metales disueltos de Fe y Mn, los cuales están detallados en el anexo1, ensayo EI 0821582.

3.4.5. Toma y preservación de muestras

El muestreo se realizó en el río Tingo Maygasbamba en la parte inicial de no contacto con canales adyacente a 200 metros aguas abajo después de la unión del canal y la boca mina que ingresan al río Tingo Maygasbamba. Las muestras puntuales de agua se recolectaron lo más cerca al centro del río y contra corriente a una profundidad aproximada de 20 cm, evitando alterar las condiciones reales.

Para la toma de muestras:

- Se emplearon botellas de polietileno de 0,5 L de capacidad, las cuales también fueron enjuagadas antes de ser llenadas con las muestras correspondientes.
- La muestra se preservó con ácido nítrico, agregándole 10 gotas al 0,10 Molar, para tener un $\text{pH} < 2$ y así evitar que su naturaleza química de los metales no cambie y ninguno de ellos se precipite.
- Los frascos fueron cerrados, almacenados en una caja especial con gel refrigerante teniendo en cuenta que la temperatura esté a 4°C , manteniéndolo en forma vertical. Cada frasco fue rotulado con el nombre de la estación de muestreo, su ubicación en coordenadas UTM, nombre del responsable del muestreo, la fecha y hora de la toma de muestra y preservación para después llevarlos a laboratorio para su análisis.

El volumen total de muestra para los análisis fue de 12 L, preservados en frascos de 500 ml, los cuales se codificaron de acuerdo a los pH siguientes: pH Natural (2,87); pH: 6 y pH: 8.

pH Natural: Es la designación que se le dio al pH que tenía el cuerpo de agua en el tercer punto de monitoreo donde descarga el vertido del drenaje ácido de mina al río Tingo.

- **Volumen de muestra para Caracterización del efluente:**

Para realizar la caracterización inicial, las muestras se tomaron en frascos de 500 mL en los cuatro puntos de monitoreo. Los cuales fueron llevados al Laboratorio Regional para su análisis para metales, estos son recibidos en frascos sellados y etiquetados.



Figura 12. Muestras de caracterización del efluente.

- **Volumen de muestra para análisis a pH Natural, pH 6 y pH: 8**

El volumen de muestra para análisis a diferentes tiempos fue 2000 mL, por cada pH dado para la prueba.

Todos los frascos estuvieron acondicionados por el laboratorio para ser usados en forma directa.

3.5. Procedimiento Experimental

3.5.1. Preparación del composito:

La preparación es la mezcla que se hace de la muestra tomadas de los diferentes puntos. Seguidamente se procedió a preparar el composito de la muestra total tomada cuyo volumen fue de 120 L.



Figura 13. Preparación del composito.

3.5.2. Muestra Tratada

Para llevar a cabo el desarrollo experimental se tomó un volumen de 20 litros de muestra, la cual fue sometida a una variación de pH siendo estas a pH natural (es decir al pH de la muestra, el cual fue de 2.87, como se muestra en la figura 16) a pH 6 y pH 8 constituyen el volumen total experimental de 60 litros.



Figura 14. Lectura de muestra de vertido de Bocamina Prosperidad.

3.5.3. Variación de pH

Para poder variar el pH de la muestra, el cual se encontró en 2,87, se usó 2 gramos de hidróxido de sodio (Soda Caustica) en 100 mL, los cuales fueron agregados a la muestra a tratar. Para lo cual se procedió a pesar previamente, como se muestra en la figura 15.



Figura 15. Pesado de soda cáustica.

3.5.4. Muestra a pH natural

Como se observa en la figura, el pH natural, la muestra presenta un color marrón.



Figura 16. Muestra de agua a pH natural.

3.5.5. Variación a pH 6.0

Al momento de variar el pH a las condiciones de la prueba, podemos mostrar cómo se genera un cambio de color en la muestra, al mismo tiempo aumenta la cantidad de sólidos en suspensión, que se aprecia a simple vista. Para llegar a pH 6 partiendo del natural fueron necesarios 14 g de Hidróxido de Sodio.



Figura 17. Muestra de variación a pH 6.

3.5.6. Variación a pH 8.0

Como se mostró en el anterior tratamiento para variar el pH en este caso a el valor mencionado se usaron 18.6 gramos de hidróxido de sodio.



Figura 18. Muestra de variación a pH 8.

3.5.7. Desarrollo de la prueba

Para el desarrollo de la prueba, se acondiciono la muestra a tres rangos de pH:

- pH Natural (2.87)
- pH 6
- pH 8

Luego se recolecto el volumen de 20 litros y se sometió a la aplicación de Ozono a diferentes tiempos, desde 5 minutos hasta llegar a 50 minutos, el cual nos dio los resultados positivos, para lo cual usamos 12,5 gramos de ozono, para tener la efectividad de remoción. En la tabla 17 se detalla los parámetros y rangos usados para la prueba.

Tabla 17.
Prueba a distintos rangos de pH.

pH	Tiempo (minutos)	Ozono (g)
2.87	5	1.25
	10	2.5
6	15	3.75
	20	5
8	30	7.5
	40	10
	50	12.5

3.5.8. Condiciones de Operación de la Prueba

Dentro de las condiciones de la prueba, se realizó la corrida con 20 litros de agua del río Tingo Maygasbamba y el flujo máximo de ozono generado es de 15g/h.

Tabla 8.
Condiciones de la prueba.

Generación de ozono	15 g/h
Volumen Tratado	20 litros

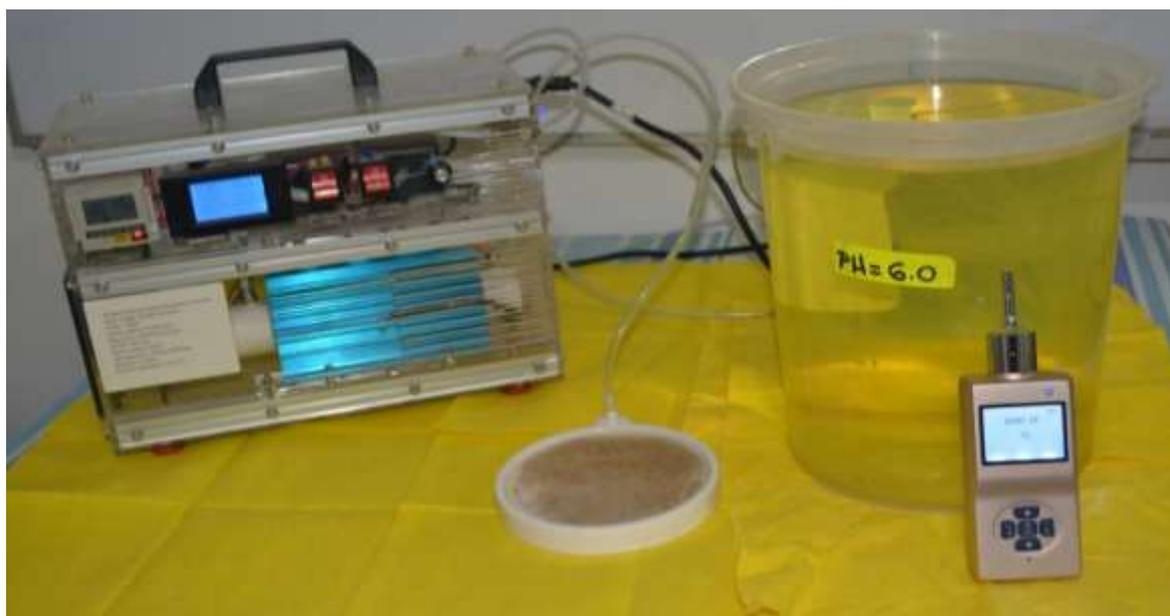


Figura 19. Equipo Ozonizador, microburbugeador.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se describen los resultados de la caracterización de las muestras puntuales tomadas para verificar la concentración de hierro y manganeso en el río Tingo Maygasbamba.

4.1. Caracterización de Aguas en el río Tingo Maygasbamba

La caracterización del agua del río Tingo Maygasbamba muestra cómo se encontró los valores y las concentraciones de hierro y manganeso antes de la adición de Ozono. Los análisis realizados, nos permitieron determinar la calidad del río Tingo Maygasbamba, los cuales muestran que la concentración de hierro y manganeso están por encima de los ECAs para agua, establecido por el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Los muestreos realizados corresponden a los cuatros puntos de monitoreo realizados en río Tingo, dados en las fechas de julio y agosto del 2021, con número de ensayo IE 0821582, el cual se presenta en la tabla 9.

Tabla 9.
Concentración inicial de Fe y Mn en el río Tingo Maygasbamba.

Río Tingo Maygasbamba								
pH Natural 2.87								
Código:	Muestra				RTING- 1	RTING- 2	RTING- 3	RTING- 4
					pH Natural	pH Natural	pH Natural	pH Natural
Parámetro	Unidad	LC M	16/07/2021	20/08/2021	Resultados de Metales Totales y disueltos			
Hierro (Fe)	mg/L	0,195	240,8	382,5	0,142	0,167	382,5	20,13
Manganeso (Mn)	mg/L	0,24	54,36	71,7	0,19	1,219	71,7	3,695

4.2. Concentración del Hierro

4.2.1. Concentración a pH natural

La concentración del Fe a pH natural (2,87), versus el tiempo usando Ozono como agente remediador.

Tabla 10.
Concentración de Fe a pH natural.

Concentración Fe, pH natural	Tiempo min.	t ²	t ³
382,50	0	0	0
305,10	5	25	125
322,20	10	100	1000
310,30	15	225	3375
306,20	20	400	8000
272,50	30	900	27000
264,00	40	1600	64000
267,00	50	2500	125000

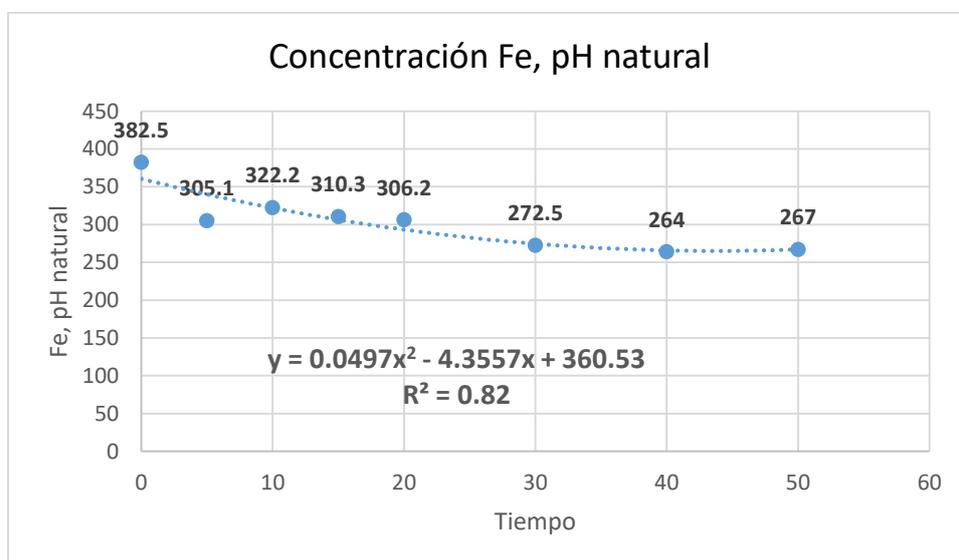


Figura 20. Concentración de Fe a pH natural.

Como se aprecia en la figura 20, la concentración del Hierro a pH natural, adicionándole Ozono, no disminuye más bien, tiende a aumentar esto nos demuestra que hay redisolución (el metal se redisuelve).

4.2.1.1. Análisis de regresión

Ho El modelo para Fe a pH natural versus el tiempo no es polinómico de tercer grado.

H₁ El modelo para Fe a pH natural versus el tiempo es polinómico de tercer grado.

Nivel de significación 0,05 o 5%.

Tabla 11.

Análisis de Varianza para el modelo de regresión de Fe versus tiempo.

Fuente	GL	SC Ajuste.	MC Ajuste.	Valor F	Valor p
Regresión	3	4006,70	1335,58	18,79	0,008
Tiempo min.	1	2533,10	2533,13	35,63	0,004
t ²	1	2542,00	2541,97	35,75	0,004
t ³	1	2069,50	2069,49	29,11	0,006
Error	4	284,40	71,09		
Total	7	4291,10			

El valor p es 0,008 menor a 0,05; por tanto, se rechaza Ho, en consecuencia, el modelo para Fe a pH natural versus el tiempo, es polinómico de tercer grado usando Ozono como agente remediador con 5% de significación.

Tabla 12.

Resumen del modelo de regresión.

S	R-cuad.
8,43177	93,37%

El coeficiente de determinación $R^2 = 93,37\%$ indica que el tiempo explica a la concentración de Fe con pH natural en un 93,37% dejando un 6,63% para otras variables intervinientes y el azar, usando Ozono como agente mediador. Los valores bajos de Fe se encuentran entre 264 mg/L y 267 mg/L.

Tabla 13.
Coefficientes de regresión para el modelo de Fe vs Tiempo.

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p
Constante	266,1700	7,58	35,14	0,000
Tiempo min.	8,5900	1,44	5,97	0,004
t ²	-0,4268	0,0714	-5,98	0,004
t ³	0,00513	0,000951	5,4	0,006

Los Valores de p son menores a 0,05 para todos los casos, en consecuencia, los coeficientes de regresión son diferentes a 0 y participan en el modelo tiempo t, t² y t³ y la constante.

4.2.1.2. Ecuación de regresión

$$\text{Concentración Fe, pH natural} = 266,17 + 8,59 \text{ Tiempo min.} - 0,4268 t^2 + 0,005130 t^3$$

La ecuación de regresión determinada para estimar Fe con pH natural usando Ozono como agente remediador es válido y confiable.

4.2.2. Concentración Fe a pH: 6

Concentración Fe a pH = 6 versus Tiempo, usando Ozono como agente remediador

Tabla 14.
Concentración del Fe a pH: 6.

Tiempo min.	Concentración Fe, pH=6
0	140,90
5	138,40
10	121,80
15	129,00
20	117,90
30	124,80
40	103,10
50	80,89

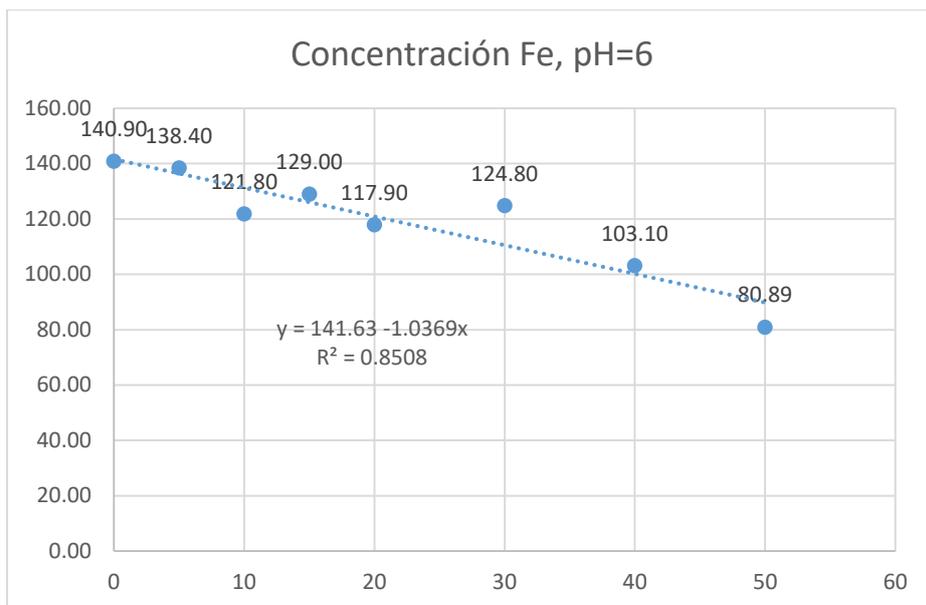


Figura 21. Concentración de Fe a pH: 6.

4.2.2.1. Análisis de regresión

La concentración del Fe a pH=6 vs. el tiempo, usando Ozono como agente remediador

Ho El modelo para Fe, pH= 6 versus el tiempo no es lineal.

H₁ El modelo para Fe, pH=6 versus el tiempo es lineal.

Nivel de significación 0,05 o 5%.

Tabla 15.

Análisis de varianza para modelo de regresión de Fe vs Tiempo.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	1	2298,00	2297,98	34,21	0,001
Tiempo min.	1	2298,00	2297,98	34,21	0,001
Error	6	403,00	67,17		
Total	7	2701,00			

El valor p es 0,001 menor a 0,05; por tanto, se rechaza Ho, en consecuencia, el modelo para Fe, pH=6 versus el tiempo es lineal usando Ozono como agente remediador con 5% de significación.

Tabla 16.
Resumen del modelo de regresión.

S	R-cuad.
8,19548	85,08%

El coeficiente de determinación $R^2 = 85,08\%$ indica que el tiempo explica a la concentración de Fe con pH natural en un 85,08% dejando un 14.92% para otras variables intervinientes y el azar.

Tabla 17.
Coeficientes de regresión para modelo Fe vs Tiempo.

Término	Coeficiente	coeficiente.	Valor T	Valor p
Constante	141,63	4,75	29,8	0,001
Tiempo min.	-1,037	0,177	-5,85	0,001

Los Valores de p son menores a 0,05 para todos los casos, en consecuencia, los coeficientes de regresión son diferentes a 0 y participan en el modelo tiempo t, y la constante, usando Ozono como agente remediador.

4.2.2.2. Ecuación de regresión

Concentración Fe a pH: 6 = $141,63 - 1,037$ Tiempo min.

La ecuación de regresión determinada para estimar Fe con pH=6 es válido y confiable.

4.2.3. Concentración Fe a pH: 8

La concentración Fe a pH=8 versus Tiempo, usando Ozono como agente remediador.

Tabla 18.
Concentración de Fe a pH: 8.

Concentración, Fe pH=8	Tiempo
0,02	15
0,02	30
0,02	50

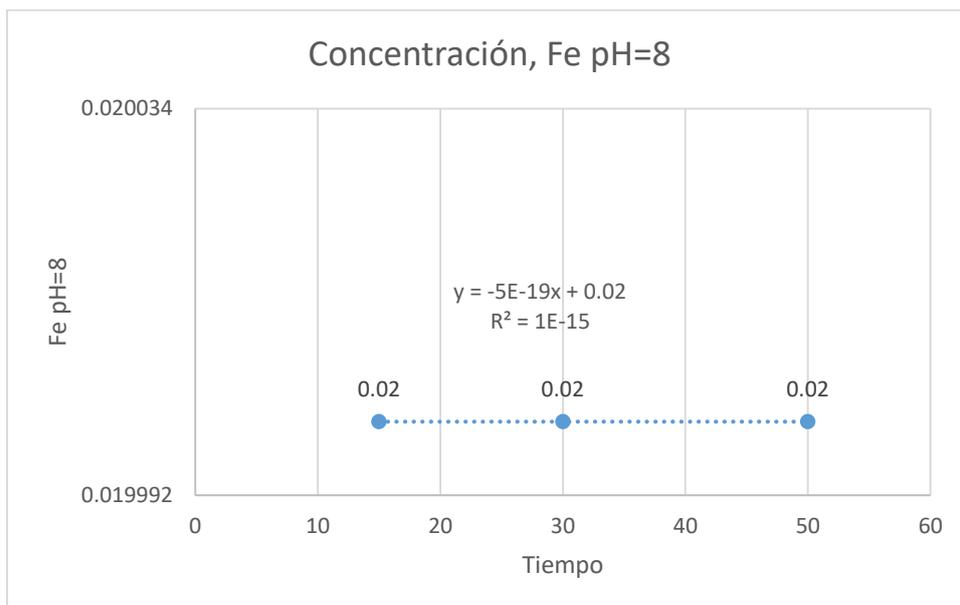


Figura 22. Concentración del Fe a pH: 8.

Dado los valores constantes y menores a 0,023 para el Fe con pH=8 se tiene un valor constante de Fe=0,020, menor a lo establecido por LCM; es decir con un pH = 8 y el uso de Ozono como remediador se cumple con disminuir la cantidad de Fe en el agua.

4.3. Concentración Mn

4.3.1. Concentración de Mn a pH natural

La concentración del Mn a pH natural (2,87), versus el tiempo usando Ozono como agente remediador.

Tabla 19.
Concentración de Mn a pH natural.

Concentración Mn, pH natural	Tiempo min.	t ²	t ³
71,70	0	0	0
72,99	5	25	125
76,26	10	100	1000
74,39	15	225	3375
74,79	20	400	8000
69,79	30	900	27000
71,27	40	1600	64000
71,09	50	2500	125000

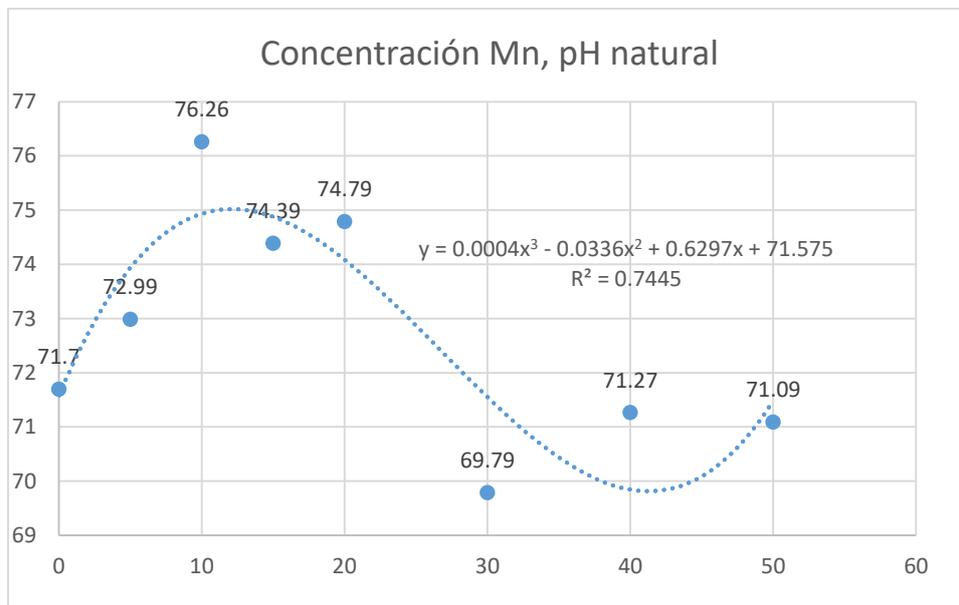


Figura 23. Concentración de Mn a pH natural.

4.3.1.1. Análisis de regresión

Ho El modelo para Mn a pH natural versus el tiempo no es polinómico de tercer grado.

H1 El modelo para Mn, pH natural versus el tiempo es polinómico de tercer grado usando.

Nivel de significación 0,05 o 5%

Tabla 20.
Análisis de Varianza para modelo de regresión Mn vs Tiempo.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	3	45,15	15,05	5,65	0,044
Tiempo min.	1	40,57	40,57	15,24	0,017
t ²	1	36,61	36,61	13,75	0,021
t ³	1	29,80	29,80	11,19	0,029
Error	4	10,65	2,66		
Total	7	55,80			

El valor p es 0.044 menor a 0.05; por tanto, se rechaza Ho, en consecuencia. El modelo para Mn, pH natural versus el tiempo es polinómico de tercer grado con 5% de significación usando Ozono como agente mediador.

Tabla 21.
Resumen del modelo.

S	R-cuad.
1,63168	80,92%

El coeficiente de determinación $R^2 = 80,92\%$ indica que el tiempo explica a la concentración de Mn con pH natural en un 80,92% usando Ozono como agente mediador, dejando un 19,08% para otras variables intervinientes y el azar.

Tabla 22.
Coeficientes de regresión para modelo Mn vs Tiempo.

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p
Constante	68,430	1,470	46,680	0,000
Tiempo min.	1,087	0,279	3,900	0,017
t ²	-0,051	0,014	-3,710	0,021
t ³	0,001	0,000	3,350	0,029

Los Valores de p son menores a 0.05 para todos los casos, en consecuencia, los coeficientes de regresión son diferentes a 0 y participan en el modelo tiempo t, t² y t³ y la constante, usando Ozono como agente mediador.

4.3.1.2. Ecuación de regresión

$$\text{Concentración Mn, pH natural} = 68,43 + 1,087 \text{ Tiempo min.} - 0,0512 t^2 + 0,000616 t^3$$

La ecuación de regresión determinada para estimar Mn con pH natural usando Ozono como remediador, es válido y confiable.

4.3.2. Concentración de Mn a pH: 6

Concentración Mn a pH = 6 versus Tiempo, usando Ozono como agente mediador.

Tabla 23.
Concentración de Mn a pH: 6.

Concentración Mn, pH = 6	Tiempo min.	t ²	t ³
66,59	0	0	0
66,85	5	25	125
60,35	10	100	1000
68,57	15	225	3375
66,18	20	400	8000
81,54	30	900	27000
76,58	40	1600	64000
66,34	50	2500	125000

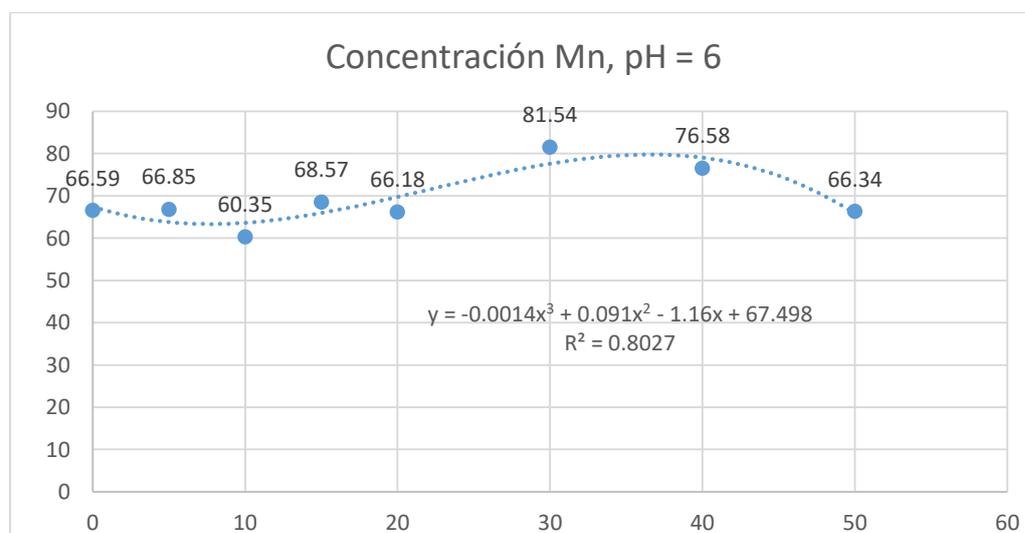


Figura 24. Concentración del Mn a pH: 6.

4.3.2.1. Análisis de regresión

Ho El modelo para Mn, pH =6 versus el tiempo no es polinómico de tercer grado.

H1 El modelo para Fe, pH = 6 versus el tiempo es polinómico de tercer grado.

Nivel de significación 0.05 o 5%.

Tabla 24.

Análisis de Varianza para modelo de regresión de Mn vs Tiempo.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	3	252,90	84,30	5,43	0,048
Tiempo min.	1	46,18	46,18	2,97	0,160
t ²	1	115,54	115,54	7,44	0,050
t ³	1	147,54	147,54	9,50	0,037
Error	4	62,14	15,54		
Total	7	315,05			

El valor p es 0.048 menor a 0.05; por tanto, se rechaza Ho, en consecuencia, el modelo para Fe, pH a pH= 6 versus el tiempo es polinómico de tercer grado con 5% de significación.

Tabla 25.

Resumen del modelo.

S	R-cuad.
3,94158	80,27%

El coeficiente de determinación $R^2 = 80,27\%$ indica que el tiempo explica a la concentración de Fe a pH natural en un 80.27% dejando un 19,73% para otras variables intervinientes y el azar.

Tabla 26.
Coefficientes de regresión para el modelo de Mn vs el Tiempo.

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p
Constante	67,500000	3,540000	19,06	0,000
Tiempo min.	-1,160000	0,673000	-1,72	0,160
t ²	0,091000	0,033400	2,73	0,053
t ³	-0,001370	0,000444	-3,08	0,037

Los Valores de p, no todos son menores a 0,05, en consecuencia, usamos el criterio de valor T mayor a 1 o menor a -1, los coeficientes de regresión son diferentes a 0 y participan en el modelo tiempo t, t² y t³ y la constante, usando Ozono como remediador.

4.3.2.2. Ecuación de regresión

$$\text{Concentración Mn, pH: 6} = 67,50 - 1,160 \text{ Tiempo min.} + 0,0910 t^2 - 0,001370 t^3$$

La ecuación de regresión determinada para estimar Mn con pH=6 es válido y confiable.

4.3.3. Concentración de Mn a pH: 8

La concentración de Mn a pH = 8 versus Tiempo, usando Ozono como agente remediador

Tabla 27.
Concentración de Mn a pH: 8.

Concentración, Mn pH=8	Tiempo
0,076	15
0,057	30
0,050	50

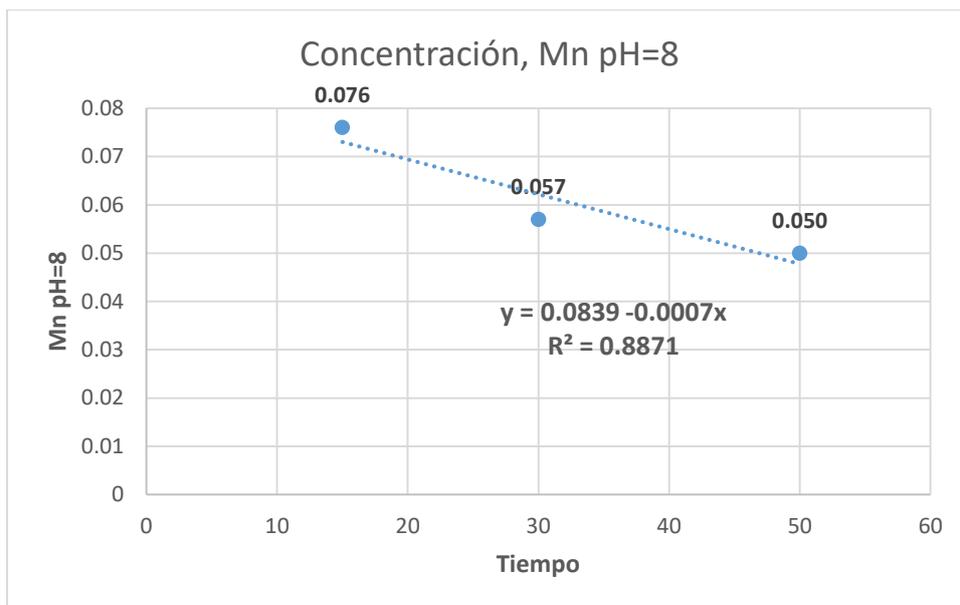


Figura 25. Concentración del Mn a pH: 8.

4.3.3.1. Análisis de regresión

Ho El modelo para Mn a pH: 8 versus el tiempo no es lineal.

H₁ El modelo para Mn a pH: 8 versus el tiempo es lineal.

Nivel de significación 0,05 o 5%.

Tabla 28.

Análisis de Varianza para el modelo de regresión de Mn vs Tiempo.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	1	10,122	10,122	15,18	0,060
Tiempo	1	10,122	10,122	15,18	0,060
Error	2	6,207	3,104		
Total	3	16,329			

El valor p es 0,060 no es menor a 0,05; entonces usamos el criterio de T mayor a, la raíz cuadrada de F es T= 3,90 por tanto, se rechaza Ho, en consecuencia, el modelo para Mn a pH = 8 versus el tiempo es exponencial con 6% de significación usando ozono como agente remediador.

Tabla 29.
Resumen del modelo.

S	R-cuad.
0,0063936	88,71%

El coeficiente de determinación $R^2 = 94,07\%$ indica que el tiempo explica a la concentración de Mn = 8 en un 94,07% dejando un 5,93% para otras variables intervinientes y el azar, usando Ozono como agente remediador.

Tabla 30.
Coeficientes de regresión para el modelo de Mn vs Tiempo.

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p
Constante	0,08385	0,00895	9,37	0,068
Tiempo	-0,00072	0,00025	-2,80	0,218

Los Valores de p no son menores a 0,05, en consecuencia, se usa el criterio de valor T mayor a 1, los coeficientes de regresión son diferentes a 0 y participan en el modelo tiempo t, y la constante, con el Ozono como agente remediador.

4.3.3.2. Ecuación de regresión

$$\text{Concentración, Mn pH: 8} = 0,08385 - 0,000722 \text{ Tiempo}$$

La ecuación de regresión determinada para estimar Fe con pH=8, usando ozono como agente remediador, es válido y confiable.

Dado los valores de Mn, 0,057 y 0,050, menores a 0,023 para el Mn con pH=8 se tiene medidas de Mn superiores a 0,0030, mayor a lo establecido por LCM (Límite Máximo de cuantificación); es decir que a un pH = 8 y el uso de Ozono como remediador cumple con disminuir la cantidad de Mn en el agua. (límite máximo de cuantificación).

Luego de obtener los resultados de laboratorio evidenciaron que al aplicar la prueba del ozono se puede concluir.

1. A pH natural el ozono no tiene ningún efecto en la remoción de los metales Fe y Mn ya que no muestra disminución significativa.
2. A pH 6 se puede verificar una remisión de Fe de un 42.5% en relación a su valor inicial a este pH.
3. A pH 8 se puede verificar por los resultados de los análisis que el Fe precipita totalmente.
4. Dado los valores de Mn, 0,057 y 0,050, para el Mn con pH=8 superiores a 0,0030, de Mn, por encima a lo establecido por LCM; a 30 y 50 minutos y el uso de Ozono como remediador, cumple con disminuir drásticamente la cantidad de Mn en el agua.

Se nota la clara influencia del pH en el experimento ya que se comprueba que este disminuye conforme se va aumentando el tiempo de exposición del ozono a la muestra en tratamiento, siendo este hasta de un valor de 3,28 en comparación del pH 6 y de 4,33 cuando el pH de prueba fue de 8.

Lo que demuestra, que la aplicación del ozono genera una disminución de la concentración de los metales de estudio, comprobando así que el sistema de inyección de ozono es una alternativa eficiente

Tabla 31.

Disminución de Fe y Mn a los diferentes niveles de pH

pH	Fe Mínimo	Disminución Fe	Mn mínimo	Disminución Mn
2,87	264,00	0,00	69,79	0,00
6,00	80,89	183,11	60,35	9,44
8,00	0,02	80,87	0,05	60,30

En la tabla 31, Disminución de Fe y Mn a los diferentes niveles de pH. El nivel 2,87 de pH tiene una disminución de Fe de 0,00, el nivel 6,00 de pH tiene una disminución de Fe de 183,11, el nivel 8,00 de pH tiene una disminución de Fe de 80,87.

El nivel 2,87 de pH tiene una disminución de Mn de 0,00, el nivel 6,00 de pH tiene una disminución de Mn de 9,44, el nivel 8,00 de pH tiene una disminución de Fe de 60,30.

Para el Fe la disminución más marcada (183,11) ocurre cuando pasa de 2,87 a 6 en pH y en Mn la disminución más marcada (60,30) ocurre cuando pasa de 6 a 8 en pH como se muestra en la figura 26.

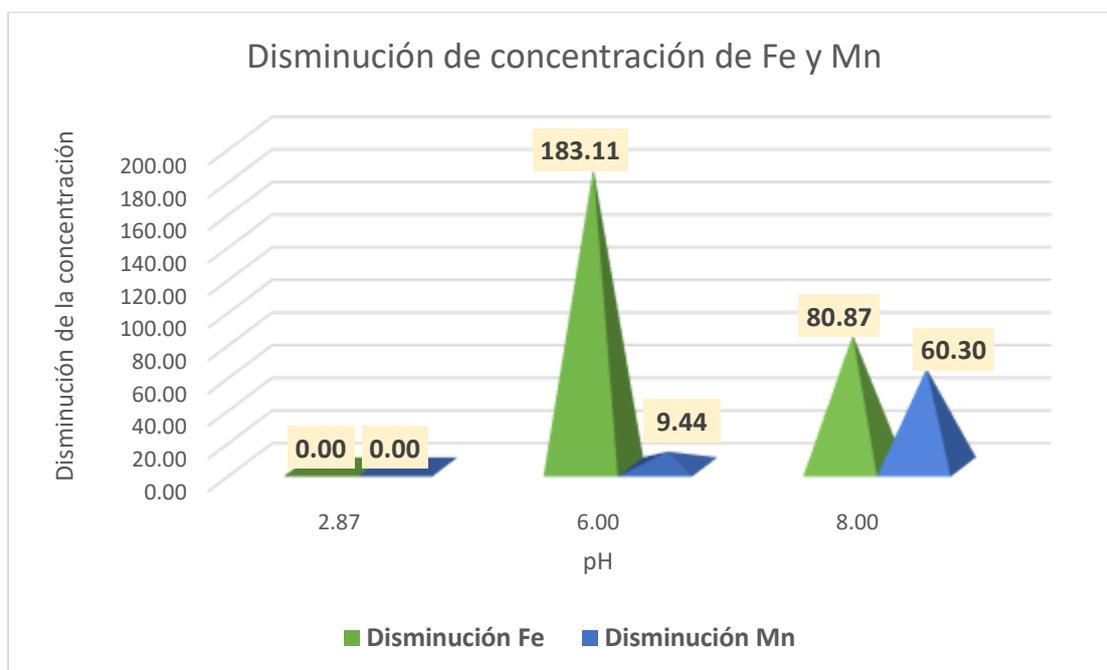


Figura 26. Disminución de Fe y Mn a los diferentes niveles de pH

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

1. Se determinó que el efecto de la ozonificación es positivo para la remoción de Fe y Mn en las aguas del río Tingo Maygasbamba Bambamarca, influenciada por la actividad minera.
2. La concentración inicial en el agua del río Tingo Maygasbamba fue para el Fe 382,5 mg/L y para el Mn fue 71,7 mg/L, después de usar la técnica de Ozonificación el Fe presento 0,05 mg/L y el Mn 0,01 mg/L.
3. El pH óptimo para la reducción de Fe y Mn fue 8, a través de este valor la remoción es satisfactoria.
4. La concentración adecuada de Ozono para la remoción de Fe y Mn fue 12,5 g/L
5. La calidad del agua del río Tingo Maygasbamba, en función de los ECAs para agua Categoría 3 - Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, superan las concentraciones de hierro en 377,5 mg/L y para manganeso superan en 71,5 mg/L, por lo cual no es apta para riego de vegetales ni bebida de animales.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Jasim, S., & Mohsen, M. (2019). Aplicación de ozono para arsénico y manganeso Treatment en la ciudad de White Rock, BC, Canadá. *La Revista de la Asociación Internacional del Ozono*.
- ALA. (2016). Agua recurso renovable para la vida. *Autoridad Nacional del Agua*.
- Ali, H. (2013). Fitorremediación de metales pesados: conceptos y aplicaciones. *Pub Med*.
- Alvarez, C. (2020). Eliminación de Fe y Mn en agua potable empleando Filtralite con alta eficiencia y bajo coste. *IAGUA DIGITAL*.
- Anastopoulos, I. (2015). Progreso en la biosorción por lotes de metales pesados en algas. *ResearchGate*.
- ASP. (2018). Servicios de Ozono. *Asepsia*.
- ATSDR. (2016). Resumen de salud pública del Manganeso. *Agencia para sustancias tóxicas y registro de enfermedades*.
- AWWA. (2017). Hierro y Manganeso elementos traza. *American Water Works Association - Estados Unidos*.
- Beutelspacher, E. (2005). Diseño y Construcción de un generador de Ozono para aplicaciones de purificación de agua. *Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (Tesis de Grado) Cuernavaca - México*.
- Blasco, T. (2005). Diagramas de Frost. *Universidad Politecnica de Valencia*.
- Cabezas, F. (2015). Libro Blanco del Agua en España Ministerio de Medio Ambiente ©. Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica.

- Calderón, J. (2021). Precipitación de Hierro y Manganeso secuencial de efluentes de drenajes ácidos. *Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica-Universidad Nacional de San Marcos-Lima*.
- CDC. (2017). Perú: Mujeres se unen contra la contaminación por metales tóxicos. *Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y Control de Enfermedades del Ministerio de Salud*.
- Chang, R. (2013). *Química General*.
- Chang, R. (2021). *Química General 13ED*. México: McGraw-Hill.
- Chhaya , V., & Srivastava, J. (2021). Eficacia del proceso de Ozonización fotocatalítica de metales pesados en agua residuales municipales. *ResearchGate*.
- Chungshgheg, Q. (2020). Efecto del tratamiento de Ozonización en la fase química de los metales pesados en los lodos de depuradoras. *Environmental Science and Pollution Research*.
- Cieza, E., & Zegarra, J. (2018). Efecto de la aplicación del Ozono en la concentración de metales en solución en el agua del río Hualgayoc. *(Tesis de Grado)*. Universidad Antonio Guillermo Urrelo.
- Cincero. (2003). Treatment of Water and Wastewater. *Physical-Chemical*, Capitulo 13.
- Coelho, J. (2008). Optimizing Sequestration of Manganese (II) with Sodium Triphosphate. *Worcester Polytechnic Institute*, 8-13.
- CONAGUA. (2016). El agua fuente natural. *Comisión Nacional de Agua de Mexico*.
- De Echave, J. (2019). Los pasivos mineros de Hualgayoc. *Cooper Acción - Lima*.
- Domenech, X. (2012). Procesos de Oxidación Avanzada. *Estrucplan - Argentina*.
- Earth, G. (2021). Puntos de Monitoreo del río Tingo Maygasbamba. *Sistema de Información geográfico*.

- Echegaray, R. (2017). Remoción del Manganeso con el método de reducción-alcalinización en las aguas contaminadas por los procesos mineros en la Provincia de Huaral-Lima. (*Tesis de Grado*). *Universidad Continental Huancayo*.
- EPA. (2018). Información básica sobre el plomo en el agua. *Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos*.
- Evans, F. (2010). *Ozone in Water and Wastewater Treatment* .
- Ferroplanes. (2020). Uso del Hierro en la industria. *Ferroplanes*.
- García, K. (2020). Evaluación de calidad de agua para riego en zona Centro - Norte de Chile y desarrollo de un proceso preliminar costo efectivo, para disminuir algunos excesos que incumplen la NCh 1333. *Tesis de Grado de Magister- Chile*.
- Gómez, M. (2014). *El Manganeso y la Viticultura*. España-Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- Gottschalk, C. (2000). Ozonation of water and waste water. *HYLEY-VCH*.
- Gutiérrez, L. (2015). Hierro fundamental para la vida y causante de enfermedades. *Revista de la Química PUCP*.
- Herrera, C. (2015). La contaminación por manganeso en comunidades expuestas a fungicidas. *Revista Higiene y Sanidad Ambiental*.
- Hidretec. (2015). Planta con tratamiento de aguas, desinfección con ozono. *Hidretec*.
- IDEAM. (2015). Generalidades del Ozono. *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*.
- killip, S. (2007). Iron deficiency anemia. *Pubmen*.
- Laphan. (2013). Mejoramiento de un generador de ozono para purificación de agua potable. *bosstech*.

- Linus. (2015). Manganese, fuente de esencial y potencial tóxico. *Linus Pauling Institute*.
- Loarte, D. (2015). Efecto del pH y tipo de absorbente en la remoción de Manganese de aguas superficiales contaminadas por relaves mineros. (*Tesis de Grado*). *Universidad Nacional del Centro del Perú - Huancayo*.
- MacFarland, M. (2015). Problemas del agua potable: El hierro y el manganese. *Water and the Earth Resources - EEUU*.
- MAMIM. (2018). Alternativas para el manejo de la polución de aguas ácidas subterráneas en la minería del cobre. *Revista de Medio Ambiente Minero y Minería*.
- MINAM. (2017). Aprende a prevenir los afectos del mercurio. *Ministerio del Ambiente*.
- MINAM. (2017). Estandar de Calidad Ambiental. *MINAM*.
- Monkhouse, J. (1978). Library Home Randon.
- NIH. (2019). Hierro y la salud. *National Institutes of Health*.
- OMS. (2018). Los metales pesados y sus consecuencias en el organismo. *Organización Mundial de la Salud*.
- Pabón, S. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnología de remoción. *Entre Ciencia e Ingeniería*, pag. 9-18.
- Parque, H. H. (2016). Caracterización de la biosorción de cadmio por *Exiguobacterium* sp. aislado del suelo de las tierras agrícolas cerca de la mina Cu-Pb-Zn. *Springer Link*.
- Pélaez, H. (2013). Influencia de la relación inicial de Fe^{3+}/Fe^{2+} , en un proceso de biodesulfurización de carbones en suspensión. *Revista internacional de Contaminación Ambiental (Scielo)*.
- Peña, W. (2017). Modelo de Estimación para el uso del agua del río basado en el analisis de vertimientos en aguas superficiales. *Tesis Final*.

- Ramalho, R. (2009). Tratamiento de aguas residuales. *REVERTE*.
- Rosal, R. (2019). Ozonización. En *Paraninfo - ecuaciones y cálculos para el tratamiento de aguas ozono*. Madrid - España: Paraninfo.
- Ruiz, J. (2015). Simulación del proceso HDS en Minería Sipán para la optimización de la remoción de Manganeseo en aguas de drenaje ácido de mina. (*Tesis de Maestría en Gestión de Auditoría Ambientales*). *Universidad de Piura*.
- Salazar, J. (2015). Introducción al fenómeno de corrosión. *Tecnología en Marcha*.
- Salud, I. N. (2019). Tecnologías para la recuperación de agua contaminada con metales pesados: Plomo, Cadmio, Mercurio y Arsénico. *Boletín Tecnológico N° 3*.
- Sanabria, V. (2015). Efecto del pH y el tipo de absorbente en la remoción de Hierro y Manganeseo de aguas superficiales contaminadas por relaves mineros. *Universidad de Huancayo (Tesis de Grado)*.
- Sanchez, S. (2017). Pasivos ambientales mineros en la Región Cajamarca. *Grufides*.
- Santiago, E. (2005). Diseño y construcción de un generador de ozono para aplicaciones de purificación de agua. *Centro Nacional de investigación y desarrollo tecnológico " CENIDET " - Mexico*.
- Siwek, N. (2021). La importancia de medir el pH en la Industria. *IAGUA*.
- Swistock, B. (2019). Hierro y manganeseo en sistemas de agua privados. *PennState Extension*.
- Tejada, C. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecno Lógicas*.
- Tostado, T. (2015). Actualidades de las características del Hierro y su uso en pediatría. *Acta pediátrica de México*.

- Usui, H. (1994). El núcleo atómico con la energía de enlace media más alta. *Revista estadounidense de física*.
- Valverde, & Tirado. (2018). Determinación de la concentración de Hierro, Manganeso y Cobre en aguas del río Chiminero. *Universidad Privada del Norte (Tesis de Grado) - Cajamarca*.
- Waisberg, M. (2013). Molecular and cellular mechanisms of cadmium carcinogenesis. *Toxicology. National Library of medicine*.
- Yue, Y., Chunsheng, Q., & Zheng, J. (2020). Effect of ozonation treatment on the chemical speciation distributions of heavy metals in sewage sludge and subsequent bioleaching process. *Environmental Science and Pollution Research*.
- Zeballos, M. (2017). Ley N° 28271 y los Pasivos Ambientales en la Minería. *Ministerio del Ambiente-Perú*.
- Zewail, T. (2015). Estudio cinético de la eliminación de iones de metales pesados por intercambio iónico en lecho cónico discontinuo con chorro de aire. *Alexandria Engineering Journal*.

CAPÍTULO VII

ANEXOS

Anexo 1. Ensayo EI 0821582. Caracterización del río Tingo



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0821582

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código de la Muestra			P1	P2	P3	P4	-	-
Código Laboratorio			0821582-01	0821582-02	0821582-03	0821582-04	-	-
Matriz			Natural	Natural	Natural	Natural	-	-
Descripción			Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	-	-
Localización de la Muestra			Río Tingo- Maygasbamba. E:0760885; N:9252972; A:3582	Río Tingo- Maygasbamba. E:0761079; N:9253231; A:3586	Río Tingo- Maygasbamba. E:0761141; N:9253180; A:3575	Río Tingo- Maygasbamba. E:0761148; N:9253229; A:3582	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Metales Totales					
Plata (Ag)	mg/L	0.0190	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
Aluminio (Al)	mg/L	0.0230	0.097	<LCM	19.31	0.979	-	-
Arsénico (As)	mg/L	0.0050	<LCM	<LCM	7.521	0.500	-	-
Boro (B)	mg/L	0.0260	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
Bario (Ba)	mg/L	0.0040	0.034	0.011	0.011	0.029	-	-
Berilio (Be)	mg/L	0.0030	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
Bismuto (Bi)	mg/L	0.0160	<LCM	<LCM	0.052	<LCM	-	-
Calcio (Ca)	mg/L	0.1240	516.7	146.5	330.2	448.4	-	-
Cadmio (Cd)	mg/L	0.0020	<LCM	<LCM	0.352	0.015	-	-
Cobalto (Co)	mg/L	0.0020	<LCM	0.004	0.021	<LCM	-	-
Cromo (Cr)	mg/L	0.0030	<LCM	<LCM	0.011	<LCM	-	-
Cobre (Cu)	mg/L	0.0180	<LCM	0.027	12.43	0.567	-	-
Hierro (Fe)	mg/L	0.0230	0.142	0.167	382.5	20.13	-	-
Potasio (K)	mg/L	0.0510	16.480	2.731	1.395	13.210	-	-
Litio (Li)	mg/L	0.0050	0.008	<LCM	0.062	0.009	-	-
Magnesio (Mg)	mg/L	0.0100	0.857	4.065	36.72	3.198	-	-
Manganeso (Mn)	mg/L	0.0030	0.190	1.219	71.70	3.695	-	-
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.0020	0.036	0.008	<LCM	0.030	-	-
Sodio (Na)	mg/L	0.0550	26.50	24.65	1.519	24.31	-	-
Níquel (Ni)	mg/L	0.0060	<LCM	<LCM	0.093	<LCM	-	-
Fósforo (P)	mg/L	0.0240	0.046	<LCM	0.408	0.065	-	-
Plomo (Pb)	mg/L	0.0040	0.010	<LCM	0.528	0.024	-	-
Azufre (S)	mg/L	0.0910	381.7	138.4	661.4	358.8	-	-
Antimonio (Sb)	mg/L	0.0050	<LCM	<LCM	0.036	<LCM	-	-
Selenio (Se)	mg/L	0.0180	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
Silicio (Si)	mg/L	0.1040	3.459	5.792	7.236	4.178	-	-
Estroncio (Sr)	mg/L	0.0030	2.635	0.416	1.348	2.172	-	-
Titanio (Ti)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
Talio (Tl)	mg/L	0.0030	<LCM	<LCM	0.419	0.020	-	-
Uranio (U)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
Vanadio (V)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	0.041	<LCM	-	-
Zinc (Zn)	mg/L	0.0180	0.060	0.126	27.99	2.382	-	-
Cerio	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
Estaño (Sn)	mg/L	0.0070	<LCM	<LCM	0.012	<LCM	-	-

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

Cajamarca, 18 de agosto de 2021



W:\100 ALBERTO\ENFERMERA\180821\0821582 CAJAMARCA - 2021

Anexo 2. Informe del Ensayo EI 0821622 para pH Natural



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- D
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0821622

ENSAYOS			QUIMICOS					
Código de la Muestra	Cabeza pH Neutral	pH Natural 5 min	pH Natural 10 min	pH Natural 15 min	pH Natural 25 min	pH Natural 30 min		
Código Laboratorio	0821622-01	0821622-02	0821622-03	0821622-04	0821622-05	0821622-06		
Matriz	Residual	Residual	Residual	Residual	Residual	Residual		
Descripción	Industrial	Industrial	Industrial	Industrial	Industrial	Industrial		
Localización de la Muestra	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca		
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Metales Totales					
Plata (Ag)	mg/L	0.0190	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Aluminio (Al)	mg/L	0.0230	16.75	19.33	20.39	20.18	19.99	
Arsénico (As)	mg/L	0.0050	1.412	2.522	2.248	1.965	1.475	
Boro (B)	mg/L	0.0260	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Bario (Ba)	mg/L	0.0040	0.006	0.008	0.009	0.009	0.009	
Berilio (Be)	mg/L	0.0030	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Bismuto (Bi)	mg/L	0.0160	0.030	0.035	0.031	0.033	0.035	
Calcio (Ca)	mg/L	0.1240	348.0	363.9	384.8	366.7	371.4	
Cadmio (Cd)	mg/L	0.0020	0.393	0.439	0.444	0.414	0.419	
Cerio (Ce)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Cobalto (Co)	mg/L	0.0020	0.028	0.031	0.032	0.029	0.031	
Cromo (Cr)	mg/L	0.0030	0.014	0.017	0.018	0.016	0.017	
Cobre (Cu)	mg/L	0.0180	11.59	13.69	14.48	14.38	14.11	
Hierro (Fe)	mg/L	0.0230	260.7	305.1	322.2	310.3	306.2	
Potasio (K)	mg/L	0.0510	0.771	3.403	3.439	3.494	3.642	
Litio (Li)	mg/L	0.0050	0.044	0.058	0.059	0.059	0.059	
Magnesio (Mg)	mg/L	0.0190	31.93	37.22	39.08	38.36	38.28	
Manganeso (Mn)	mg/L	0.0030	67.80	72.99	77.26	74.39	74.79	
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.0020	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Sodio (Na)	mg/L	0.0550	2.113	10.540	10.830	10.870	11.070	
Niquel (Ni)	mg/L	0.0060	0.098	0.111	0.109	0.104	0.105	
Fósforo (P)	mg/L	0.0240	<LCM	0.570	0.556	0.564	0.366	
Plomo (Pb)	mg/L	0.0040	0.306	0.362	0.355	0.355	0.319	
Azufre (S)	mg/L	0.0910	801.9	910.7	883.4	849.8	856.7	
Antimonio (Sb)	mg/L	0.0050	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Selenio (Se)	mg/L	0.0180	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Silicio (Si)	mg/L	0.1040	5.875	6.543	6.943	6.699	6.704	
Estaño (Sn)	mg/L	0.0070	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Estroncio (Sr)	mg/L	0.0030	1.006	1.184	1.276	1.258	1.231	
Titanio (Ti)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Talio (Tl)	mg/L	0.0030	0.460	0.499	0.489	0.465	0.462	
Uranio (U)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Vanadio (V)	mg/L	0.0040	0.045	0.053	0.056	0.054	0.052	
Zinc (Zn)	mg/L	0.0180	38.24	42.85	42.59	37.78	44.91	
Silice (SiO ₂)	mg/L	0.2225	12.57	14.00	14.85	14.33	14.34	

Cajamarca, 07 de septiembre de 2021

Anexo 3. Informe de Ensayo EI 0821622 a pH: 6



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- D
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0821622

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código de la Muestra		pH Natural 40 min	pH Natural (pH: 3.18) 50 min	pH 6.09 Cabeza	pH 6.09 5 min	pH 6.09 10 min	pH 6.09 15 min	
Código Laboratorio		0821622-07	0821622-08	0821622-09	0821622-10	0821622-11	0821622-12	
Matriz		Residual	Residual	Residual	Residual	Residual	Residual	
Descripción		Industrial	Industrial	Industrial	Industrial	Industrial	Industrial	
Localización de la Muestra		Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Metales Totales					
Plata (Ag)	mg/L	0.0190	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Aluminio (Al)	mg/L	0.0230	17.70	21.77	0.156	0.507	0.907	1.115
Arsénico (As)	mg/L	0.0050	0.599	0.737	0.109	0.070	0.052	0.041
Boro (B)	mg/L	0.0260	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Bario (Ba)	mg/L	0.0040	0.008	0.010	0.009	0.010	0.010	0.011
Berilio (Be)	mg/L	0.0030	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Bismuto (Bi)	mg/L	0.0160	0.030	0.024	0.024	0.023	0.022	0.021
Calcio (Ca)	mg/L	0.1240	365.60	335.30	339.500	333.400	295.700	344.700
Cadmio (Cd)	mg/L	0.0020	0.410	0.351	0.277	0.291	0.263	0.264
Cerio (Ce)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cobalto (Co)	mg/L	0.0020	0.030	0.025	0.020	0.022	0.019	0.019
Cromo (Cr)	mg/L	0.0030	0.016	0.011	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cobre (Cu)	mg/L	0.0180	12.26	15.89	0.439	1.668	1.746	1.869
Hierro (Fe)	mg/L	0.0230	264.0	267.4	140.9	138.4	121.8	129.0
Potasio (K)	mg/L	0.0510	3.138	6.786	2.072	2.555	2.592	3.138
Litio (Li)	mg/L	0.0050	0.046	0.074	0.061	0.069	0.072	0.074
Magnesio (Mg)	mg/L	0.0190	34.28	40.59	34.90	37.31	35.74	38.58
Manganeso (Mn)	mg/L	0.0030	71.27	71.09	66.59	66.85	60.35	68.57
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.0020	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Sodio (Na)	mg/L	0.0550	10.26	13.67	202.4	223.9	207.5	245.4
Niquel (Ni)	mg/L	0.0060	0.104	0.089	0.056	0.060	0.054	0.055
Fósforo (P)	mg/L	0.0240	0.284	0.428	0.189	0.124	0.111	0.133
Plomo (Pb)	mg/L	0.0040	0.310	0.315	0.128	0.130	0.119	0.116
Azufre (S)	mg/L	0.0910	851.2	857.8	830.6	839.0	769.7	786.5
Antimonio (Sb)	mg/L	0.0050	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Selenio (Se)	mg/L	0.0180	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Silicio (Si)	mg/L	0.1040	6.283	6.686	3.539	3.746	3.545	3.951
Estaño (Sn)	mg/L	0.0070	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Estroncio (Sr)	mg/L	0.0030	1.080	1.355	1.241	1.319	1.246	1.359
Titanio (Ti)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Talio (Tl)	mg/L	0.0030	0.477	0.435	0.427	0.437	0.408	0.408
Uranio (U)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Vanadio (V)	mg/L	0.0040	0.047	0.053	0.022	0.024	0.023	0.024
Zinc (Zn)	mg/L	0.0180	42.38	28.07	19.07	21.07	19.14	19.63
Silice (SiO2)	mg/L	0.2225	13.44	14.30	7.570	8.013	7.583	8.451



Cajamarca, 07 de septiembre de 2021

Anexo 4. Informe de Ensayo EI 0821622 a pH: 8



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - D
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0821622

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código de la Muestra			pH 6.09 20 min	pH 6.09 30 min	pH 6.09 40 min	pH 6.09 50 min	pH 8 Cabeza	pH 8 5 min
Código Laboratorio			0821622-13	0821622-14	0821622-15	0821622-16	0821622-17	0821622-18
Matriz			Residual	Residual	Residual	Residual	Residual	Residual
Descripción			Industrial	Industrial	Industrial	Industrial	Industrial	Industrial
Localización de la Muestra			Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Metales Totales					
Plata (Ag)	mg/L	0.0190	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Aluminio (Al)	mg/L	0.0230	1.111	1.148	1.123	1.161	<LCM	0.392
Arsénico (As)	mg/L	0.0050	0.039	0.033	0.039	0.030	<LCM	<LCM
Boro (B)	mg/L	0.0260	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	0.027	0.031
Bario (Ba)	mg/L	0.0040	0.011	0.011	0.011	0.011	0.009	0.012
Berilio (Be)	mg/L	0.0030	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Bismuto (Bi)	mg/L	0.0160	0.020	0.016	0.018	<LCM	<LCM	<LCM
Calcio (Ca)	mg/L	0.1240	323.7	438.7	401.2	328.1	361.9	251.2
Cadmio (Cd)	mg/L	0.0020	0.266	0.221	0.344	0.225	0.021	0.022
Cerio (Ce)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cobalto (Co)	mg/L	0.0020	0.020	0.017	0.027	0.018	0.003	0.003
Cromo (Cr)	mg/L	0.0030	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cobre (Cu)	mg/L	0.0180	1.923	1.850	1.838	1.943	<LCM	0.193
Hierro (Fe)	mg/L	0.0230	117.9	124.8	103.1	80.89	<LCM	0.096
Potasio (K)	mg/L	0.0510	2.963	2.346	2.356	2.652	1.893	2.749
Litio (Li)	mg/L	0.0050	0.076	0.060	0.063	0.076	0.074	0.120
Magnesio (Mg)	mg/L	0.0190	38.83	39.50	38.75	38.88	36.49	39.30
Manganeso (Mn)	mg/L	0.0030	66.180	81.540	76.580	66.340	47.000	36.230
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.0020	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Sodio (Na)	mg/L	0.0550	241.3	205.1	203.1	224.2	359.4	442.1
Niquel (Ni)	mg/L	0.0060	0.057	0.049	0.072	0.050	<LCM	<LCM
Fósforo (P)	mg/L	0.0240	0.108	0.125	0.047	0.074	<LCM	<LCM
Plomo (Pb)	mg/L	0.0040	0.114	0.085	0.090	0.069	<LCM	<LCM
Azufre (S)	mg/L	0.0910	861.5	676.8	983.1	724.8	670.6	602.8
Antimonio (Sb)	mg/L	0.0050	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Selenio (Se)	mg/L	0.0180	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Silicio (Si)	mg/L	0.1040	3.78	4.375	4.165	3.909	0.942	1.214
Estaño (Sn)	mg/L	0.0070	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Estroncio (Sr)	mg/L	0.0030	1.372	1.387	1.358	1.371	1.279	1.407
Titanio (Ti)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Talio (Tl)	mg/L	0.0030	0.424	0.385	0.523	0.401	0.433	0.371
Uranio (U)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Vanadio (V)	mg/L	0.0040	0.024	0.026	0.026	0.023	0.012	0.011
Zinc (Zn)	mg/L	0.0180	20.02	15.42	27.48	16.90	0.332	0.666
Silice (SiO2)	mg/L	0.2225	8.094	9.358	8.909	8.361	2.015	2.597

Cajamarca, 07 de septiembre de 2021

Anexo 5. Informe de Ensayo EI 0821622 a pH: 8



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- D
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0821622

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código de la Muestra			pH 8 10 min	pH 8 15 min	pH 8 20 min	pH 8 30 min	pH 8 40 min	pH 8 50 min
Código Laboratorio			0821622-19	0821622-20	0821622-21	0821622-22	0821622-23	0821622-24
Matriz			Residual	Residual	Residual	Residual	Residual	Residual
Descripción			Industrial	Industrial	Industrial	Industrial	Industrial	Industrial
Localización de la Muestra			Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Metales Totales					
Plata (Ag)	mg/L	0.0190	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Aluminio (Al)	mg/L	0.0230	0.465	0.503	0.501	0.558	0.604	0.533
Arsénico (As)	mg/L	0.0050	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Boro (B)	mg/L	0.0260	0.032	0.031	0.034	<LCM	0.034	0.035
Bario (Ba)	mg/L	0.0040	0.013	0.013	0.012	0.013	0.013	0.011
Berilio (Be)	mg/L	0.0030	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Bismuto (Bi)	mg/L	0.0160	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Calcio (Ca)	mg/L	0.1240	285.0	291.8	303.6	283.4	314.0	294.5
Cadmio (Cd)	mg/L	0.0020	0.021	0.030	0.032	0.030	0.024	0.022
Cerio (Ce)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cobalto (Co)	mg/L	0.0020	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	0.003	<LCM
Cromo (Cr)	mg/L	0.0030	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cobre (Cu)	mg/L	0.0180	0.198	0.208	0.187	0.206	0.201	0.178
Hierro (Fe)	mg/L	0.0230	0.257	0.368	0.440	0.523	0.615	0.523
Potasio (K)	mg/L	0.0510	3.226	3.381	2.742	3.037	2.995	2.352
Litio (Li)	mg/L	0.0050	0.106	0.114	0.091	0.108	0.098	0.083
Magnesio (Mg)	mg/L	0.0190	40.06	41.57	38.12	40.23	39.78	36.09
Manganeso (Mn)	mg/L	0.0030	38.67	37.96	36.68	33.15	33.01	29.39
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.0020	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Sodio (Na)	mg/L	0.0550	492.1	499.1	425.6	492.1	461.3	368.9
Niquel (Ni)	mg/L	0.0060	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Fósforo (P)	mg/L	0.0240	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Plomo (Pb)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Azufre (S)	mg/L	0.0910	592.3	774.4	787.7	773.9	657.5	622.1
Antimonio (Sb)	mg/L	0.0050	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Selenio (Se)	mg/L	0.0180	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Silicio (Si)	mg/L	0.1040	1.335	1.421	1.402	1.460	1.545	1.408
Estaño (Sn)	mg/L	0.0070	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Estroncio (Sr)	mg/L	0.0030	1.458	1.509	1.404	1.446	1.411	1.259
Titanio (Ti)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Talio (Tl)	mg/L	0.0030	0.329	0.376	0.321	0.217	0.118	0.087
Uranio (U)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Vanadio (V)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	0.012	<LCM
Zinc (Zn)	mg/L	0.0180	0.650	0.961	1.057	0.997	0.800	0.740
Sílice (SiO ₂)	mg/L	0.2225	2.856	3.040	2.999	3.123	3.305	3.012

Cajamarca, 07 de septiembre de 2021

Anexo 6. Informe de Ensayo EI 0921688



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- D
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0921668

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código de la Muestra			Muestra 1 (Cabeza)	Muestra 3 (15 minutos)	Muestra 3 (30 minutos)	Muestra 4 (50 minutos)	-	-
Código Laboratorio			0921668-01	0921668-02	0921668-03	0921668-04	-	-
Matriz			Residual	Residual	Residual	Residual	-	-
Descripción			Industrial	Industrial	Industrial	Industrial	-	-
Localización de la Muestra			Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Metales Totales					
Plata (Ag)	mg/L	0.0190	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
Aluminio (Al)	mg/L	0.0230	0.136	0.354	0.236	0.361	-	-
Arsénico (As)	mg/L	0.0050	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
Boro (B)	mg/L	0.0260	0.029	0.033	0.038	0.037	-	-
Bario (Ba)	mg/L	0.0040	0.007	0.009	0.009	0.008	-	-
Berilio (Be)	mg/L	0.0030	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
Bismuto (Bi)	mg/L	0.0160	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
Calcio (Ca)	mg/L	0.1240	317.2	292.7	325.5	361.3	-	-
Cadmio (Cd)	mg/L	0.0020	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
Cerio (Ce)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
Cobalto (Co)	mg/L	0.0020	0.004	0.003	0.003	0.004	-	-
Cromo (Cr)	mg/L	0.0030	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
Cobre (Cu)	mg/L	0.0180	<LCM	<LCM	<LCM	0.027	-	-
Hierro (Fe)	mg/L	0.0230	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
Potasio (K)	mg/L	0.0510	2.062	2.649	1.994	2.158	-	-
Litio (Li)	mg/L	0.0050	0.111	0.127	0.097	0.101	-	-
Magnesio (Mg)	mg/L	0.0190	28.28	31.67	29.96	31.90	-	-
Manganeso (Mn)	mg/L	0.0030	6.299	0.076	0.057	0.050	-	-
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.0020	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
Sodio (Na)	mg/L	0.0550	620.3	666.6	523.50	549.30	-	-
Niquel (Ni)	mg/L	0.0060	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
Fósforo (P)	mg/L	0.0240	<LCM	0.027	0.033	<LCM	-	-
Plomo (Pb)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
Azufre (S)	mg/L	0.0910	545.7	530.5	575.9	894.8	-	-
Antimonio (Sb)	mg/L	0.0050	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
Selenio (Se)	mg/L	0.0180	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
Silicio (Si)	mg/L	0.1040	<LCM	0.138	<LCM	<LCM	-	-
Estaño (Sn)	mg/L	0.0070	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
Estroncio (Sr)	mg/L	0.0030	1.486	1.564	1.441	1.505	-	-
Titanio (Ti)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
Talio (Tl)	mg/L	0.0030	0.395	0.006	0.005	0.006	-	-
Uranio (U)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
Vanadio (V)	mg/L	0.0040	0.007	0.010	0.009	0.010	-	-
Zinc (Zn)	mg/L	0.0180	0.049	0.193	0.196	0.403	-	-
Silice (SiO2)	mg/L	0.2225	<LCM	0.294	<LCM	<LCM	-	-



Cajamarca, 22 de septiembre de 2021

APÉNDICE



Figura 27. Lectura de pH en río Tingo Maygasbamba



Figura 28. Toma de muestra de toma de río Tingo Maygasbamba.



Figura 29. Toma de muestra en boca mina Prosperidad.



Figura 30. Toma de muestra en Quebrada la M.