

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica y Materiales

**REMOCIÓN DE MANGANESO Y METALES EN
UNA SOLA ETAPA DEL DRENAJE DE PILA DE
MINERAL DE BAJA LEY**

TESIS

Presentada por:

Bach. Aquelino Angel Tito Quispe Mamani

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO METALURGISTA

TACNA – PERÚ

2024

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

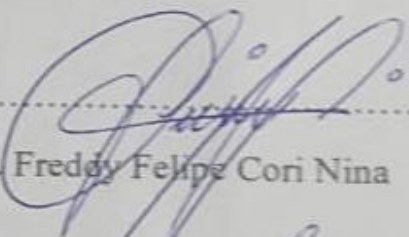
Facultad de Ingeniería

REMOCIÓN DE MANGANESO Y METALES EN UNA SOLA ETAPA DEL DRENAJE DE PILA DE MINERAL DE BAJA LEY

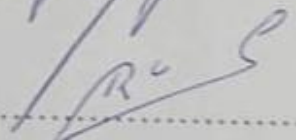
TESIS

Tesis sustentada y aprobada el 26 de setiembre del 2024 por el bachiller Aquelino Angel Tito Quispe Mamani, siendo el jurado integrado por:

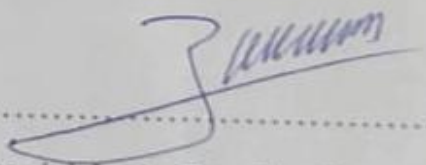
PRESIDENTE


.....
Dr. Freddy Felipe Cori Nina

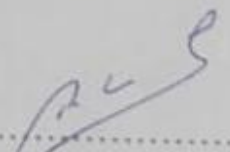
SECRETARIO


.....
Dr. Tolomeo Raúl Soto Pérez

VOCAL


.....
MSc. Daniel Jesús Zevallos Ramos

ASESOR


.....
Dr. Tolomeo Raúl Soto Pérez



CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo Tolomeo Raúl Soto Pérez, en mi condición de asesor acreditada por Resolución de Facultad N°8728-2024-FAIN/UNJBG de la **TESIS** titulado: **REMOCIÓN DE MANGANESO Y METALES EN UNA SOLA ETAPA DEL DRENAJE DE PILA DE MINERALES DE BAJA LEY**, presentado por el bachiller **AQUELINO ANGEL TITO QUISPE MAMANI** para optar el **Título de Ingeniero Metalurgista**, habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y similitud de trabajos de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizada a través del software de similitud textual TURNITIN cuenta con el nivel de similitud que es permitido cuyo porcentaje es de **19 %** Por lo que, **CERTIFICO LA SIMILARIDAD** de la tesis enunciado líneas arriba, la cual esta expedita para continuar con los trámites para la obtención de **TITULO PROFESIONAL**, según corresponda consiguientemente la publicación en el repositorio institucional.

Firmo el presente certificado con fines de continuar con los trámites respectivos para su publicación.

Firma del Asesor

DNI: 00426568

Dr. Tolomeo Raúl Soto Pérez



Huella dactilar

Firma del Titulante

DNI: 00487647

Aquelino Angel Tito Quispe Mamani



Huella dactilar

DEDICATORIA

Dedico a Dios esta tesis por darme las fuerzas para seguir adelante en el camino sinuoso, por mantener viva mi fe y bendecir a todos mis seres queridos.

A mis padres que fueron mi apoyo incondicional, por sus orientaciones y recomendaciones, por mostrarme que el amor de una familia es lo más importante.

A mis hermanos por ayuda oportuna por motivarme a seguir adelante.

A mi esposa e hijas por mostrarme que el amor es lo más importante y quienes son constantemente el motivo de mi superación.

A mis compañeros de trabajo, con el apoyo incondicional para perseguir la luz al final del túnel.

AGRADECIMIENTO

Para el desarrollo de la presente tesis, primero agradezco a Dios, para guiarme por buen camino.

A mi asesor de tesis, Dr. Tolomeo Raúl Soto Pérez, quien siempre estuvo llano a absolver mis consultas e inquietudes.

A mi familia, quienes siempre estuvieron apoyándome en el logro de mis objetivos.

ÍNDICE

HOJA DE JURADOS	i
CERTIFICADO DE SIMILITUD	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xiv
ABSTRAC	vi
INTRODUCCIÓN	1
I. CAPÍTULO I	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	3
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	5
1.3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	5
1.3.1. Problema general	5
1.3.2. Problemas específicos	5
1.3.3. Justificación social y económica	6
1.4. OBJETIVOS	7

1.4.1. Objetivo general	7
1.4.2. Objetivos específicos	7
1.5. HIPÓTESIS	7
1.5.1. Hipótesis general	7
1.5.2. Hipótesis específicas	8
1.6. VARIABLES	8
1.6.1. Variable dependiente	8
1.6.2. Variable independiente	8
1.7. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	8
1.8. TIPOS Y NIVELES DE INVESTIGACIÓN	9
1.8.1. Tipo de investigación	9
1.8.2. Nivel de investigación	9
1.9. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	9
II. CAPÍTULO II	10
MARCO TEÓRICO	10
2.1. ANTECEDENTES	10
2.1.1. Antecedentes internacionales	11
2.1.2. Antecedentes nacionales	12
2.1.3. Antecedentes locales	13

2.1.4.	Química del Manganeso	14
2.1.5.	Métodos de tratamiento de Manganeso	15
2.1.6.	Modelo mediante la minimización de la energía libre de Gibbs	22
2.1.7.	Influencia del nivel de pH	23
2.1.8.	Lixiviación de Manganeso	24
2.2.	BASES TEÓRICAS	26
2.2.1.	Variable dependiente:	26
	Remoción de Manganeso	26
2.2.2.	Variable Independiente	26
	Hidróxido de sodio y peróxido de hidrógeno	26
	Peróxido de hidrógeno	26
III.	CAPÍTULO III	27
	MARCO METODOLÓGICO	27
3.1.	PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	27
3.1.1.	Tipo y diseño de investigación	27
3.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO	30
3.2.1.	Población y muestra	30
3.3.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	30
3.4.	TÉCNICAS E INSTRUMENTACIÓN DE RECOLECCIÓN DE DATOS	31

3.4.1.	Técnicas estadísticas	31
3.4.2.	Técnicas de laboratorio	31
3.4.3.	Instrumentación	32
3.5.	PROCESAMIENTO DE RECOPIACIÓN DE DATOS	32
3.5.1.	Muestra	32
3.5.2.	Hidróxido de sodio y Peróxido de hidrógeno	33
3.5.2.1.	Primera etapa de prueba, método diseño de experimentos (DOE)	33
3.5.2.2.	Segunda etapa de pruebas, método superficie de respuesta (MSR)	33
3.5.2.3.	Evaluación de eficiencia en la remoción de manganeso	34
3.5.2.4.	Procedimiento de las pruebas experimentales de tratamiento de agua	34
3.6.	PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	34
IV.	CAPÍTULO IV	36
	RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	36
4.1.	PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	36
4.2.	CARACTERIZACIÓN DE AGUA DE DRENAJE DE BAJA LEY	36
4.3.	CANTIDAD DE REACTIVOS PARA REMOCIÓN	37
4.4.	RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DOE	38
4.5.	RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS EJECUTADAS	39
4.5.1.	Resultados para manganeso	39

4.5.2.	Resultados para cobre	42
4.5.3.	Resultados para zinc	45
4.6.	COMPORTAMIENTO DE HIDRÓXIDO DE SODIO (NaOH)	47
4.7.	COMPORTAMIENTO DE PERÓXIDO DE HIDRÓGENO (H ₂ O ₂)	47
4.8.	SUPERFICIE DE RESPUESTA	47
4.9.	PRUEBA DE HIPÓTESIS	54
4.10.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	58
V.	CAPÍTULO V	60
	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	60
5.1.	CONCENTRACIÓN DE METALES DE DRENAJE DE PILA DE MINERAL	60
5.2.	DOSIS ÓPTIMA DE HIDRÓXIDO DE SODIO Y PERÓXIDO DE HIDRÓGENO.	60
5.3.	pH EN LAS PRUEBAS DOE Y MSR	61
5.4.	COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON EL ECA	61
5.5.	CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	63
	CONCLUSIONES	64
	RECOMENDACIONES	66
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
	ANEXOS	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Oxidación de manganeso	16
Tabla 2 Oxidación de manganeso con permanganato de potasio	17
Tabla 3 Oxidación de manganeso con hipoclorito de sodio	18
Tabla 4 Oxidación del manganeso con Ozono	19
Tabla 5 Potenciales de oxidación	21
Tabla 6 Matriz para DOE	29
Tabla 7 Características de agua de Dren para DOE	36
Tabla 8 Plantilla de DOE para rango de reactivos	37
Tabla 9 Resultados de pruebas DOE	38
Tabla 10 Análisis de varianza para Mn	40
Tabla 11 Coeficiente de efectos para Mn	41
Tabla 12 Análisis de varianza para Cu	43
Tabla 13 Coeficiente de efectos para Cu	44
Tabla 14 Diagrama de pareto para Zn	45
Tabla 15 Coeficiente de efectos para Zn	46
Tabla 16 Plantilla de MSR para rango de reactivos	48
Tabla 17 Características de agua de Dren para MSR	48
Tabla 18 Resultados de pruebas MSR	49

Tabla 19	Porcentaje de remoción de metales	50
Tabla 20	Coefficiente codificado de regresión de superficie de respuesta	50
Tabla 21	Resumen del modelo de regresión de superficie de respuesta	51
Tabla 22	Análisis de varianza de regresión de superficie de espuesta	51
Tabla 23	Tabla de resultados de muestras tratadas en ppm.	54
Tabla 24	Estándar de Calidad Ambiental (ECA); Categoría 3	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de Pourbaix	11
Figura 2 Eliminación de manganeso con diferentes agentes oxidantes	21
Figura 3 Influencia del nivel de pH	24
Figura 4 Campo de estabilidad de Mn^{2+}	25
Figura 5 Modelo de experimentos	28
Figura 6 Gráfico de cubo de Mn	30
Figura 7 Diagrama de pareto para Mn	39
Figura 8 Diagrama de efectos principales para Mn	40
Figura 9 Diagrama de pareto para Cu	42
Figura 10 Efectos principales para Cu	43
Figura 11 Efectos principales para Zn	46
Figura 12 Superficie de respuesta Mn	52
Figura 13 Optimización de precipitación de Mn	53
Figura 14 Estadística descriptiva de datos	55
Figura 15 Prueba de normalidad de datos	56
Figura 16 Prueba de hipótesis (No parametrics – SignTest)	58

RESUMEN

El trabajo de investigación de remoción de manganeso y otros metales presentes en el agua de drenaje de mineral de pila de baja ley en la minera localizado en la región de Ancash, se realizó mediante la adición del reactivo hidróxido de sodio para formar precisamente los hidróxidos de manganeso y otros hidróxidos metales presentes en dicho drenaje de agua y cuyos resultados cumplieron con calidad en todos los elementos exigidos por el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) categoría 3 en cuerpo receptor.

Para este estudio, se empleó la técnica estadística de Diseño de Experimentos (DOE) con 2 factores que fueron por un lado un modificador de pH a base de hidróxido de sodio (NaOH) y un oxidante como el peróxido de hidrógeno (H_2O_2), este procedimiento estadístico permitió analizar e interpretar los resultados obteniendo el factor principal en este caso el pH para luego escalar con la técnica estadística de Superficie de Respuesta para formular un procedimiento para el tratamiento de manganeso y otros metales.

Con el método de superficie de respuesta (MSR), se consiguió la adición óptima de reactivo de hidróxido (NaOH) para regular el pH para la precipitación de manganeso.

El pH óptimo para la precipitación de manganeso para cumplir con el ECA categoría 3 es de 9,9 (MSR) y con este pH se consigue precipitar y remover todos los metales exigidos en la normativa ECA categoría 3 para cuerpo receptor.

Palabras clave: Remoción, metales, precipitación, ley y calidad.

ABSTRAC

The research work on the removal of manganese and other metals present in the drainage water of low-grade pile ore in the mining plant located in the Ancash region, was carried out by adding the reagent sodium hydroxide to form precisely the manganese hydroxides and other metal hydroxides present in the drainage water and whose results complied with quality in all the elements required by the Environmental Quality Standard (ECA) category 3 in the receiving body.

For this study the statistical technique of Design of Experiments (DOE) was used with 2 factors that were on the one hand a pH modifier based on sodium hydroxide (NaOH) and an oxidant such as hydrogen peroxide (H₂O₂), this statistical procedure allowed to analyze and interpret the results obtaining the main factor in this case the pH to then scale with the statistical technique of Response Surface to formulate a procedure for the treatment of manganese and other metals.

With the response surface method (MSR), the optimum addition of hydroxide reagent (NaOH) was obtained to regulate the pH for manganese precipitation. The optimum pH for manganese precipitation to comply with ECA category 3 is 9.9 (MSR) and with this pH, all the metals required in the ECA category 3 regulations for the receiving body are precipitated and removed.

Key words: Removal, metals, precipitation, grade and quality

INTRODUCCIÓN

La extracción de metales que involucra alteración del suelo, por lo general va a traer consigo los drenajes de agua con calidades no aptas para la descarga directa al ambiente, y es el caso del Perú y del mundo.

Los drenajes de actividades mineras en algunos casos poseen altas concentraciones de metales como el manganeso (Mn), cobre (Cu), hierro (Fe) y zinc (Zn) principalmente y en menor medida aluminio (Al) y cadmio (Cd). La mayoría de las actividades mineras se desarrollan en zonas de alta precipitación pluvial y en consecuencia casi siempre hay exceso de agua; por lo que el vertimiento de agua se realiza en los cuerpos receptores, lo cual de no tratarse de manera adecuada generaría impactos negativos al ambiente. Precisamente las normativas ambientales regulan las descargas y están en constante actualización como es el caso de los Límites Máximos Permisibles aplicados en los vertimientos y los Estándares de Calidad Ambiental categoría 3 aplicados en los cuerpos receptores.

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo de caracterizar el drenaje de agua de pila de mineral de baja ley para realizar el tratamiento, posteriormente con la ayuda de las técnicas de estadísticas determinar el procedimiento adecuado de tratamiento de manganeso optimizando la variable más significativa del

reactivo hidróxido de sodio (NaOH) para remoción de manganeso y otros metales presentes.

Finalmente, el presente trabajo de investigación se traduce en la viabilidad de su aplicación de hidróxido de sodio como modificador de pH para tratamiento de manganeso y otros metales en el drenaje, obteniéndose un resultado que cumple con la normativa ambiental vigente.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.Descripción del problema

Por la característica de la explotación minera, subterránea o a cielo abierto, expone los minerales al ambiente y estos se oxidan con el oxígeno del aire y demás componentes atmosféricos modificándose las condiciones fisicoquímicas iniciales, afectando a los minerales metálicos inestables en las nuevas condiciones ambientales.

Las zonas de explotación minera presentan factores meteorológicos variables, por lo que la hidrología también será variable.

El mineral expuesto al ambiente y en combinación con el agua, generan drenajes de agua con características propias de calidad de agua y en general no son aptas para descargas a una fuente hídrica.

En particular, la zona en estudio posee precipitaciones mensuales que varían entre 15 mm. a 250 mm. de lluvia con estaciones de clima marcadas, con la mitad de los meses del año húmedo y cíclico.

Por otro lado, el yacimiento se caracteriza por la intrusión ígnea de un pórfido cuarzo-monzonítico en rocas calcáreas dando así la formación de un depósito tipo

Skarn, y que de acuerdo a su alteración ha producido las rocas con el mismo nombre (skarns) que están ligados con diferentes tipos de granates y otros minerales como la wollastonita y el diópsido los cuales influyen en la distinción de dominios del depósito. Además, la zonación está dada de tres formas según la proximidad al intrusivo así se tiene el endoskarn, el skarn intermedio y el exoskarn. La mineralización está asociada a los minerales granates que contienen las rocas skarn y a algunos sulfuros como la calcopirita, bornita, esfalerita y molibdenita dando resultado en la producción principalmente de Cu y Zn y en menor medida, Mo, Pb-Bi Ag, E. Cueva, J. Mostacero, J. Aguilar (2017)

Para el procesamiento de mineral se clasificaron en varios tipos, de acuerdo con los contenidos de metales secundarios, además se generaron plataformas temporales de mineral de baja ley o pilas de mineral de baja ley (LG) desde el inicio de las operaciones.

Las pilas de mineral de baja ley con contenidos de oxidados y azufre y en combinación con el agua debido a las precipitaciones pluviales en el tiempo generan lixiviación de minerales originando drenajes de agua con altos contenidos de metales pesados como, manganeso (Mn), cobre (Cu), zinc (Zn), entre otros.

También, se tienen normas vigentes para descargas de agua o vertimiento, el Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM Límites Máximos Permisibles (LMP), y para cuerpos receptores el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM denominado Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua categoría 3.

Por ello, el presente proyecto explora y propone un procedimiento de tratamiento de agua con contenido de manganeso y otros metales y que cumpla con las normativas vigentes.

1.2. Formulación del problema

La extracción de minerales se realiza mediante la exposición de rocas al ambiente y en combinación con el agua, generan drenajes de agua con calidad de agua no aptas para descargas directa a una fuente hídrica; y para que sea viable la descarga de agua al ambiente se requieren de un tratamiento adecuado de agua, a fin de que no cause ningún impacto al ambiente.

1.3. Definición del problema

1.3.1. Problema general

¿Como reducir el contenido de manganeso en el efluente de tal manera que se pueda descargar al rio y cumplir en el cuerpo receptor con el ECA?

1.3.2. Problemas específicos

¿Qué reactivos deberá emplearse para remover el manganeso del efluente?

¿Como optimizar el reactivo que actualmente se usa para para la precipitación de cobre, fierro y Zinc?

¿Cuáles son las variables operativas de control para el reactivo que se usará en la remoción de manganeso?

1.3.3. Justificación social y económica

La descarga de agua al medio ambiente con calidad de agua sobre el LMP o por encima del ECA en el caso del cuerpo receptor, no es posible puesto que tiene un impacto directo a la flora y fauna en el río, a su vez a la población que vive cercano al curso del río.

El estudio radica en analizar los datos de calidad de agua proveniente del drenaje de pila de mineral de baja ley, formulando una estrategia a seguir, seguido de un experimento y según los resultados formular un procedimiento para tratamiento de agua cuyo efluente cumpla con las normativas vigentes, esta opción de solución y con alta posibilidad de cumplir con calidad de agua en el cuerpo receptor, justifica el problema planteado anteriormente.

El procedimiento de tratamiento de agua con contenido de manganeso no deberá causar un costo excesivo. Así mismo, su implementación no deberá ser complejo y tampoco una adición de dificultad en la operación.

1.4.Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Proponer un procedimiento o técnica para el tratamiento de manganeso utilizando el reactivo hidróxido de sodio y que su aplicación sea práctica y sostenible en el tiempo.

1.4.2. Objetivos específicos

- Desarrollar un procedimiento de tratamiento de Manganeso en el agua de drenaje de pila de baja ley.
- En la remoción de manganeso, otros metales presentes como el cobre y zinc. también serán removidos con el uso de hidróxido de sodio.
- Demostrar que el procedimiento de tratamiento manganeso tendrá calidad ECA.
- Verificar que el reactivo peróxido de hidrogeno tiene o no efecto en la remoción de manganeso.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

Con la adición de reactivo hidróxido de sodio es posible la remoción de manganeso en el drenaje de agua de pila de mineral de baja ley con calidad ECA.

1.5.2. Hipótesis específicos

- El reactivo hidróxido de sodio es efectivo en la remoción de manganeso en el agua de drenaje de pila de baja ley.
- Aplicando el reactivo hidróxido de sodio, otros metales presentes como el cobre y zinc no se verán afectados y serán removidos.
- Aplicando el procedimiento de tratamiento manganeso tendrá calidad ECA.
- El peróxido de hidrógeno tendrá el mismo efecto que el hidróxido de sodio en la remoción de manganeso.

1.6. Variables

1.6.1. Variable dependiente

Remoción de manganeso en el efluente tratado en cumplimiento con el ECA.

1.6.2. Variable independiente

Adición de hidróxido de sodio

Adición de peróxido de hidrógeno

1.7. Limitaciones de la investigación

El presente proyecto de investigación se enfocará en el tratamiento de manganeso del agua proveniente de drenaje de pila de mineral de baja ley, que incluye las pruebas de laboratorio y una verificación para comprobar el procedimiento establecido.

1.8. Tipos y niveles de investigación

1.8.1. Tipo de investigación

Se utilizó el método experimental, analítico y cuantitativo,

1.8.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación inicialmente fue exploratorio, pasando al nivel aplicativo resolviendo el problema con técnicas estadísticas para la remoción de manganeso y otros metales, como el cobre y zinc.

1.9. Métodos de investigación

Se empleó la técnica estadística de Diseño de Experimentos (DOE), que permitió analizar e interpretar los resultados obteniendo el factor principal para luego escalar con la técnica estadística de superficie de respuesta para formular un procedimiento para el tratamiento de manganeso y otros metales.

Planteamiento de hipótesis nula (H_0) e hipótesis alternativa (H_a).

Análisis e interpretación de resultados de pruebas o experimentos llevados a cabo.

Propuesta de un procedimiento para tratamiento de manganeso y otros metales con calidad ECA categoría 3 en el cuerpo receptor.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

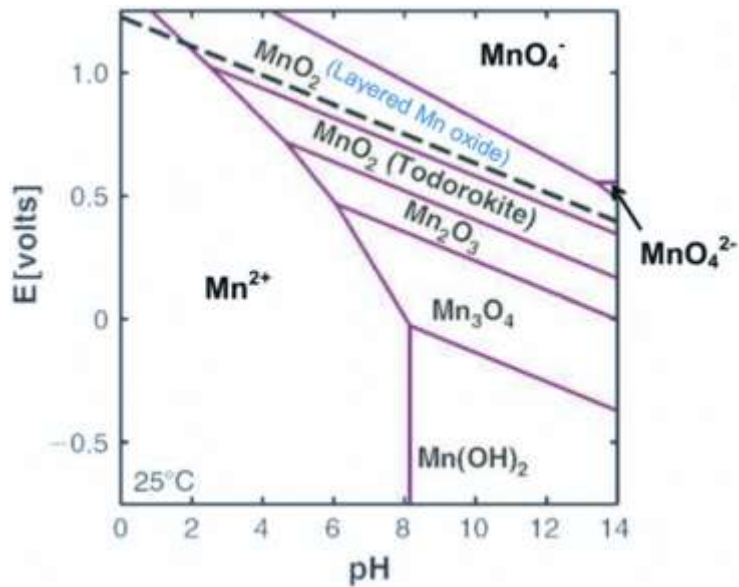
Revisión de la bibliografía existente que permitió el afianzamiento del proyecto.

Los minerales expuestos al ambiente se oxidan debido al oxígeno del aire y otros agentes atmosféricos modificándose las condiciones fisicoquímicas iniciales, afectando a los minerales metálicos inestables en las nuevas condiciones como es el caso de manganeso.

En el diagrama de Pourbaix para manganeso, “el óxido de manganeso en capas es el óxido más estable a valores de potencial lo suficientemente altos” (N. Moghaddam, 2017, p). Sin embargo, en el mismo diagrama existe también una zona de hidróxido de manganeso a mayores concentraciones de iones hidróxido (pH básico).

Figura 1

Diagrama de Pourbaix



Nota. Fuente: N. Moghaddam, 2017, ICIQ Institute of Chemical Research of Catalonia, Tarragon, España.

2.1.1. Antecedentes internacionales

L. Marín (2011), “Remoción de hierro y manganeso por oxidación con cloro y filtración en grava”, desarrolló a escala piloto la remoción del hierro y el manganeso utilizando como oxidante el cloro, seguido de un sistema de filtración en gravas de flujo ascendente, la remoción de fierro 87% y 83%, y manganeso de 90% y 86%, logrando la calidad de agua tratada de manganeso y fierro por debajo de la normativa colombiana.

D. Barrera (2017), “Remoción de manganeso en la planta de tratamiento de agua potable de Tocancipá-Cundinamarca”, en su tesis para la remoción de manganeso utilizo peróxido de hidrogeno como el método de oxidación química, no logrando obtener agua de calidad estable para cumplimiento permanente a los valores establecidos en la normativa, dado que el pH presenta un fuerte impacto en la efectividad del peróxido de hidrógeno, oscilando entre 9 y 11.

2.1.2. Antecedentes nacionales

En el artículo “Propuesta de tratamiento para la eliminación del manganeso en la Planta de Neutralización de Aguas Ácidas, Victoria-Compañía Minera Volcan S. A. A, Perú” (F. Loroña-Calderón y W. Gómez-Lora, 2017), la Planta de Neutralización de Aguas Ácidas (PNAA) de la Planta Concentradora Victoria – Yauli cuenta con una capacidad de tratamiento de 400 l/s, esta planta no estaba preparada para la eliminación de manganeso por lo que estudian y propone remover el manganeso con el método más general, oxidación por aireación mediante turbinas flotantes.

K. Ayzanoa y J. Mendoza (2018) en su tesis "Remoción del manganeso del efluente minero metalúrgico utilizado en el proceso de oxidación con hipoclorito de calcio en una planta de tratamiento de aguas ácidas-ubicada en la región Huancavelica", presentó el estudio para remover manganeso con la técnica de oxidación con

hipoclorito de calcio, obteniendo resultados con calidad dentro de los estándares de calidad ambiental ECA) de categoría 3.

2.1.3. Antecedentes locales

Para el desarrollo del tajo y el suministro de mineral a concentradora, la extracción de material del tajo es continuo, pero no todos los minerales con contenido metálico son procesables directamente; por lo que se generó pilas temporales de mineral de baja ley desde el inicio de las operaciones, con la finalidad de procesar este mineral en el futuro o que pueda servir para mezcla de minerales con alta ley de cobre o zinc.

Los minerales de baja ley depositados en pilas en algunos casos con contenidos de minerales oxidados y azufre y en combinación con las precipitaciones pluviales, generan lixiviación de minerales originando drenajes con altos contenidos de manganeso y otros metales pesados, cuyos valores están por encima de la normativa vigente.

Para descargas de agua tenemos; Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM Límites Máximos Permisibles (LMP), y para cuerpos receptores; Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM Estándares de Calidad Ambiental (ECA) categoría 3.

2.1.4. Química del manganeso

El manganeso se encuentra en la tabla periódica en el Grupo VII, Período 4, tiene la configuración electrónica: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2$. Se encuentran compuestos con estados de oxidación desde +1 hasta +7. (capítulo II Manganeso Generalidades, pág. 20).

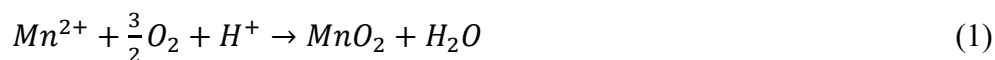
El manganeso es uno de los metales más importantes en la tierra debido a su alta difusión en la naturaleza. Es el quinto elemento más abundante en la superficie de la tierra y el segundo elemento de transición más abundante después del hierro existiendo en siete estados redox diferentes; en la naturaleza es muy común encontrarlo en estado de oxidación II, III ó IV (Asís, 1992). La oxidación del Mn^{+2} es, sin embargo, sensitiva al pH y si es alto, la oxidación inorgánica procede más rápido. La habilidad de los óxidos de Mn para adsorber cationes es elevada, es decir que si la oxidación del Mn^{+2} ocurre, existe la posibilidad de que otros metales como el Co, Cu, etc., sean removidos por adsorción a las superficies (Asís, 1992).

El manganeso en el agua puede estar disuelto, como coloide o asociado a materias orgánicas que lo estabilizan fuertemente, dificultando su eliminación. En las aguas subterráneas se encuentran como Mn^{+2} disuelto bajo condiciones anaerobias (Avendaño, 2004).

2.1.5. Métodos de tratamiento de Manganeso

Oxidación

La oxidación, es el proceso en el cual el manganeso pasa de un estado reducido (Mn^{2+}) a un estado oxidado (MnO_2), D. Barrera (2017). Este se realiza a través del agente oxígeno.



Una de las formulaciones propuestas para representar el proceso de oxidación es la de reacción cinética, en la cual se realiza la incorporación del pH. En esta relación, la tasa tiene en cuenta el oxígeno disuelto y el manganeso divalente presentes en el agua (DiToro, 2001) y fue estudiada por Morgan (1967) y por Stumm et al. (1970), D. Barrera (2017). La tasa se encuentra expresada en la ecuación.

$$RMnOximn = kMnO_2[O_2][OH^-]^2[Mn] \quad (2)$$

Donde $RMnOximn$ representa la tasa de oxidación del manganeso ($mg L^{-1} d^{-1}$), $kMnO_2$ es la constante del proceso, O_2 es la concentración de oxígeno disuelto en el agua ($mg L^{-1}$), OH es la concentración de aniones hidroxilo ($mg L^{-1}$), y Mn es el manganeso divalente ($mg L^{-1}$), D. Barrera (2017)

Tabla 1*Oxidación de manganeso*

Oxidante	Potencial de oxidación mg/mg Mn ²⁺	Sólidos* mg/mg Mn ²⁺
O ₂	0,29 ⁺	1,58

Nota: *Cantidad de sólido precipitado, basado en el peso del óxido de manganeso MnO₂. Es altamente probable que la fracción del sólido esté compuesta por hidróxido de óxido de manganeso MnOOH (manganita) y carbonato de manganeso MnCO₃. (Water Treatment Plant Design - fifth Edition).

Oxidación de manganeso (II) con permanganato de potasio

Las reacciones del KMnO₄ con Mn (II) son rápidas y completas a pH = 6 – 9,0 (Knocke et al. 1987, Wong 1982), aun cuando el incremento del carbón orgánico requiere dosis mayores de KMnO₄ para lograr la oxidación del Mn(II). (Knocke, 1987), D. Barrera (2017), reportó que se da una disminución sustancial en la eficiencia de oxidación del Mn (II) a bajas temperaturas 278,15 K (5°C).

La ecuación estequiométrica que se lleva a cabo en la oxidación del manganeso con el agente oxidante antes descrito, así como las cantidades teóricas para oxidar 1mg/L de Mn (II), D. Barrera (2017), se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 2*Oxidación de manganeso con permanganato de potasio*

Reacción	Potencial de oxidación mg/mg Mn ²⁺	Sólidos* mg/mg Mn ²⁺
$3Mn^{2+} + 2KMnO_4 + H_2O$ $\rightarrow 5MnO_2 + 4H^+ + 2K^+$	1,92	2,64

Nota: *Cantidad de sólido precipitado, basado en el peso del óxido de manganeso MnO₂. Es altamente probable que la fracción del sólido este compuesta por hidróxido de óxido de manganeso MnOOH (manganita) y carbonato de manganeso MnCO₃. (Water Treatment Plant Design - fifth Edition).

Oxidación de manganeso (II) con hipoclorito de sodio

Es más comúnmente utilizado por su bajo costo. Se ha observado que la oxidación del manganeso es severamente inhibida a bajas temperaturas y condiciones de pH ácidas. Otro trabajo reciente mostró la importancia del dióxido de manganeso recubriendo el medio filtrante como un mecanismo eficiente para remoción de Mn (II) (Knocke et al. 1997), D. Barrera (2017)

Tabla 3*Oxidación de manganeso con hipoclorito de sodio*

Reacción	Potencial de oxidación mg/mg Mn ²⁺	Sólidos* mg/mg Mn ²⁺
$Mn^{2+} + 2ClO_2 + 2H_2O \rightarrow MnO_2 + ClO_2 + 4H^+$	1,35	1,58

Nota: *Cantidad de sólido precipitado, basado en el peso del óxido de manganeso MnO₂. Es altamente probable que la fracción del sólido este compuesta por hidróxido de óxido de manganeso MnOOH (manganita) y carbonato de manganeso MnCO₃.

(Water Treatment Plant Design - fifth Edition).

Oxidación de manganeso (II) con ozono

El ozono (O₃) es un oxidante fuerte y ha sido efectivamente utilizado para remover hierro y manganeso.

La ecuación estequiométrica que se lleva a cabo en la oxidación del manganeso con ozono, así como las cantidades teóricas para oxidar 1mg/L de Mn (II), D. Barrera (2017), se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 4*Oxidación del Manganeso con Ozono*

Reacción	Potencial de oxidación mg/mg Mn ²⁺	Sólidos* mg/mg Mn ²⁺
$Mn^{2+} + O_3 + H_2O \rightarrow MnO_2 + O_2 + H^+$	2,1	1,58

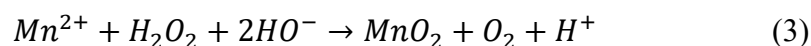
Nota: *Cantidad de sólido precipitado, basado en el peso del óxido de manganeso MnO₂. Es altamente probable que la fracción del sólido este compuesta por hidróxido de óxido de manganeso MnOOH (manganita) y carbonato de manganeso MnCO₃, D. Barrera (2017).

Oxidación con peróxido de hidrógeno

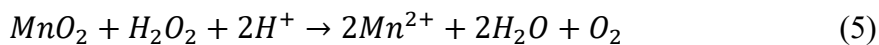
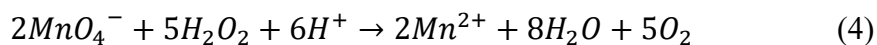
La oxidación de manganeso Mn con peróxido de hidrógeno H₂O₂ no es un método muy común, puesto que se ha evidenciado que no se obtiene buenos resultados y la oxidación es demasiado lenta, D. Barrera (2017)

El pH tiene un fuerte efecto sobre la química y la efectividad del peróxido de hidrógeno, el pH impacta la solubilidad y reactividad del catalizador hacia el peróxido de hidrógeno; las aplicaciones de peróxido incluyen la inyección de ácidos o álcalis para modificar el pH a un rango óptimo, el cual debe oscilar entre 9 a 11 unidades, D. Barrera (2017).

Los iones Mn, se oxidan fácilmente a óxido de manganeso MnO₂ mediante peróxido de hidrógeno en condiciones alcalinas, D. Barrera (2017).



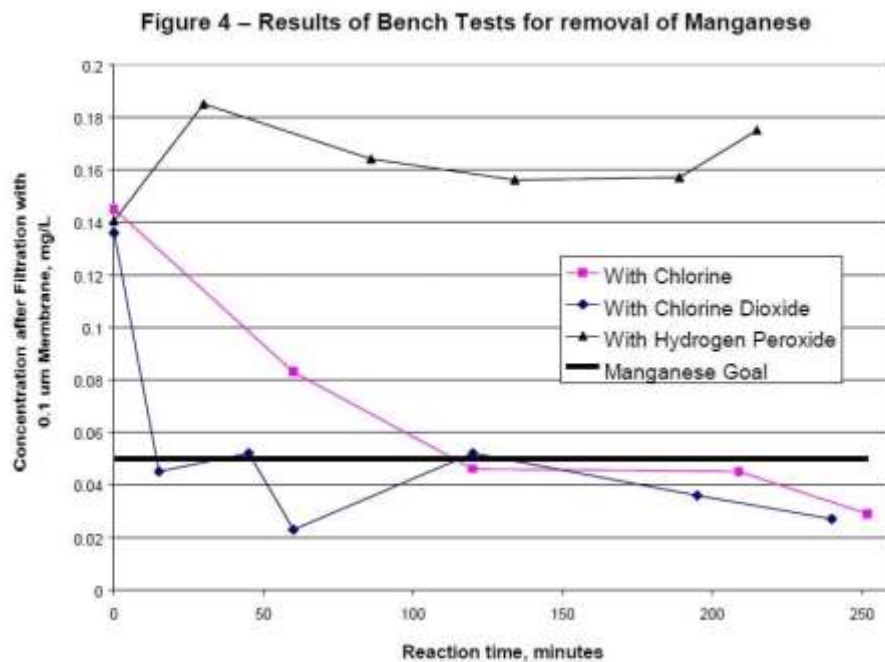
La regla general para los compuestos de manganeso que reaccionan con peróxido de hidrógeno en condiciones ácidas, es que la oxidación genera compuestos de Mn (II), por tanto, no se descompone o precipita con facilidad, mientras que en condiciones alcalinas con la aplicación de peróxido de hidrógeno se forma compuestos de MnO₂, los cuales son más fáciles de remover, tal y como se muestra en las siguientes ecuaciones, D. Barrera (2017).



Según los resultados obtenidos en el documento denominado “¿se puede usar peróxido de hidrógeno para eliminar el manganeso y el hierro del agua de pozo?”, el estudio encontró que realizando ensayos a diferentes valores del pH, el peróxido de hidrógeno no es un buen agente oxidante para manganeso, tal y como se muestra en la siguiente figura, donde se presentan los resultados de eliminación de manganeso utilizando diferentes agentes oxidantes, D. Barrera (2017).

Figura 2

Eliminación de manganeso con diferentes agentes oxidantes



Nota: <https://www.cleanwaterstore.com/blog/wp-content/uploads/2015/03/manganese-chart-crop.jpg>

Tabla 5

Potenciales de oxidación

Oxidante	Potencial de oxidación, V
Ozono	2,1
Peróxido de hidrógeno	1,92
Permanganato de potasio	1,7
Dióxido de cloro	2,46
Cloro	1,29

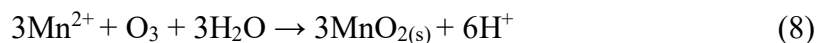
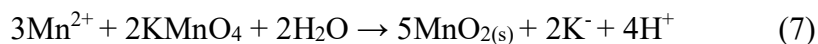
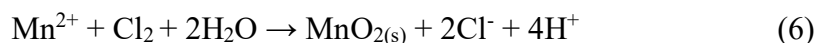
Nota: D. Barrera, 2017.

2.1.6. Modelo mediante la minimización de la energía libre de Gibbs

La razón de los altos valores de pH para la remoción de Mn(OH)_2 es la formación de iones complejos. Estos iones son Mn(OH)^- , Mn(OH)^0 y Mn(OH)_3^- . Los valores de las constantes de equilibrio de estos iones complejos, son tales que su concentración disminuye con la necesidad de iones hidróxido para precipitar los hidróxidos sólidos de Mn(OH)_2 . Ruiz-Vargas, (2015).

Para lograr la precipitación de estos sólidos, deben ser adicionados más iones hidróxido, resultando en altos valores de pH. Si estos iones complejos son destruidos, entonces el ion metálico relacionado debería precipitar como el hidróxido respectivo, previniendo que el equilibrio complejo ocurra. Ruiz-Vargas, (2015).

Destruir los iones complejos requiere el uso de oxidantes. cloro, permanganato de potasio, y ozono son normalmente usados para este propósito. Una vez el ion complejo ha sido destruido, la reacción debería ser aquella hacia un producto de precipitación de un mayor estado de oxidación que Mn^{2+} , Ruiz-Vargas, (2015). Las reacciones para la destrucción usando cloro, permanganato de potasio y ozono se muestran a continuación:



Las reacciones previas muestran que el manganeso es oxidado de Mn (II) a Mn (IV). Esta oxidación posee la posibilidad de formar un complejo de Mn (IV) con los hidróxidos. Una revisión de la literatura, sin embargo, ha descubierto alguna evidencia de que esto sea así, Ruiz-Vargas, (2015).

En un sistema en equilibrio químico, la reacción toma lugar a igual velocidades en su dirección directa e inversa, sin embargo, la concentración de las sustancias en reacción (reactantes y productos) no cambia con el tiempo. La hipótesis de equilibrio químico (HEQ) consiste en considerar que todas las especies en el sistema tienen el tiempo suficiente para alcanzar la misma velocidad de formación de reactantes y productos, de tal manera que no se evidencia un cambio en sus concentraciones, Ruiz-Vargas, (2015).

En tratamientos con hidróxidos y ausencia de procesos redox la especie disuelta de manganeso que predomina en el rango de pH de operación de 9 hasta 10,5 es el $Mn(OH)_3^-$; por lo que es necesario el uso de grandes cantidades de iones hidróxido para precipitar el manganeso en la especie $Mn(OH)_2$. Ruiz-Vargas, (2015).

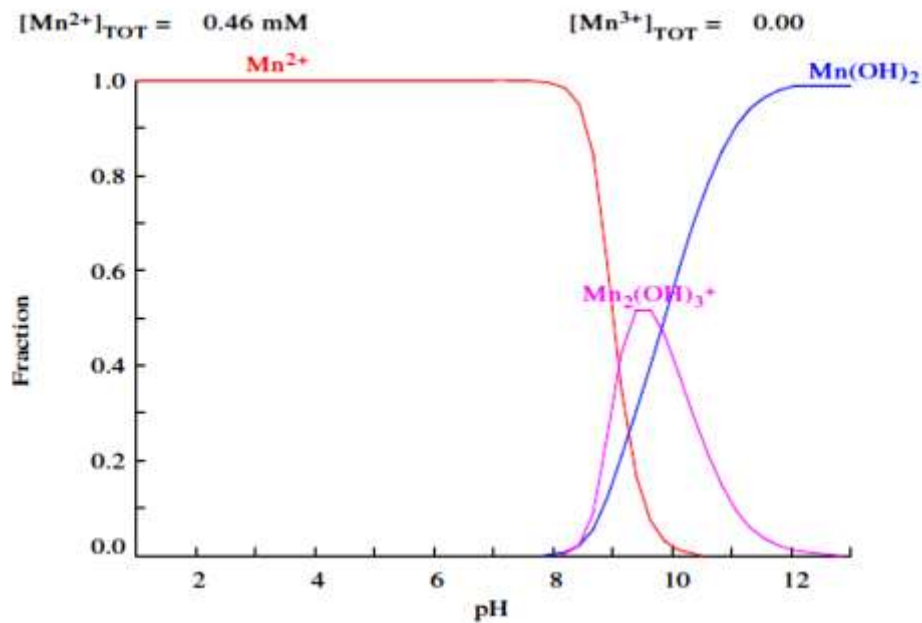
2.1.7. Influencia del nivel de pH

En la figura 2, se puede observar que hasta un pH de 9,8 el manganeso predomina en sus formas disueltas. En el rango de pH de 9 – 9,8 predomina en forma disuelta en su especie $Mn_2(OH)_3^+$. En el rango de pH de 8 hasta 10,5 se pueden observar

la existencia de las tres especies. A partir de 9,8 el manganeso predomina como mineral precipitando con valores más altos de pH. (Ruiz-Vargas, 2015)

Figura 3

Influencia del nivel de pH



Nota. Influencia de pH en la precipitación de manganeso, Fuente: Ruiz-Vargas, 2015

2.1.8. Lixiviación de Manganeso

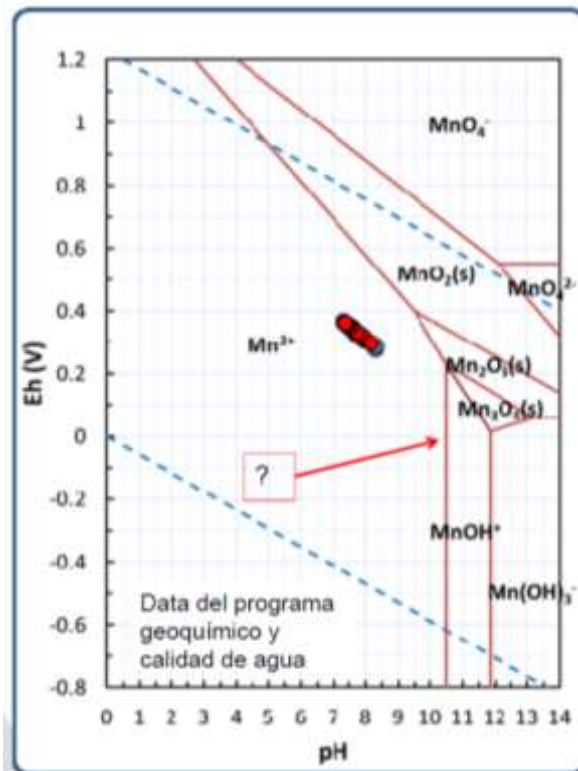
La influencia del agua y oxígeno sobre el sulfuro de hierro (FeS_2), generan cambios geoquímicos de hidrólisis y oxidación que llevan a la solubilización de los minerales produciéndose aguas ácidas con pH entre 1,5 y 6, con muchos sulfatos y metales en solución Akcil & Koldas, (2006) como hierro, manganeso, zinc, plomo,

cobre, cadmio, arsénico, antimonio entre otros. Llamados drenajes ácidos mineros DAM Chaparro Leal, (2015).

Una de las especies de manganeso que está presente en solución acuosa es el Mn^{2+} (estado de oxidación 2). El manganeso como Mn^{2+} tiene un campo de estabilidad en el diagrama de pourbaix.

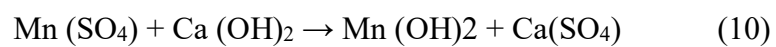
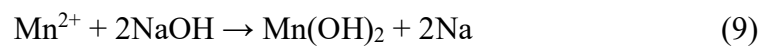
Figura 4

Campo de estabilidad de Mn^{2+}



Nota. Campo de estabilidad de Mn^{2+} , adaptado al diagrama de Pourbaix, B. Harrison, 2015

2.2. Bases teóricas



2.2.1. Variable dependiente:

Remoción de Manganeso

2.2.2. Variable Independiente:

Hidróxido de sodio y peróxido de hidrógeno

Peróxido de hidrógeno

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Planteamiento metodológico

3.1.1. Tipo y diseño de investigación

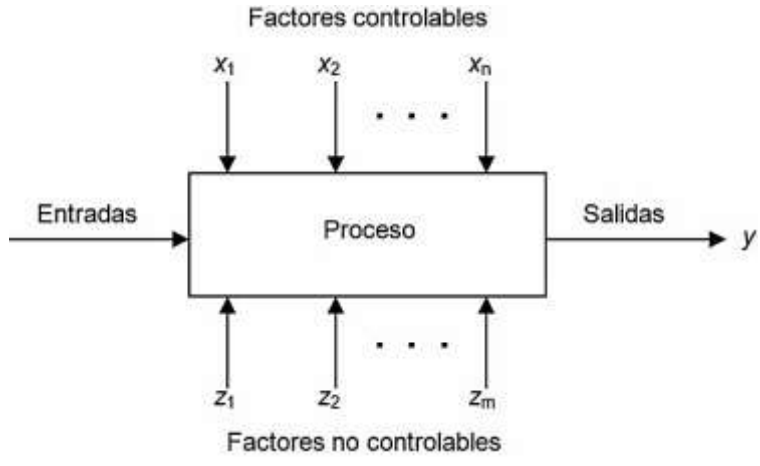
El Diseño de Experimentos (DOE), es un procedimiento estadístico que permite identificar y cuantificar los efectos de variables en un estudio. Asimismo, el DOE permite evaluar los resultados validados objetivamente.

Para el presente estudio, se desarrolló un DOE de dos niveles y dos variables (2^k), con rangos de valores razonables de las variables independientes para un correcto análisis e interpretación para plantear el procedimiento de remoción de manganeso y otros metales en el drenaje de agua de pila mineral de baja ley.

El modelo general de diseño de experimentos se puede expresar de la siguiente manera:

Figura 5

Modelo de experimentos



Nota. Modelo de experimentos Gutiérrez-De la Vega, 2008.

El cual tiene el siguiente modelo matemático:

$$\bar{Y} = a_0 + \sum_{j=1} b_j X_j + \sum_{u=j=1} b_{uj} X_u + \varepsilon \quad (11)$$

Donde

Y es el resultado (variable dependiente)

a, b son coeficientes de correlación

X factores (variable independiente)

Para las pruebas exploratorias se usó la expresión $N= 2^k$ con $k=2$ factores (variables), en total 5 pruebas incluyendo el punto central, la matriz se desarrolló utilizando el software minitab 21:

Tabla 6

Matriz para DOE

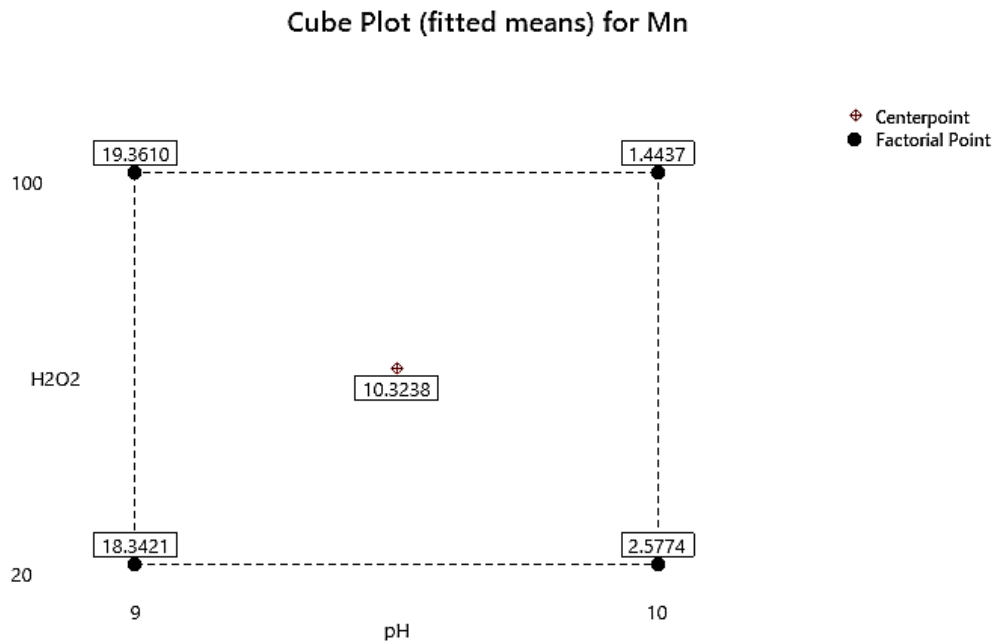
StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Ph	H ₂ O ₂
2	1	1	1	10	20
1	2	1	1	9	20
4	3	1	1	10	100
5	4	0	1	9,5	60
3	5	1	1	9	100

Las pruebas exploratorias se iniciaron con los siguientes rangos de las variables:

- Hidróxido de sodio (NaOH) pH = 9-10 (concentración de hidróxido de sodio 1.17 mg/L)
- Peróxido de hidrógeno (H₂O₂) = 20-100 mg/L (concentración de peróxido de hidrógeno al 70%).

Figura 6

Gráfico de cubo de Mn



3.2. Población y muestra de estudio

3.2.1. Población y muestra

La población, una gama de flujos de la minera en estudio y la muestra es toda el agua proveniente del drenaje de pila de mineral de baja ley.

3.3. Operacionalización de variables

Variable dependiente, remoción de manganeso (reducción de concentración de manganeso).

Variable independiente, hidróxido de sodio (pH) y peróxido de hidrógeno (oxidante).

3.4. Técnicas e instrumentación de recolección de datos

Se aplicaron técnicas estadísticas, técnicas de laboratorio e instrumentos de recolección de datos.

3.4.1. Técnicas estadísticas

Para analizar los datos, se usó el software minitab 21, con los que se generaron los diagramas de Pareto, diagrama de efectos de factores, diagramas de cubos; asimismo se usó la hoja calculo Excel para generar tabla de datos.

3.4.2. Técnicas de laboratorio

Los ensayos en muestras de agua para determinar las concentraciones iniciales de metales y muestras de concentraciones finales de metales, este último sometido a pruebas en distintas condiciones. Los ensayos de obtención de concentraciones de metales se realizan en laboratorio químico interno y externo con la técnica MA-PE-002 MA-PE-010 Met. Disueltos (ICP - AA). Mientras que las pruebas de agua, son ejecutadas en laboratorio metalúrgico en vasos de precipitados en volumen de 2 litros y con las condiciones de las variables según la plantilla de DOE y MSR previamente generada.

3.4.3. Instrumentación

Se utilizaron diversos materiales de laboratorio como:

- Balde para toma de muestra de 20 litros de capacidad.
- Agitador portátil para vasos precipitados
- Vasos precipitados de 1 y 2 litros de capacidad
- Multiparámetro (para mediciones de pH, conductividad y ORP).
- Baguetas (02 unidades).
- Micropipetas graduadas de 100 ul (microlitros)
- Puntas de pipeta (05 unidades).
- Peróxido de hidrógeno al 70% (1 litro).
- Hidróxido de Sodio a 1.17 g/l (500 ml).
- Cronómetro (01 Unidades).
- Papel filtro de 0.45 micrones

3.5. Procesamiento de recopilación de datos

3.5.1. Muestra

La muestra de agua para realizar las pruebas se tomó al final del drenaje global de agua de la pila de mineral de baja ley, la cantidad de muestra representativa tomada fue de 20 litros, antes de realizar las pruebas se envió para el análisis caracterizando por contenido de manganeso y otros metales disueltos y parámetros físicos (pH).

3.5.2. Hidróxido de sodio y peróxido de hidrógeno

3.5.2.1. Primera etapa de prueba, método Diseño de experimentos (DOE)

Para determinar la cantidad inicial de adición de hidróxido de sodio (pH) se hizo uso del diagrama de pourbaix llevando el pH para que el manganeso disuelto pase a un manganeso a estado sólido precipitado. Similarmente, se realizó la dosis inicial de peróxido de hidrógeno para que en este caso el manganeso pueda ser oxidado formando un compuesto sólido.

3.5.2.2. Segunda etapa de pruebas, método superficie de respuesta (MSR)

Luego de haber realizado el análisis respectivo de los resultados de la primera etapa de la prueba valiéndose de los diagramas de Pareto y diagramas de efectos principales de las variables individuales y con interacciones, se procede a realizar la siguiente etapa de pruebas, utilizando el método de superficie de respuesta.

El método de superficie de respuesta permite analizar los resultados de las pruebas estadísticamente explorando modelos matemáticos cuadráticos o lineales hasta llegar a un modelo sencillo.

Con el modelo final es posible determinar el valor objetivo de manganeso (o mínimo contenido de manganeso), así como la optimización variable de pH y/o de peróxido de hidrógeno para un valor que cumpla con el estándar de calidad ambiental (ECA) categoría 3 para cuerpo receptor.

3.5.2.3. Evaluación de eficiencia en la remoción de manganeso

Las pruebas mostraron alta reducción de concentración de manganeso y otros metales, para ello se utilizó la relación

$$E = \left(1 - \frac{C}{C_o}\right) \times 100 \quad (12)$$

Donde:

E=Eficiencia de remoción de metales (%)

C_o=Concentración inicial de metales

C=Concentración final de metales

3.5.2.4. Procedimiento de las pruebas experimentales de tratamiento de agua

El tratamiento de agua se realizó en laboratorio metalúrgico en vasos de precipitado de 2 litros tanto para el set de pruebas para el DOE así como para el set de pruebas de MSR. Todas pruebas se llevaron en las mismas condiciones a excepción de la variación de adición de reactivos de hidróxido de sodio y peróxido de hidrógeno

3.6. Procesamiento y análisis de datos

Para el procesamiento de datos se utilizó el Excel para las tablas de datos, el software estadístico minitab 21 para los análisis de resultados, gráficos de Pareto, gráficos de efectos principales entre otros.

Las pruebas ejecutadas en laboratorio metalúrgico de acuerdo con la plantilla DOE y MSR, se enviaron al laboratorio químico para determinar el análisis de cada

muestra. La información obtenida de cada muestra se ingresó a la plantilla de DOE y MSR previamente generada en el software de minitab 21 para realizar el análisis respectivo y correcta interpretación de los resultados de datos estadísticos y gráficos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Procesamiento y análisis de datos

4.2. Caracterización de agua de drenaje de pila de mineral de baja ley

Luego de tomar la muestra de agua representativa de drenaje de pila de mineral de baja ley, se envió para su análisis químico presentando las siguientes características de manganeso y otros metales presentes en solución.

Tabla 7

Características de agua de Dren para DOE

Elemento	mg/l	Elemento	mg/l	Elemento	mg/l
Al	1,87	As	<0,001	Ca	342,91
Cu	7,33	B	0,08	Mo	0,37
Zn	34,50	Ba	0,02	Na	15,82
Mn	31,65	Cs	0,02	Ni	0,08
Fe	<0,001	Hg	<0,00003	Rb	0,02
Cd	0,06	K	4,10	Si	7,01
Ce	0,08	La	0,05	Sr	2,29
Co	0,19	Li	0,09	Te	<0,001
Cr	<0,002	Mg	98,56	V	<0,002

Nota: Los principales valores presentes en el agua caracterizado en metales disueltos son los siguientes; el aluminio 1,87 mg/L, cobre 7,33 mg/L, zinc 34,50 mg/L, manganeso 31,65 mg/L, entre otros.

4.3. Cantidad de reactivos para remoción de manganeso y otros metales

Para determinar la cantidad inicial de adición de hidróxido de sodio (pH) se hizo uso del diagrama de pourbaix llevando el pH para que el manganeso disuelto pase a un manganeso a estado sólido como hidróxido manganeso para su posterior precipitación. Similarmente, se determinó la dosis inicial de peróxido de hidrógeno para que en este caso el manganeso pase también a estado sólido como óxido de manganeso posterior precipitación.

A continuación, la plantilla generada por minitab 21 la cantidad de dosis de reactivos y el orden de ejecución de las pruebas.

Tabla 8

Plantilla de DOE para rango de reactivos

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	pH	H ₂ O ₂
2	1	1	1	10	20
1	2	1	1	9	20
4	3	1	1	10	100
5	4	0	1	9.5	60
3	5	1	1	9	100

4.4. Resultados de las pruebas DOE

Una vez realizado las pruebas con las condiciones de reactivos previamente generado en la plantilla, se procede a ejecutar las pruebas una a la vez.

Al finalizar las pruebas se envía al laboratorio para realizar los análisis de metales disueltos teniendo los siguientes resultados

Tabla 9

Resultados de pruebas DOE

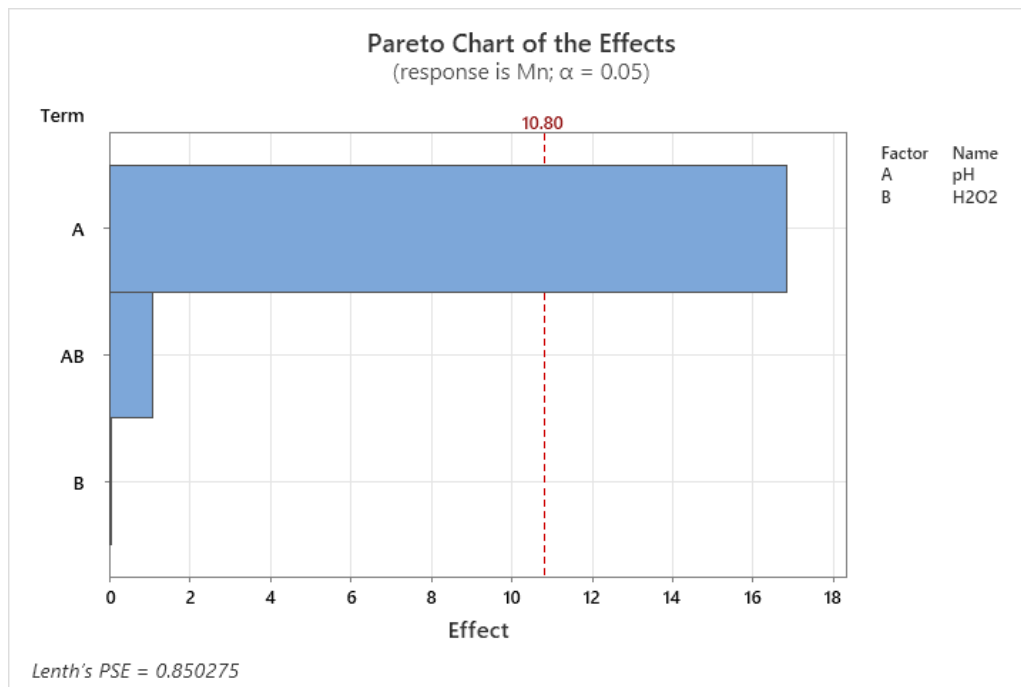
RunOrder	CenterPt	Blocks	pH	H2O2	Al	Cu	Zn	Mn	Fe
1	1	1	10	20	0,400	0,015	0,063	2,577	0,001
2	1	1	9	20	0,110	0,020	0,393	18,342	0,001
3	1	1	10	100	0,340	0,011	0,071	1,444	0,004
4	0	1	9,5	60	0,140	0,018	0,343	10,324	0,001
5	1	1	9	100	0,080	0,022	0,669	19,361	0,001

4.5. Resultados de análisis de las pruebas ejecutadas

4.5.1. Resultados para manganeso

Figura 7

Diagrama de pareto para Mn



Para el caso de Manganeso el pH tiene un efecto significativo puesto que supera el valor crítico al 5% del valor alfa. Sin embargo, el factor peróxido de hidrogeno y las interacciones entre pH y peróxido de hidrógenos están por debajo del valor crítico. Este análisis también se puede ver en el ANOVA (análisis de varianza) donde el valor p debería estar por debajo de 0,05 y el valor F es más grande. Por la alta eficiencia de remoción de manganeso los valores de P y F no se muestran.

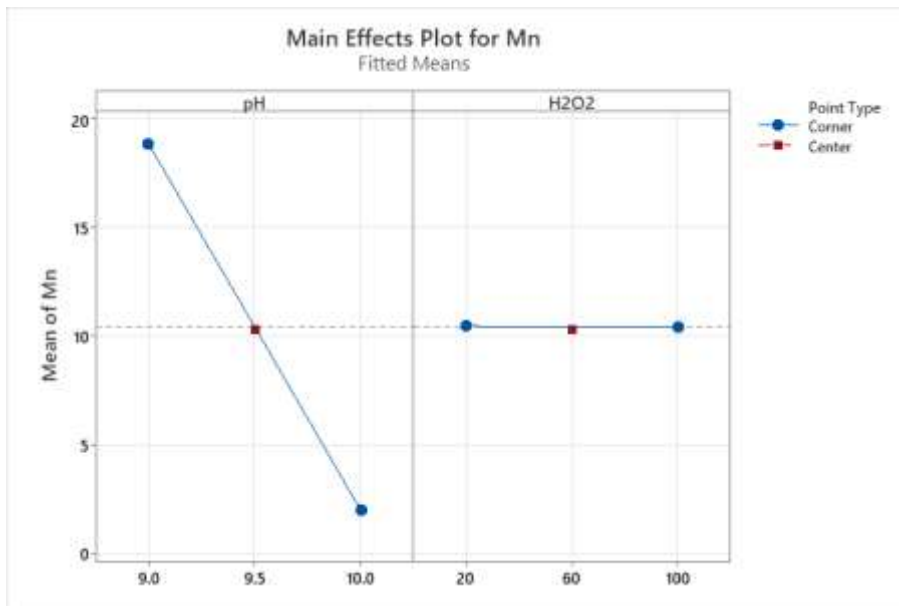
Tabla 10

Análisis de varianza para Mn

Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Model	4	284.790	71.198	*	*	
Linear	2	283.623	141.811	*	*	
pH	1	283.619	283.619	*	*	
H2O2	1	0.003	0.003	*	*	
2-Way Interactions	1	1.158	1.158	*	*	
pH*H2O2	1	1.158	1.158	*	*	
Curvature	1	0.009	0.009	*	*	
Error	0	*	*			
Total	4	284.790				

Figura 8

Diagrama de efectos principales para Mn



Para efectos principales de los valores medio de manganeso, la variación de pH desde 9 a 10 ha decrecido en -16,841, muy inclinado. Sin embargo. para la variación de peróxido de hidrógeno es -0,057, prácticamente sin variación en la media de manganeso, este valor se puede ver en el cuadro siguiente

Tabla 11

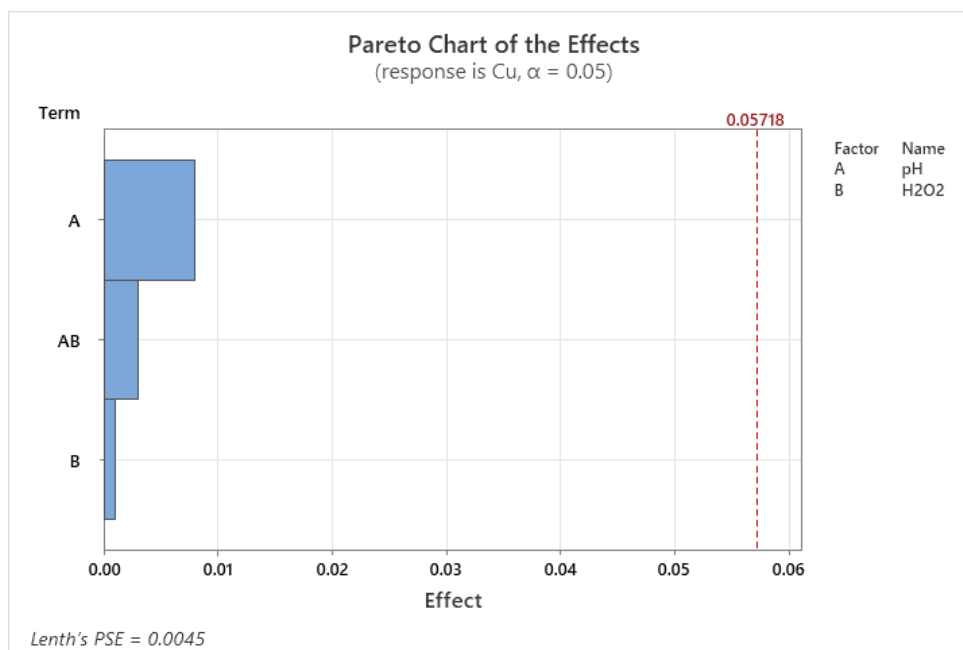
Coefficiente de efectos para Mn

Coded Coefficients						
Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		10.43		*	*	*
pH	-16.841	-8.420		*	*	* 1.00
H2O2	-0.05740	-0.02870		*	*	* 1.00
pH*H2O2	-1.0763	-0.5381		*	*	* 1.00
Ct Pt		-0.1072		*	*	* 1.00

4.5.2. Resultados para cobre

Figura 9

Diagrama de Pareto para Cu



Para el caso de cobre, el pH ninguno de los factores o interacciones de factores sobrepasa el valor crítico al 5% del valor alfa. Este análisis también se puede ver en el ANOVA (análisis de varianza) donde el valor p debería estar por debajo de 0,05 y el valor F es más grande debido a la alta eficiencia de remoción de cobre los valores de P y F no se muestran.

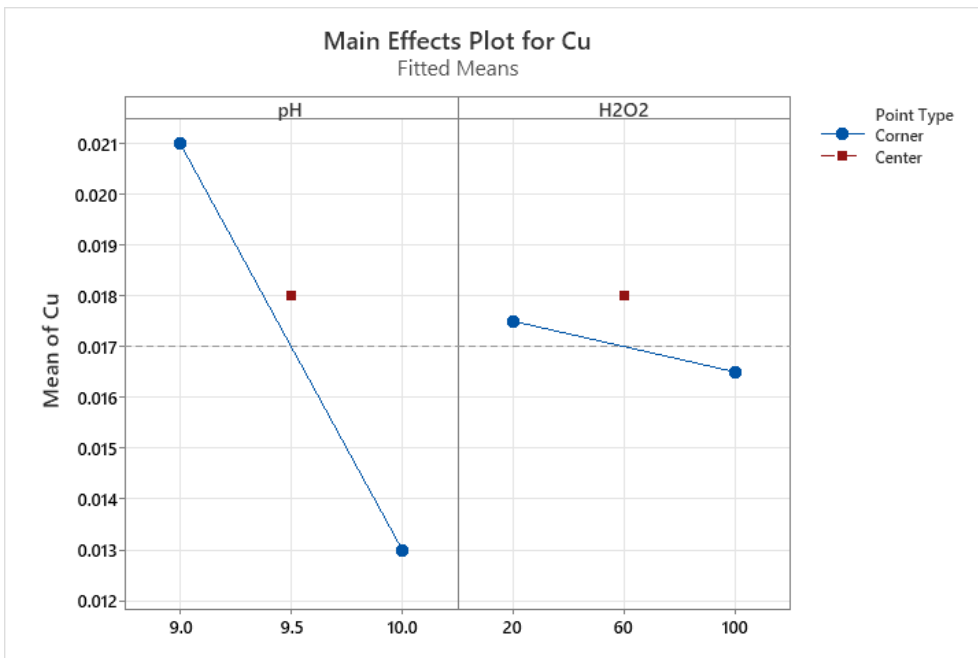
Tabla 12

Análisis de varianza para Cu

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	4	0.000075	0.000019	*	*
Linear	2	0.000065	0.000032	*	*
pH	1	0.000064	0.000064	*	*
H2O2	1	0.000001	0.000001	*	*
2-Way Interactions	1	0.000009	0.000009	*	*
pH*H2O2	1	0.000009	0.000009	*	*
Curvature	1	0.000001	0.000001	*	*
Error	0	*	*		
Total	4	0.000075			

Figura 10

Efectos principales para Cu



Para efectos principales de los valores medio de cobre, la variación de pH desde 9 a 10 ha decrecido en -0,008, bastante bajo, así como para la variación de peróxido de hidrógeno es -0,001 para ambos casos prácticamente sin variación en la media de cobre, este valor se puede ver en el cuadro siguiente

Tabla 13

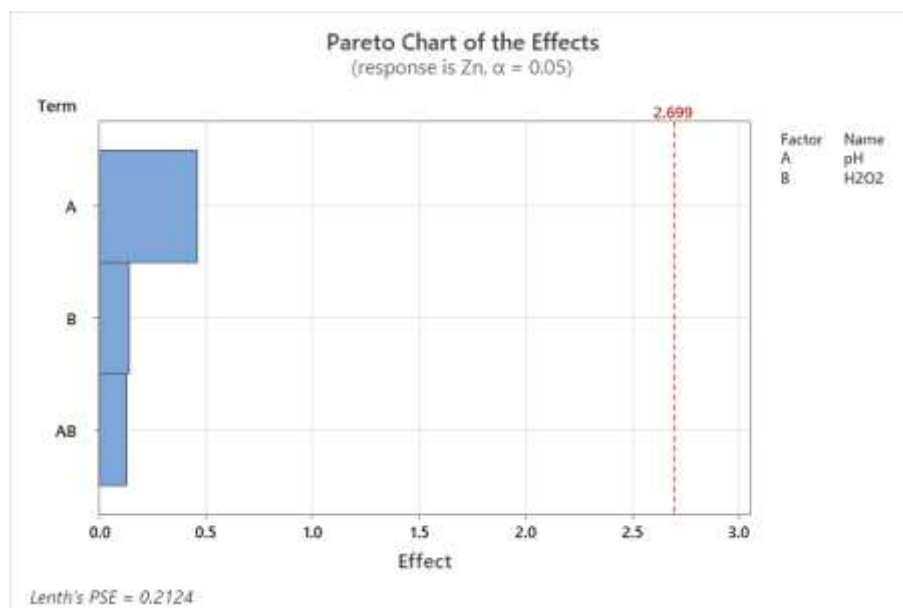
Coefficiente de efectos para Cu

Coded Coefficients						
Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		0.01700		*	*	*
pH	-0.008000	-0.004000		*	*	* 1.00
H2O2	-0.001000	-0.000500		*	*	* 1.00
pH*H2O2	-0.003000	-0.001500		*	*	* 1.00
Ct Pt		0.001000		*	*	* 1.00

4.5.3. Resultados para zinc

Tabla 14

Diagrama de pareto para Zn



Para el caso de zinc el pH ninguno de los factores o interacciones de factores sobrepasa el valor crítico al 5% del valor alfa. Este análisis, también se puede ver en el ANOVA (análisis de varianza) donde el valor p debería estar por debajo de 0,05 y el valor F es más grande debido a la alta eficiencia de remoción de zinc los valores de P y F no se muestran.

Figura 11

Efectos principales para Zn



Para efectos principales de los valores medio de zinc, la variación de pH desde 9 a 10 ha decrecido en -0,4643. Sin embargo, la variación de peróxido de hidrógeno es 0,1446 bastante bajo para variación en la media de zinc, este valor se puede ver en el cuadro siguiente

Tabla 15

Coficiente de efectos para Zn

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		0.2988		*	*	*
pH	-0.4643	-0.2322		*	*	* 1.00
H2O2	0.14160	0.07080		*	*	* 1.00
pH*H2O2	-0.13350	-0.06675		*	*	* 1.00
Ct Pt		0.04370		*	*	* 1.00

4.6. Comportamiento de hidróxido de sodio (NaOH)

En todos los elementos analizados, el pH (hidróxido de sodio) tiene un efecto importante en la precipitación de manganeso y otros metales

4.7. Comportamiento de peróxido de hidrógeno (H₂O₂)

En el caso del oxidante peróxido de hidrógeno, no es relevante para la precipitación de manganeso ni otros metales.

4.8. Superficie de respuesta

Permite analizar los resultados de las pruebas estadísticamente explorando modelos matemáticos (cuadráticos, lineales o combinaciones entre ambos) hasta arribar a un modelo que incluso puede ser sencillo.

Con el modelo final de esta técnica, es posible determinar la precipitación de manganeso y otros metales requerida (objetivo, máximo o mínimo) con las variables pH y H₂O₂, a continuación, la plantilla para la superficie de respuesta (MSR).

Tabla 16*Plantilla de MSR para rango de reactivos*

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	pH	H ₂ O ₂
5	1	-1	1	8,9	60,0
4	2	1	1	10,8	100,0
13	3	0	1	10,0	60,0
7	4	-1	1	10,0	3,4
1	5	1	1	9,2	20,0
6	6	-1	1	11,1	60,0
9	7	0	1	10,0	60,0
2	8	1	1	10,8	20,0
10	9	0	1	10,0	60,0
11	10	0	1	10,0	60,0
8	11	-1	1	10,0	116,6
3	12	1	1	9,2	100,0
12	13	0	1	10,0	60,0

Tabla 17*Características de agua de Dren para MSR*

Elemento	mg/l	Elemento	mg/l	Elemento	mg/l
Al	0,36	As	<0,001	Ca	627,40
Cu	1,57	B	0,01	Mo	0,28
Zn	35,78	Ba	0,02	Na	26,60
Mn	31,47	Cs	0,04	Ni	0,08
Fe	0,01	Hg	<0,00003	Rb	0,04
Cd	0,06	K	5,00	Si	10,28
Ce	0,05	La	0,03	Sr	2,30
Co	0,12	Li	0,09	Te	<0,001
Cr	<0,002	Mg	114,80	V	<0,002

El siguiente paso es realizar las pruebas de acuerdo con el orden propuesto en la plantilla (aleatorio), registrando las observaciones en cada prueba y luego de finalizado enviar a ensayo por los metales.

Tabla 18

Resultados de pruebas MSR

StdOrder	PtType	Blocks	pH	H ₂ O ₂	Mn	Cu	Zn	Cd	Co
5	-1	1	8,86864	60	11,802	0,020	0,401	0,0007	0,0003
4	1	1	10,8	100	0,006	0,020	0,013	0,0026	0,0053
13	0	1	10	60	0,024	0,028	0,044	0,0006	0,0003
7	-1	1	10	3,43	0,032	0,020	0,010	0,0099	0,0248
1	1	1	9,2	20	3,750	0,020	0,054	0,0026	0,0060
6	-1	1	11,13	60	0,005	0,020	0,015	0,0005	0,0001
9	0	1	10	60	0,012	0,020	0,021	0,0006	0,0002
2	1	1	10,8	20	0,033	0,033	0,053	0,0005	0,0001
10	0	1	10	60	0,014	0,032	0,040	0,0007	0,0003
11	0	1	10	60	0,008	0,020	0,014	0,0008	0,0003
8	-1	1	10	116,6	0,487	0,127	0,298	0,0014	0,0013
3	1	1	9,2	100	1,075	0,020	0,075	0,0008	0,0004
12	0	1	10	60	0,006	0,020	0,014	0,0008	0,0004

En el gráfico 18, podemos ver los resultados de manganeso y otros metales con las diversas condiciones de pH y peróxido. El manganeso tiene elevadas concentraciones a pH cercanas a 9. Sin embargo, las concentraciones de cobre y zinc son relativamente bajas debido a la precipitación o conversión a hidróxidos a pH 8,5 para el caso de cobre y pH 9,3 para el caso de zinc. Por lo que, los resultados del Método de Superficie de Respuesta (MSR) son bastante similares a los resultados de Diseño de Experimentos (DOE).

Tabla 19

Porcentaje de remoción de metales

	Mn	Cu	Zn	Cd	Co
Porcentaje de remoción (%)	99,98	98,73	99,97	99,15	99,92

En la tabla 19, se puede observar que la remoción de manganeso supera el 99.9%, así como otros metales supera una remoción de 99%.

Tabla 20

Coefficiente codificado de regresión de superficie de respuesta

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-0,202	0,587	-0,34	0,739	
pH	-2,448	0,575	-4,26	0,002	1,00
H2O2	-0,213	0,575	-0,37	0,719	1,00
pH*pH	2,298	0,611	3,76	0,004	1,00

En la tabla 20, podemos ver los resultados del análisis de los datos, en la que los coeficientes de pH y pH², son significativos, esto se puede ver en P-Value (P-Value < 0,05).

Tabla 21

Resumen del modelo de Regresión de Superficie de Respuesta

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
1.62572	78,28%	71,03%	16,17%

La tabla 21, indica el ajuste del modelo, R² 71%.

Tabla 22

Análisis de Varianza (ANOVA) de regresión de superficie de respuesta

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	3	85,706	28,5687	10,81	0,002
Linear	2	48,322	24,1609	9,14	0,007
pH	1	47,958	47,9581	18,15	0,002
H2O2	1	0,364	0,3636	0,14	0,719
Square	1	37,384	37,3843	14,14	0,004
pH*pH	1	37,384	37,3843	14,14	0,004
Error	9	23,787	2,6429		
Lack-of-Fit	5	23,786	4,7573	144 959,58	0,000
Pure Error	4	0,000	0,0000		
Total	12	109,493			

En la tabla 22, se presenta el Análisis de Varianza (ANOVA) cuyo modelo es significativo (P-Value < 0,05),

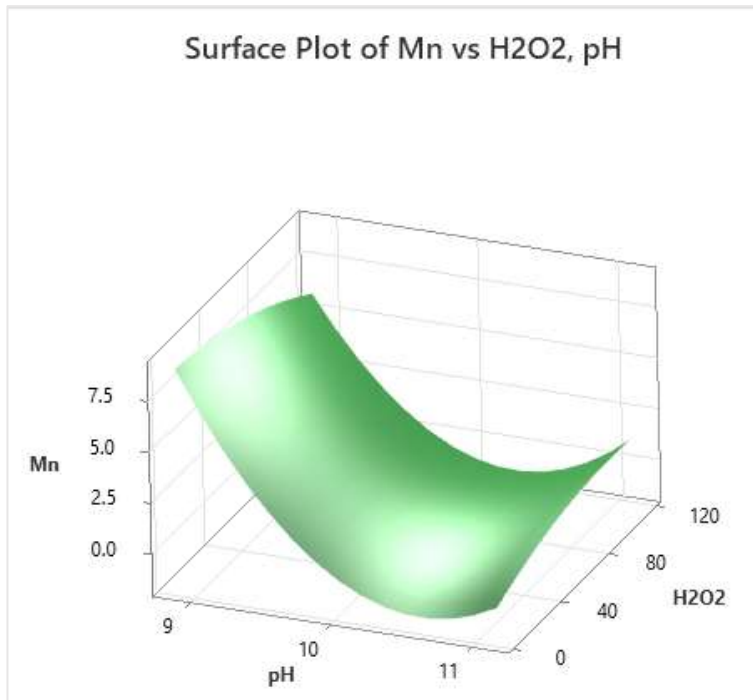
Ecuación de regresión no codificada de Superficie de Respuesta

$$Mn = 389.8 - 74.9pH + 3.591pH^2 \quad (13)$$

Luego de aplicar el principio de parsimonia, es decir, reducir la ecuación a una más sencilla respetando los ajustes (ecuación 4)

Figura 12

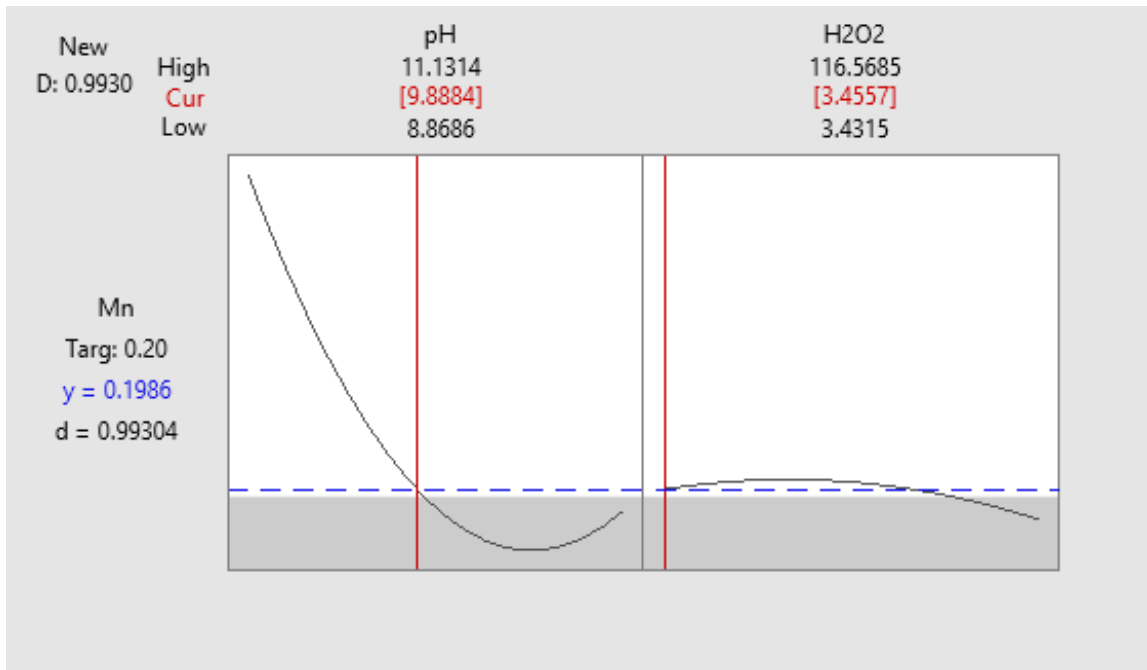
Superficie de respuesta Mn



En la figura 12, se muestra el gráfico de superficie de respuesta de manganeso, pH y peróxido de hidrógeno, en la que se puede ver una alta relación entre el manganeso y pH, y no así con el peróxido de hidrógeno.

Figura 13

Optimización de precipitación de Mn



La figura 13, muestra la optimización de reactivos a usar para remover el manganeso, cuyo objetivo se planteó en llegar en manganeso a 0,2 ppm, y que corresponde a una adición de hidróxido de sodio (pH) de 9,9.

4.9. Prueba de hipótesis

Para la prueba de hipótesis se requiere datos, los cuales se obtuvieron de las pruebas a las condiciones óptimas de adición de hidróxido de sodio.

Tabla 23

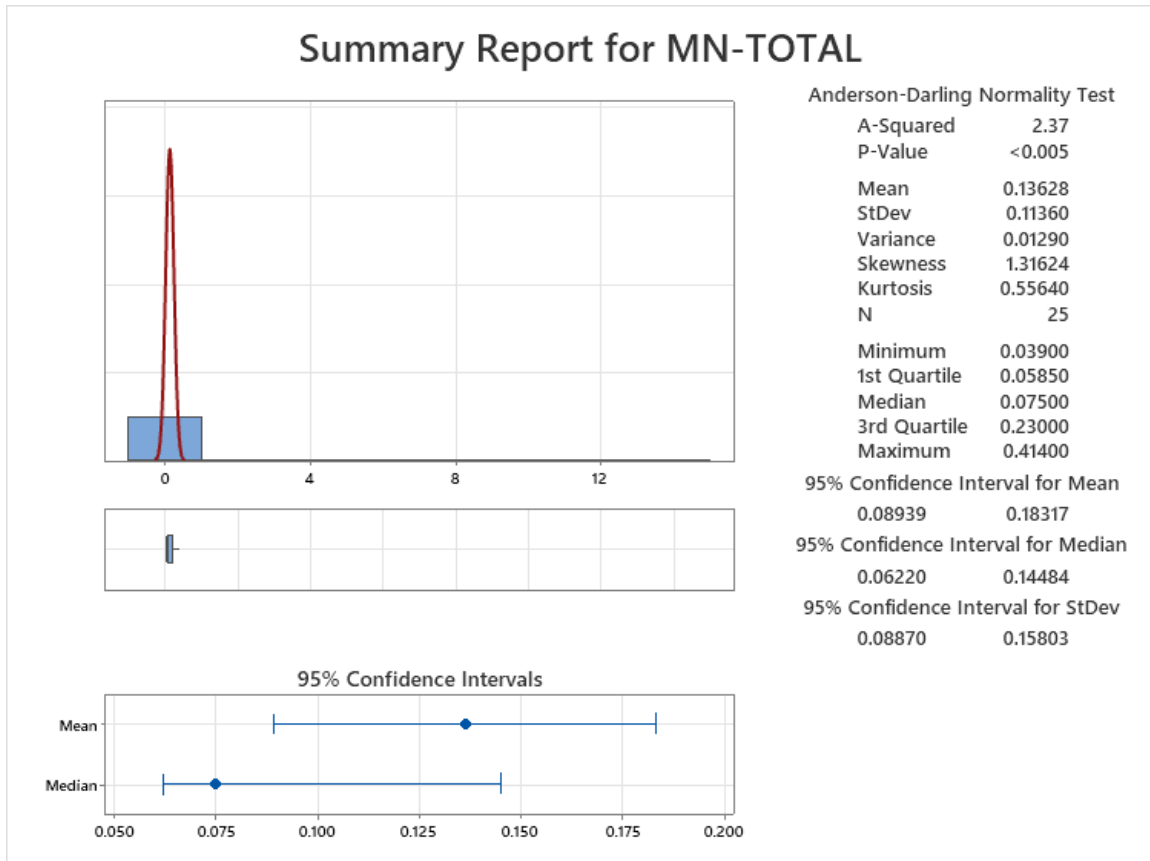
Tabla de resultados de muestras tratadas en ppm.

Mn	Mn	Mn	Mn	Mn
0,039	0,067	0,047	0,057	0,149
0,249	0,128	0,089	0,045	0,063
0,414	0,062	0,102	0,059	0,333
0,258	0,066	0,058	0,221	0,385
0,075	0,057	0,063	0,239	0,082

La tabla 23, nos muestra los resultados de las muestras después de haber aplicado la adición de hidróxido de sodio a un pH de alrededor de 9,9, con la finalidad de ver la efectividad remoción de manganeso. Esta data procesada.

Figura 14

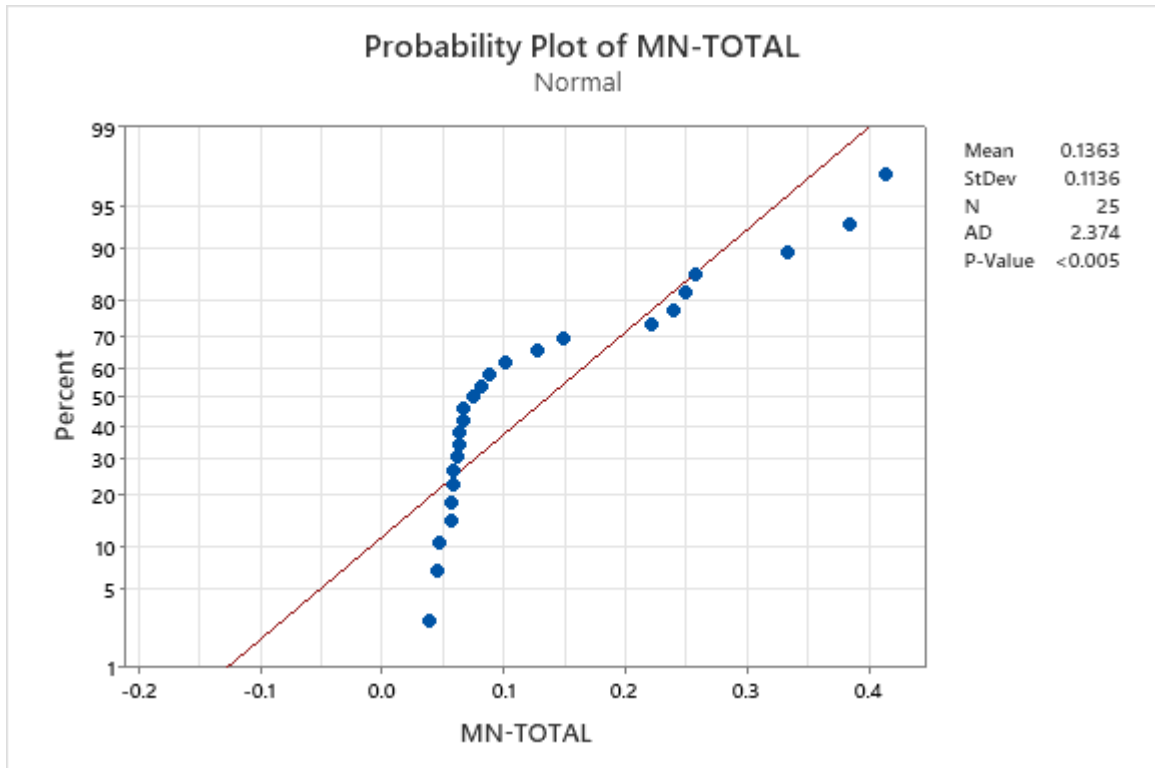
Estadística descriptiva de datos



La figura 14, nos muestra las características de los datos experimentados, una definición a priori nos indica que los datos son asimétricos ($Skewness > 1$) es decir, la concentración de datos está concentrado hacia la izquierda. Asimismo, la concentración de datos está alrededor de cero (0) y es una curva leptocúrtica ($Kutosis > 0$).

Figura 15

Prueba de normalidad de datos



En la figura 15, se muestra la prueba de normalidad, resultando no normal, debido al P-Value <0,05.

De las figuras 14 y 15, podemos concluir que no podemos realizar la prueba de hipótesis por medias, dado que los datos experimentados son no normales y asimétricos; por lo que recurriremos a las pruebas de hipótesis no paramétricas de medianas de una muestra, prueba de signo (sign test).

Planteamiento de hipótesis

H_0 : = 0,2 Hay remoción de Mn en el drenaje de agua de pila de mineral de baja ley con calidad ECA.

H_1 : > 0,2 No hay remoción de Mn en el drenaje de agua de pila de mineral de baja ley con calidad ECA.

Número de muestras para prueba de hipótesis

$$n = \frac{\delta}{s} \quad (14)$$

Donde

n Número de muestras

δ Diferencia

s Desviación estándar de la muestra

Antes de realizar la prueba de hipótesis, debemos determinar el número de datos, para ello debemos determinar la diferencia a que se desea detectar respecto a la desviación estándar de la muestra. La prueba de signo (sign test) requiere 26 muestra.

Figura 16

Prueba de hipótesis (No parametrics – SignTest)

Sign Test for Median: MN-TOTAL				
Method				
η : median of MN-TOTAL				
Descriptive Statistics				
Sample	N	Median		
MN-TOTAL	25	0.075		
Test				
Null hypothesis		$H_0: \eta = 0.2$		
Alternative hypothesis		$H_1: \eta > 0.2$		
Sample	Number < 0.2	Number = 0.2	Number > 0.2	P-Value
MN-TOTAL	18	0	7	0.993

La figura de 16, nos da los resultados de la prueba de hipótesis, aplicando la prueba no paramétrica de signos (Sign Test). El P-Value de esta prueba para rechazar la hipótesis nula (H_0), no cae en la región crítica ($P\text{-Value} < 0,05$), por lo que fallamos en rechazar la hipótesis nula (H_0).

$H_0: = 0,2$ Hay remoción de Mn en el drenaje de agua de pila de mineral de baja ley con calidad ECA.

4.10. Interpretación de resultados

Para obtener un manganeso de 0,2 ppm las condiciones de pH y H_2O_2 requerido son 9,9 y 3,5 mg/L respectivamente.

El peróxido de hidrógeno no participa en la oxidación de manganeso.

El resultado de la prueba de hipótesis indica que fallamos en rechazar la hipótesis nula (H_0). Hay remoción de Mn en el drenaje de agua de pila de mineral de baja ley cumpliendo con la calidad ECA.

Otros metales, entre ellos, el cobre y zinc, presenta remoción de ambos metales con calidad ECA, esto se puede ver en las tablas 9 y 18, no siendo necesario realizar una prueba de hipótesis debido la notoria diferencia práctica de los resultados respecto al ECA, 0,5 y 1,5 ppm para cobre y zinc respectivamente.

Con la interpretación de los resultados anteriores, se conduce la remoción de manganeso y metales en una sola etapa del drenaje de pila de mineral de baja ley.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Concentración de metales de drenaje de pila de mineral de baja ley

De acuerdo con los análisis realizados y mostrados en el capítulo anterior, se puede notar claramente, que el contenido de manganeso y otros metales de importancia no cumplen con los límites máximos permisibles (LMP) para vertimientos ni con los estándares de calidad ambiental ECA categoría 3 en el cuerpo receptor tabla 19, teniendo las siguientes concentraciones; manganeso 31,47 mg/L, cobre 1,57 mg/L, zinc 35,78, cadmio 0,059 mg/L y cobalto 0,116 mg/L; por lo que estas concentraciones de drenaje de agua de pila de mineral de baja ley, el manganeso y otros metales pesados exceden el ECA's para agua categoría 3 y los LMP's.

5.2. Dosis óptima de hidróxido de sodio y peróxido de hidrógeno

Sin duda, los resultados obtenidos inicialmente con las pruebas exploratorias DOE y posteriormente optimizado con el método de superficie de respuesta MSR, arrojan que el agua con contenido de manganeso y demás metales de interés en el drenaje de agua de pila de mineral de baja ley se reducen sustancialmente y cumpliendo con los ECA's. Obteniendo remociones de 99,98% para el manganeso, 98,73% para el cobre, 99,97% para el zinc, 99,15% para el cadmio y 99,92% para el cobalto.

5.3.pH en las pruebas DOE y MSR

Para realizar las pruebas tanto para el DOE como para el MSR, se ajustó el reactivo hidróxido de sodio (pH) y peróxido de hidrógeno a las combinaciones de acuerdo con la plantilla generada para tal fin. En el MSR, se utilizó la herramienta de optimización, colocando el objetivo para el manganeso de 0,2 mg/L, consiguiendo un pH de 9,9 (ajuste con hidróxido de sodio) y peróxido de hidrógeno de 3,5 mg/L.

El pH final de 9,9 (parámetro físico) supera el valor de ECA, pero existen procedimiento para reducir y llevar el pH a valores aceptados por el ECA's, como por ejemplo el uso de dióxido de carbono (CO₂) o la adición de ácido sulfúrico (H₂SO₄).

Los procedimientos de reducción de pH no se abordaron en la presente investigación, el cual queda para el complemento del estudio.

5.4. Comparación de resultados con el ECA

A continuación, los resultados de la concentración de manganeso y demás metales comparados con el ECA.

Tabla 24*Estándar de Calidad Ambiental (ECA); Categoría 3*

Parámetros	Unidad de medida	D1*: Riego de vegetales	D2: Bebida de animales	Agua de drenaje	Agua tratada	Remoción, %
Arsénico	mg/L	0,1	0,2	<0,001	<0,001	-
Bario	mg/L	0,7	**	0,022	0,016	-
Berilio	mg/L	0,1	0,1	0,0036	<0,0001	-
Boro	mg/L	1	5	0,01	0,050	-
Cadmio	mg/L	0,01	0,05	0,0586	0,001	98,98
Cobre	mg/L	0,2	0,5	1,571	0,015	99,05
Cobalto	mg/L	0,05	1	0,11752	0,0002	99,81
Cromo	mg/L	0,1	1	<0,002	<0,002	-
Total						
Hierro	mg/L	5	**	0,005	<0,001	-
Litio	mg/L	2,5	2,5	0,0855	0,098	-
Magnesio	mg/L	**	250	114,796	80,762	-
Manganeso	mg/L	0,2	0,2	31,4658	0,008	99,97
Mercurio	mg/L	0,001	0,01	<0,00003	<0,00003	-
Níquel	mg/L	0,2	1	0,0792	<0,0004	-
Plomo	mg/L	0,05	0,05	<0,0003	<0,0003	-
Selenio	mg/L	0,02	0,05	0,004	0,004	-
Zinc	mg/L	2	24	35,7756	0,020	99,95

*Nota** Agua para riego de vegetales restringido y no restringido (Adaptado ECA 2017 Categoría 3).

Como se puede apreciar en la tabla 19, en el agua tratada, todas las concentraciones de metales exigidos en la normativa ECA se cumplen, cadmio 0,001 mg/L (ECA 0,05 mg/L), cobre 0,015 mg/L (ECA 0,5 mg/L), cobalto 0,0002 mg/L (ECA 1mg/L), manganeso 0,008 mg/L (ECA 0,2 mg/L) y zinc 2,0 mg/L (ECA 2,0 mg/L).

5.5. Contrastación de hipótesis

Hipótesis nula H_0 = Con la adición de reactivo hidróxido de sodio no es posible remover el manganeso en el drenaje de agua de pila de baja ley.

Hipótesis Alternativa H_1 = Con la adición de reactivo hidróxido de sodio es posible remover el manganeso en el drenaje de agua de pila de baja ley.

En la tabla 19, se puede ver que la remoción de manganeso alcanza una eficiencia sobre 99,97%, partiendo de una concentración inicial de 31,466 mg/L y llegando a una concentración final de 0,008 mg/L en el agua sometida a prueba, este resultado se alinea a la hipótesis general planteada.

La concentración final alcanzado en los experimentos realizados para manganeso y otros metales como cobre zinc cumplen con la normativa ECA categoría 3 vigente.

CONCLUSIONES

Las concentraciones iniciales de cadmio 0,0586 mg/L, cobre 1,571 mg/L, cobalto 0,118 mg/L, manganeso 31,466 mg/L y zinc 35,776 mg/L del drenaje de pila de mineral de baja ley, exceden los Límites Máximos Permisibles (LMP) y estándar de Calidad Ambiental (ECA) categoría 3 para la descarga de efluentes y cuerpo receptor respectivamente. En consecuencia, no son aptas para la descarga de agua al cuerpo receptor de acuerdo con la normativa ECA categoría 3.

Las concentraciones de cadmio 0,001 mg/L, cobre 0,015 mg/L, cobalto 0,0002 mg/L, manganeso 0,008 mg/L y zinc 0,020 mg/L del drenaje de pila de mineral de baja ley, después de tratamiento están dentro de los Límites Máximos Permisibles (LMP) y Estándar de Calidad Ambiental (ECA) categoría 3 para la descarga de efluentes y cuerpo receptor respectivamente. En consecuencia, son aptas para la descarga de agua al cuerpo receptor de acuerdo con la normativa ECA categoría 3.

Las concentraciones de los metales exigidos por la normativa ECA para categoría 3 cumplen en todos los elementos; arsénico, bario, berilio, boro, cadmio, cobre, cobalto, cromo total, hierro, litio, magnesio, manganeso, mercurio, níquel, plomo, selenio y zinc.

En todas las pruebas realizadas (DOE y MSR) con variación de pH, no se observó la redisolución de metales, como cobre o zinc a pesar de que las pruebas fueron realizadas en valores de pH, incluso alrededor de 11 en algunos casos.

Con el desarrollo de un DOE inicial, se identificó la variable más importante (efecto principal) que fue el pH (hidróxido de sodio) para la remoción de manganeso este comportamiento ayudó a identificar que el manganeso se podía llevar a la forma de hidróxido para su respectivo precipitado.

Con el método de superficie de respuesta (MSR), se consiguió la adición óptima de reactivo de hidróxido (NaOH) para regular el pH para la precipitación de manganeso.

El pH óptimo para la precipitación de manganeso para cumplir con el ECA categoría 3 es de 9,9 (MSR) y con ellos se consigue precipitar todos los metales exigidos en la normativa ECA categoría 3 para cuerpo receptor.

En todas las pruebas realizadas DOE y MSR, el manganeso no requiere de uso de un oxidante para pasar el manganeso a estado sólido estable.

RECOMENDACIONES

Como se ha podido apreciar, el agua drenaje de pila de mineral de baja ley con un pH de 6,77, requiere elevar el pH alrededor de 10,0 para tratamiento de todos metales presentes exigidos en la normativa de ECA. Sin embargo, en esta condición el pH final no cumple con el ECA, por lo que se requiere un tratamiento en reducir el pH con dióxido de carbono o ácido sulfúrico.

Se recomienda realizar pruebas para tratamiento de manganeso y otros metales con el reactivo cal viva o cal hidratada para comparar la eficiencia de remoción de metales respecto al reactivo hidróxido de sodio.

Existen en el mercado coagulantes y los floculantes aniónicos de alto peso molecular que trabajan en aglomerar las partículas finas en agua para una alta eficiencia en separación física (sólido líquido); por lo que se recomienda en probar en un proceso industrial de tratamiento de agua con contenido de hidróxidos de metales.

Se recomienda, realizar otros tratamientos para la remoción de manganeso y que dependerá de la composición del manganeso a tratar, así como el requerimiento de precipitación metálica ya sea en forma de hidróxido u óxido de manganeso y que los resultados deben cumplir con la normativa ECA categoría 3 de vertimiento de agua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Moghaddam N. (2017) ICIQ Institute of Chemical Research of Catalonia, Tarragon, España.
- Asís, H., Smith, P. (1992). The Influence Of pH And Coarse Media On Manganese precipitation from water. *Wat. Res.* 1,992. 26, p.p. 853 – 855.
- Ayzanoa K. y Mendoza J. (2018). Remoción del manganeso del efluente minero metalúrgico utilizado en el proceso de oxidación con hipoclorito de calcio en una planta de tratamiento de aguas ácidas-ubicada en la región Huancavelica.
- Marín L. (2011). Remoción de hierro y manganeso por oxidación con cloro y filtración en grava. Santiago de Cali – Colombia.
- Avendaño, N. (2004). Remoción de Hierro y Manganeso. Unidad de Vigilancia de la Salud y Ambiente. México. Pág. 1 – 4.
- Akcil, A., & Koldas, S. (2006). Acid Mine Drainage (AMD): causes, treatment and case studies. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 14, Issues 12-13 SPEC. ISS., pp. 1139– 1145). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.09.006>
- Chaparro L. L. T. (2015). Drenajes ácidos de mina formación y manejo. *Revista ESAICA*, 1(1), 53. <https://doi.org/10.15649/24225126.272>
- Ruiz-Vargas, (2015), Simulación del proceso HDS en minera Sipán para la optimización de la remoción de manganeso en aguas de drenaje ácidas.

Gutiérrez Pulido H. - De La Vara Salazar R. (2008), Análisis y diseño de experimentos, segunda edición, 2008, McGraw Hill, Interamericana.

DITORO, D. (2001). Sediment Flux Modeling. New York: Jhon Wiley & Sons, Inc. Barrera D. (2017) Remoción de manganeso en la planta de tratamiento de agua potable de Tocancipá – Cundinamarca – Bogotá, D. C.

MORGAN, J. J., (1967). Chemical equilibria and kinetic properties of manganese in natural waters. En S.D. Faust & J. V: Hunter, Principles 110 and Applications of Water Chemistry, p.p. 561-623. John Wiley and Sons, Inc.

Cueva E., Mostacero M., Aguilar J. (2017), Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica, Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.

Normas Legales. (2010) Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM Límites Máximos Permisibles (LMP) para descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas.

Normas Legales (2017) Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM denomino Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua categoría 3. Riego de vegetales y bebida de animales.

Loroña -Calderón F. y. Gómez-Lora, W (2017), el artículo Propuesta de tratamiento para la eliminación del manganeso en la Planta de Neutralización de Aguas Ácidas, Victoria-Compañía Minera Volcan S. A. A, Perú.

<https://revistas.unfv.edu.pe/RCV/article/view/183/1289>

Capitulo II Manganeso Generalidades pág. 20

http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2681/II_-_Manganeso._Generalidades.pdf?sequence=6&isAllowed=y

Water Treatment Plant Design - Fifth Edition, American Water Works Association (AWWA), American Society of Civil Engineers. (ASCE). 2012. The McGraw-Hill Companies, Inc.

<https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071745727>

ANEXOS

Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM, Límites Máximos Permisibles (LMP)

para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero Metalúrgicas

424114	NORMAS LEGALES				
<p>la Ministra de Economía y Finanzas y por el Ministro de Transportes y Comunicaciones.</p> <p>Regístrese, comuníquese y publíquese.</p> <p>ALAN GARCÍA PÉREZ Presidente Constitucional de la República</p> <p>JAVIER VELASQUEZ QUESQUÉN Presidente del Consejo de Ministros</p> <p>MERCEDES ARAÓZ FERNÁNDEZ Ministra de Economía y Finanzas</p> <p>ENRIQUE CORNEJO RAMÍREZ Ministro de Transportes y Comunicaciones</p> <p>533964-6</p>	<p>El Perúano Lima, sábado 21 de agosto de 2010</p> <p>Que, en este sentido, la participación en estos eventos permitirá obtener recursos y generar la posibilidad de capacitación a los funcionarios del OSIPTEL en políticas de telecomunicaciones, gestión o gerencia de telecomunicaciones, nuevas tecnologías, servicios de telecomunicaciones y regulación de las telecomunicaciones;</p> <p>Que, el señor Alejandro Gustavo Jiménez Morales además de ser el Gerente General del OSIPTEL es responsable de las coordinaciones con el Centro de Excelencia de las Américas de la UIT, por lo cual su participación permitirá un adecuado intercambio de experiencias e información sobre temas muy importantes para la regulación de los servicios públicos de telecomunicaciones y las políticas de capacitación y fortalecimiento de las capacidades de los recursos humanos del sector;</p> <p>Que, la UIT asumirá los costos del pasaje aéreo del citado funcionario, correspondiendo asumir al OSIPTEL, con cargo a su presupuesto, los gastos por concepto de viáticos y tarifa única por uso de aeropuerto;</p> <p>De conformidad con lo establecido por la Ley N° 27619, Ley que regula la autorización de viajes al exterior de funcionarios y servidores públicos del Poder Ejecutivo; su Reglamento, aprobado mediante Decreto Supremo N° 047-2002-PCM; la Ley N° 29289, la Ley N° 29465, Ley de Presupuesto del Sector Público para el Año Fiscal 2010; y el Reglamento de Organización y Funciones de la Presidencia del Consejo de Ministros, aprobado por el Decreto Supremo N° 063-2007-PCM; y,</p> <p>Estando a lo acordado:</p>				
<p>Autorizan viaje de funcionario de OSIPTEL a Colombia para participar en eventos organizados por el Centro de Excelencia de las Américas de la Unión Internacional de Telecomunicaciones</p> <p>RESOLUCIÓN SUPREMA N° 194-2010-PCM</p> <p>Lima, 20 de agosto de 2010</p>	<p>SE RESUELVE:</p> <p>Artículo 1°.- Autorizar el viaje del señor Alejandro Gustavo Jiménez Morales, Gerente General del Organismo Supervisor de la Inversión Privada en Telecomunicaciones - OSIPTEL, a la ciudad de Bogotá, República de Colombia, del 29 de agosto al 4 de setiembre de 2010, para los fines expuestos en la parte considerativa de la presente resolución;</p> <p>Artículo 2°.- Los gastos que irroque el cumplimiento de la presente resolución se efectuarán con cargo al presupuesto del OSIPTEL, de acuerdo al siguiente detalle:</p> <table border="1"><tr><td>Tarifa Única por Uso de Aeropuerto</td><td>US\$ 31,00</td></tr><tr><td>Viáticos</td><td>US\$ 1 200,00</td></tr></table>	Tarifa Única por Uso de Aeropuerto	US\$ 31,00	Viáticos	US\$ 1 200,00
Tarifa Única por Uso de Aeropuerto	US\$ 31,00				
Viáticos	US\$ 1 200,00				
<p>Vista, la Carta N° 816-GG/RJ/2010 del Gerente General del Consejo Directivo del Organismo Supervisor de la Inversión Privada en Telecomunicaciones - OSIPTEL; y,</p> <p>CONSIDERANDO:</p> <p>Que, por comunicación de fecha 27 de julio de 2010 la Asesora en Gestión y Desarrollo de Recursos Humanos del Centro de Excelencia para la Región Américas de la Oficina Regional de la Unión Internacional de Telecomunicaciones - UIT para las Américas ha invitado al Gerente General del Organismo Supervisor de la Inversión Privada en Telecomunicaciones - OSIPTEL a participar en la 1ª Reunión del Comité Estratégico y de Calidad del Centro de Excelencia de las Américas de la Unión Internacional de Telecomunicaciones - UIT, así como en el IV Foro Internacional Futuro de las Tecnologías de la Información en Telecomunicación - TIC en la Región Américas, a llevarse a cabo en la ciudad de Bogotá, República de Colombia, del 30 de agosto al 3 de setiembre de 2010;</p>	<p>Artículo 3°.- Dentro de los quince (15) días calendario siguientes de efectuado el viaje, el referido funcionario deberá presentar a su institución un informe detallado describiendo las acciones realizadas, los resultados obtenidos y la rendición de cuentas por los viáticos entregados;</p> <p>Artículo 4°.- La presente Resolución no otorga derecho a exoneración o liberación de impuestos aduaneros de ninguna clase o denominación.</p> <p>Artículo 5°.- La presente Resolución Suprema será refrendada por el Presidente del Consejo de Ministros.</p>				
<p>Que, los mencionados eventos son organizados por el Centro de Excelencia de las Américas de la Unión Internacional de Telecomunicaciones y cuentan con la colaboración de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas de Colombia;</p> <p>Que, las citadas reuniones congregarán a los expertos de la región de los organismos reguladores de telecomunicaciones y de las instituciones que forman parte de la Red de Nodos del Centro de Excelencia de las Américas de la UIT;</p> <p>Que, en atención al prestigio internacional del OSIPTEL, este organismo ha sido reconocido e incorporado a la Red de Nodos del Centro de Excelencia de las Américas, habiéndose firmado para ello, el 3 de octubre de 2008, el Acuerdo de Participación de dicha Red de Nodos entre el OSIPTEL y la UIT;</p> <p>Que, en el marco de este Acuerdo, el OSIPTEL y la UIT realizan actividades conjuntas con la finalidad de fortalecer las capacidades de los funcionarios del OSIPTEL, siendo la línea de contar con un mecanismo regional que fortalezca la capacidad de generar conocimiento y experiencia para el talento humano de más alto nivel de la Región Américas y contribuir a su capacitación y desarrollo;</p>	<p>Regístrese, comuníquese y publíquese.</p> <p>ALAN GARCÍA PÉREZ Presidente Constitucional de la República</p> <p>JAVIER VELASQUEZ QUESQUÉN Presidente del Consejo de Ministros</p> <p>533964-7</p>				
<p>Que, en el IV Foro Internacional Futuro de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en la Región Américas se tratarán importantes temas del sector, tales como la participación empresarial necesaria para el aporte de las TIC al desarrollo social, las redes de bajo costo en la inclusión digital, las aplicaciones TIC en las Américas, la regulación de aplicaciones, contenidos y televisión digital;</p>	<p>AMBIENTE</p> <p>Aprueban Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas</p> <p>DECRETO SUPREMO N° 010-2010-MINAM</p> <p>EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA:</p>				

CONSIDERANDO:

Que, el artículo 3° de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, dispone que el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, las políticas, normas, instrumentos, incentivos y sanciones que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en dicha ley;

Que, el artículo 32° de la Ley N° 28611 modificado por el Decreto Legislativo N° 1055, establece que la determinación del Límite Máximo Permisible - LMP, corresponde al Ministerio del Ambiente y su cumplimiento es exigible legalmente por éste y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental;

Que, el numeral 33.4 del artículo 33° de la Ley N° 28611 en mención dispone que, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de la gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, el literal d) del artículo 7° del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente - MINAM, modificado por el Decreto Legislativo N° 1039, establece como función específica de dicho Ministerio elaborar los ECA y LMP, de acuerdo con los planes respectivos. Deben contar con la opinión del sector correspondiente, debiendo ser aprobados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 011-96-EM-VMM, se aprobaron los niveles máximos permisibles para efluentes líquidos minero-metalúrgicos;

Que, el conocimiento actual de las condiciones de biodisponibilidad y biotoxicidad de los elementos que contiene los efluentes líquidos descargados al ambiente por acción antrópica y la forma en la que éstos pueden afectar los ecosistemas y la salud humana, concluyen que es necesario que los LMP se actualicen para las Actividades Minero-Metalúrgicas, a efecto que cumplan con los objetivos de protección ambiental;

Que, el Ministerio de Energía y Minas ha remitido una propuesta de actualización de LMP para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas, la misma que fue publicada para consulta y discusión pública en el Diario Oficial El Peruano habiéndose recibido comentarios y observaciones que han sido debidamente meritados;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118° de la Constitución Política del Perú, y el numeral 3 del artículo 11° de la Ley N° 29156, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:

Artículo 1°.- Objeto

Aprobar los Límites Máximos Permisibles - LMP, para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas de acuerdo a los valores que se indica en el Anexo 01 que forma parte integrante del presente Decreto Supremo.

Artículo 2°.- Ámbito de Aplicación

El presente Decreto Supremo es aplicable a todas las actividades minero-metalúrgicas que se desarrollen dentro del territorio nacional.

Artículo 3°.- Definiciones

Para la aplicación del presente Decreto Supremo se utilizarán los siguientes términos y definiciones:

3.1 **Autoridad Competente.**- Autoridad que ejerce las funciones de evaluación y aprobación de los instrumentos de gestión ambiental de la actividad minero-metalúrgica. En el caso de la gran y mediana minería dicha Autoridad Competente es el Ministerio de Energía y Minas, mientras que para la pequeña minería y minería artesanal son los Gobiernos Regionales.

3.2 **Efluente Líquido de Actividades Minero - Metalúrgicas.**- Es cualquier flujo regular o estacional de sustancia líquida descargada a los cuerpos receptores, que proviene de:

a) Cualquier labor, excavación o movimiento de tierras efectuado en el terreno cuyo propósito es el

desarrollo de actividades mineras o actividades conexas, incluyendo exploración, explotación, beneficio, transporte y cierre de minas, así como campamentos, sistemas de abastecimiento de agua o energía, talleres, almacenes, vías de acceso de uso industrial (excepto de uso público), y otros.

b) Cualquier planta de procesamiento de minerales, incluyendo procesos de trituración, molienda, flotación, separación gravimétrica, separación magnética, amalgamación, reducción, tostación, sintenzación, fundición, refinación, lixiviación, extracción por solventes, electrodeposición y otros;

c) Cualquier sistema de tratamiento de aguas residuales asociado con actividades mineras o conexas, incluyendo plantas de tratamiento de efluentes mineros, efluentes industriales y efluentes domésticos;

d) Cualquier depósito de residuos mineros, incluyendo depósitos de relaves, desmontes, escorias y otros;

e) Cualquier infraestructura auxiliar relacionada con el desarrollo de actividades mineras; y,

f) Cualquier combinación de los antes mencionados.

3.3 **Ente Fiscalizador.**- Autoridad que ejerce las funciones de fiscalización y sanción de la actividad minera-metalúrgica; para la gran y mediana minería será el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería - OSINERGMIN, hasta que el Organismo de Evaluación y Fiscalización del Ambiente - OEFA asuma dichas funciones, y para la pequeña minería y minería artesanal de los Gobiernos Regionales.

3.4 **Límite Máximo Permisible (LMP).**- Medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan al efluente líquido de actividades minero-metalúrgicas, y que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el sistema de gestión ambiental.

3.5 **Límite en cualquier momento.**- Valor del parámetro que no debe ser excedido en ningún momento. Para la aplicación de sanciones por incumplimiento del límite en cualquier momento, éste deberá ser verificado por el fiscalizador o la Autoridad Competente mediante un monitoreo realizado de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes.

3.6 **Límite promedio anual.**- Valor del parámetro que no debe ser excedido por el promedio aritmético de todos los resultados de los monitoreos realizados durante los últimos doce meses previos a la fecha de referencia, de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes y el Programa de Monitoreo.

3.7 **Monitoreo de Efluentes Líquidos.**- Evaluación sistemática y periódica de la calidad de un efluente en un Punto de Control determinado, mediante la medición de parámetros de campo, toma de muestras y análisis de las propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas de las mismas, de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes.

3.8 **Parámetro.**- Cualquier elemento, sustancia o propiedad física, química o biológica del efluente líquido de actividades minero-metalúrgicas que define su calidad y que se encuentra regulado por el presente Decreto Supremo.

3.9 **Punto de Control de Efluentes Líquidos.**- Ubicación aprobada por la Autoridad Competente en la cual es obligatorio el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles.

3.10 **Programa de Monitoreo.**- Documento de cumplimiento obligatorio por el titular minero, contiene la ubicación de los puntos de control de efluentes y cuerpo receptor, los parámetros y frecuencias de monitoreo de cada punto para un determinado centro de actividades minero - metalúrgicas.

Es aprobado por la Autoridad Competente como parte de la Certificación Ambiental y puede ser modificado por ésta de oficio o a pedido de parte, a efectos de eliminar, agregar o modificar puntos de control del efluente y cuerpo

receptor, parámetros o frecuencias, siempre que exista el sustento técnico apropiado. El Ente Fiscalizador podrá recomendar las modificaciones que considere apropiadas a consecuencia de las acciones de fiscalización.

El Programa de Monitoreo considerará, además de los parámetros indicados en el presente anexo, los parámetros siguientes:

- a) Caudal
- b) Conductividad eléctrica
- c) Temperatura del efluente
- d) Turbiedad

La autoridad Competente podrá disponer el monitoreo de otros parámetros que no estén regulados en el presente Decreto Supremo, cuando existan indicios razonables de riesgo a la salud humana o al ambiente.

3.11 Protocolo de Monitoreo.- Norma aprobada por el Ministerio de Energía y Minas en coordinación con el Ministerio del Ambiente, en la que se indican los procedimientos que se deben seguir para el monitoreo del cuerpo receptor y de efluentes líquidos de actividades minero - metalúrgicas. Sólo será considerado válido el monitoreo realizado de conformidad con este Protocolo, su cumplimiento es materia de fiscalización.

3.12 Plan de Implementación para el Cumplimiento de los LMP.- Documento mediante el cual el Titular Minero justifica técnicamente la necesidad de un plazo de adecuación mayor al indicado, de acuerdo al artículo 4° numeral 4.2. del presente Decreto Supremo, el cual describe las acciones e inversiones que ejecutará para garantizar el cumplimiento de los LMP. Este Plan se incorporará al correspondiente estudio ambiental y de ser el caso será parte de la actualización del plan de manejo ambiental señalada en el artículo 30° del Reglamento de la Ley N° 27446, aprobado por Decreto Supremo N° 019-2009-MINAM.

3.13 Titular Minero.- Es la persona natural o jurídica que ejerce la actividad minera.

Artículo 4°.- Cumplimiento de los LMP y plazo de adecuación

4.1 El cumplimiento de los LMP que se aprueban por el presente dispositivo es de exigencia inmediata para las actividades minero - metalúrgicas en el territorio nacional cuyos estudios ambientales sean presentados con posterioridad a la fecha de la vigencia del presente Decreto Supremo.

4.2 Los titulares mineros que a la entrada en vigencia del presente Decreto Supremo cuenten con estudios ambientales aprobados, o se encuentren desarrollando actividades minero - metalúrgicas, deberán adecuar sus procesos, en el plazo máximo de veinte (20) meses contados a partir de la entrada en vigencia de este dispositivo, a efectos de cumplir con los LMP que se establecen.

Los titulares mineros que hayan presentado sus estudios ambientales con anterioridad a la entrada en vigencia del presente Decreto Supremo y son aprobados con posterioridad a éste, computarán el plazo de adecuación a partir de la fecha de expedición de la Resolución que apruebe el Estudio Ambiental.

4.3 Sólo en los casos que requieran el diseño y puesta en operación de nueva infraestructura de tratamiento para el cumplimiento de los LMP, la Autoridad Competente podrá otorgar un plazo máximo de treinta y seis (36) meses contados a partir de la vigencia del presente Decreto Supremo, para lo cual el Titular Minero deberá presentar un Plan de Implementación para el Cumplimiento de los LMP, que describa las acciones e inversiones que se ejecutará para garantizar el cumplimiento de los LMP y justifique técnicamente la necesidad del mayor plazo.

El Plan en mención deberá ser presentado dentro de los seis (06) meses contados a partir de la entrada en vigencia del presente dispositivo.

Mediante Resolución Ministerial, el Ministerio de Energía y Minas aprobará los criterios y procedimientos para la evaluación de los Planes de Implementación para el Cumplimiento de los LMP, así como los Términos de Referencia que determinen su contenido mínimo.

Artículo 5°.- Prohibición de dilución o mezcla de Efluentes

De acuerdo con lo previsto en el artículo 113° de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, todo Titular Minero tiene el deber de minimizar sus impactos sobre las aguas naturales, para lo cual debe limitar su consumo de agua fresca a lo mínimo necesario.

No está permitido diluir el efluente líquido con agua fresca antes de su descarga a los cuerpos receptores con la finalidad de cumplir con los LMP establecidos en el artículo 1° del presente Decreto Supremo.

Asimismo, no está permitida la mezcla de efluentes líquidos domésticos e industriales, a menos que la ingeniería propuesta para el tratamiento o manejo de aguas, así lo exija, lo cual deberá ser justificado técnicamente por el Titular Minero y aprobado por la autoridad Competente.

Artículo 6°.- Resultados del monitoreo

La Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros del Ministerio de Energía y Minas, es responsable de la administración de la base de datos de monitoreo de efluentes líquidos y calidad de agua de todas las actividades minero - metalúrgicas; los titulares mineros están obligados a reportar a dicha Dirección General los resultados del monitoreo realizado. Asimismo, el Ente Fiscalizador deberá remitir a la citada Dirección General los resultados del monitoreo realizado como parte de sus actividades de fiscalización.

La Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros garantizará el acceso oportuno y eficiente a la base de datos al Ente Fiscalizador. Asimismo, deberá elaborar dentro de los primeros sesenta (60) días calendario de cada año, un informe estadístico a partir de los datos de monitoreo reportados por los titulares mineros durante el año anterior, el cual será remitido al Ministerio del Ambiente.

Artículo 7°.- Fiscalización y Sanción

La fiscalización y sanción por el incumplimiento de los LMP aprobados en el presente Decreto Supremo, así como de la ejecución del Plan de Implementación para el Cumplimiento de los LMP está a cargo del Ente Fiscalizador, quien en el desarrollo de sus funciones, recurrirá, entre otros, a la base de datos de monitoreo ambiental administrada por la Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros del Ministerio de Energía y Minas.

Artículo 8°.- Coordinación Interinstitucional

Si en el ejercicio de su función de fiscalización, supervisión y/o vigilancia, alguna autoridad toma conocimiento de la ocurrencia de alguna infracción ambiental relacionada al incumplimiento de los LMP aprobados por el presente dispositivo, y cuya sanción no es de su competencia, deberá informar al Ente Fiscalizador correspondiente o a la autoridad competente, adjuntando la documentación correspondiente.

Artículo 9°.- Regímenes de Excepción

De manera excepcional, la Autoridad Competente podrá exigir el cumplimiento de límites de descarga más rigurosos a los aprobados por el presente Decreto Supremo, cuando de la evaluación del correspondiente instrumento de gestión ambiental se concluya que la implementación de la actividad implicaría el incumplimiento del respectivo Estándar de Calidad Ambiental - ECA.

Artículo 10°.- Refrendo

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro del Ambiente y por el Ministro de Energía y Minas.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES

Primera.- El Ministerio de Energía y Minas, en coordinación con el Ministerio del Ambiente aprobará el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes Líquidos en un plazo no mayor de doscientos cincuenta (250) días calendario contados a partir de su entrada en vigencia del presente Decreto Supremo.

Segunda.- En el plazo máximo de sesenta (60) días calendario contados a partir de la entrada en vigencia del presente Decreto Supremo, el Ministerio de Energía y

Minas aprobará los Términos de Referencia conforme a los cuales deba elaborarse el Plan de Implementación para el Cumplimiento de los LMP, así como el procedimiento de evaluación de dichos planes.

Tercera.- En el plazo de dos (02) años contados a partir de la entrada en vigencia del presente Decreto Supremo, el Ministerio del Ambiente en coordinación con el Ministerio de Energía y Minas evaluará la necesidad de establecer nuevos LMP para los siguientes parámetros:

- Nitrógeno amoniacal
- Nitrógeno como nitratos
- Demanda Química de Oxígeno
- Aluminio
- Antimonio
- Manganeso
- Molibdeno
- Níquel
- Fenol
- Radio 226
- Selenio
- Sulfatos

Para tal efecto, el Ministerio de Energía y Minas dispondrá la modificación de los Programas de Monitoreo de las actividades mineras en curso de modo que se incluyan los parámetros aquí mencionados.

**DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA
TRANSITORIA**

Única.- Hasta la aprobación del Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes Líquidos se aplicará supletoriamente, el Protocolo de Monitoreo de Calidad de Agua, aprobado por Resolución Directoral N° 004-94-EM/DGAA,

**DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA
DEROGATORIA**

Única.- Deróguese la Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM, salvo los artículos 7°, 9°, 10°, 11° y 12°, así como los Anexos 03, 04, 05 y 06, los cuales mantienen su vigencia hasta la aprobación y entrada en vigencia del Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes Líquidos.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los veinte días del mes de agosto del año dos mil diez.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG
Ministro del Ambiente

PEDRO SÁNCHEZ GAMARRA
Ministro de Energía y Minas

ANEXO 01

**LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
PARA LA DESCARGA DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE
ACTIVIDADES MINERO - METALÚRGICAS**

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el Promedio anual
pH		6 - 9	6 - 9
Sólidos Totales	en mg/L	50	25
Suspensión			
Aceitas y Grasas	mg/L	20	16
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
Plomo Total	mg/L	0,2	0,16
Mercurio Total	mg/L	0,002	0,0016
Zinc Total	mg/L	1,5	1,2

(*) En muestra no filtrada

- Los valores indicados en la columna "Límite en cualquier momento" son aplicables a cualquier muestra colectada por el Titular Minero, el Ente Fiscalizador o la Autoridad Competente, siempre que el muestreo y análisis hayan sido realizados de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes del Ministerio de Energía y Minas; en este Protocolo se establecerán entre otros aspectos, los niveles de precisión, exactitud y límites de detección del método utilizado.

- Los valores indicados en la columna "Promedio anual" se aplican al promedio aritmético de todas las muestras colectadas durante el último año calendario previo a la fecha de referencia, incluyendo las muestras recolectadas por el Titular Minero y por el Ente Fiscalizador siempre que éstas hayan sido recolectadas y analizadas de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes del Ministerio de Energía y Minas

533964-1

**COMERCIO EXTERIOR
Y TURISMO**

**Autorizan viaje de representante de
PROMPERÚ a la República Popular
China para participar en la Feria "Asia
Fruit Logística 2010"**

**RESOLUCIÓN SUPREMA
N° 103-2010-MINCETUR**

Lima, 20 de agosto de 2010

Visto el Oficio N° 301-2010-PROMPERU/SG, de la Secretaría General de la Comisión de Promoción del Perú para la Exportación y el Turismo - PROMPERÚ.

CONSIDERANDO:

Que, la Comisión de Promoción del Perú para la Exportación y el Turismo - PROMPERÚ, es un organismo público técnico especializado adscrito al Ministerio de Comercio Exterior y Turismo, competente para proponer y ejecutar los planes y estrategias de promoción de bienes y servicios exportables, así como de turismo interno y receptivo, promoviendo y difundiendo la imagen del Perú en materia turística y de exportaciones;

Que, PROMPERÚ, conjuntamente con cuatro empresas agroexportadoras y cinco gremios exportadores nacionales, han programado su participación en la Feria "ASIA FRUIT LOGÍSTICA 2010", organizado por la empresa Messe Berlin GMBH, a realizarse en la ciudad de Hong Kong, República Popular China, del 8 al 10 de setiembre del 2010, con el objetivo de promover las exportaciones de frutas y hortalizas frescas en el mercado asiático, a fin de consolidar nuestra presencia como país abastecedor de frutas y hortalizas de calidad;

Que, la participación de PROMPERÚ en este evento permitirá evaluar la participación de las empresas peruanas exportadoras en dicho mercado, así como conocer los aspectos de la cadena de comercialización y distribución de frutas y hortalizas entre las ciudades chinas de Hong Kong y Guangzhou;

Que, la Secretaría General de PROMPERÚ ha solicitado que se autorice el viaje del señor Víctor Germán Sarabia Molina, quien presta servicios en dicha entidad, para que en representación de PROMPERÚ, participe en la referida feria, realizando acciones de promoción de las exportaciones de importancia para el país y coordinando cuanto se refiere a la instalación del stand peruano;

Que, la Ley N° 29465, Ley de Presupuesto del Sector Público para el Año Fiscal 2010, prohíbe los viajes al exterior con cargo a recursos públicos, salvo los casos excepcionales que la misma Ley señala, entre ellos, los viajes que se efectúen en el marco de las acciones de promoción de importancia para el Perú, los que deben realizarse en categoría económica y ser autorizados por Resolución Suprema;

De conformidad con el Decreto de Urgencia N° 001-2010, la Ley N° 27790, de Organización y Funciones del

Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, Estándares de Calidad Ambiental para Agua.

10	NORMAS LEGALES Miércoles 7 de Julio de 2017 / El Peruano
<p>Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias</p> <p style="text-align: center;">DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM</p> <p style="text-align: center;">EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA</p> <p style="text-align: center;">CONSIDERANDO:</p> <p>Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;</p> <p>Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28811, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la Ley;</p> <p>Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente; asimismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, así como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;</p> <p>Que, de acuerdo con lo establecido en el numeral 33.1 del artículo 33 de la Ley, la Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA, y Límites Máximos Permisibles (LMP) y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga las propuestas de ECA y LMP, los que serán remitidos a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante Decreto Supremo;</p> <p>Que, en virtud a lo dispuesto por el numeral 33.4 del artículo 33 de la Ley, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;</p> <p>Que, de conformidad con lo establecido en el literal d) del artículo 7 del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización, y Funciones del Ministerio del Ambiente, este ministerio tiene como función específica elaborar los ECA y LMP, los cuales deberán contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante Decreto Supremo;</p> <p>Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM se aprueban los ECA para Agua y, a través del Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, se aprueban las disposiciones para su aplicación;</p> <p>Que, asimismo, mediante Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM se modifican los ECA para Agua y se establecen disposiciones complementarias para su aplicación;</p> <p>Que, mediante Resolución Ministerial N° 331-2016-MINAM se crea el Grupo de Trabajo encargado de establecer medidas para optimizar la calidad ambiental, estableciendo como una de sus funciones específicas, el analizar y proponer medidas para mejorar la calidad ambiental en el país;</p> <p>Que, en mérito del análisis técnico realizado se ha identificado la necesidad de modificar, precisar y unificar la normatividad vigente que regula los ECA para agua;</p> <p>Que, mediante Resolución Ministerial N° 072-2017-MINAM, se dispuso la prepublicación del proyecto normativo, en cumplimiento del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, y el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la publicidad,</p>	<p>publicación de Proyectos Normativos y difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS; en virtud de la cual se recibieron aportes y comentarios al mismo;</p> <p>De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118 de la Constitución Política del Perú, así como el numeral 3 del artículo 11 de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;</p> <p style="text-align: center;">DECRETA:</p> <p>Artículo 1.- Objeto de la norma La presente norma tiene por objeto compilar las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos.</p> <p>Artículo 2.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua Apruébase los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, que como Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo.</p> <p>Artículo 3.- Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua Para la aplicación de los ECA para Agua se debe considerar las siguientes precisiones sobre sus categorías:</p> <p style="text-align: center;">3.1 Categoría 1: Poblacional y recreacional</p> <p style="text-align: center;">a) Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable Entiéndase como aquellas aguas que, previo tratamiento, son destinadas para el abastecimiento de agua para consumo humano:</p> <ul style="list-style-type: none">- A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección Entiéndase como aquellas aguas que, por sus características de calidad, reúnen las condiciones para ser destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano con simple desinfección, de conformidad con la normativa vigente.- A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional, mediante dos o más de los siguientes procesos: Coagulación, floculación, decantación, sedimentación, y/o filtración o procesos equivalentes; incluyendo su desinfección, de conformidad con la normativa vigente.- A3. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional que incluye procesos físicos y químicos avanzados como precloración, micro filtración, ultra filtración, nanofiltración, carbón activado, ósmosis inversa o procesos equivalentes establecidos por el sector competente. <p style="text-align: center;">b) Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo que se ubican en zonas marino costeras o continentales. La amplitud de las zonas marino costeras es variable y comprende la franja del mar entre el límite de la tierra hasta los 500 m de la línea paralela de baja marea. La amplitud de las zonas continentales es definida por la autoridad competente;</p>

- B1. Contacto primario

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto primario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de actividades como la natación, el esquí acuático, el buceo libre, el surf, el canotaje, la navegación en tabla a vela, la moto acuática, la pesca submarina o similares.

- B2. Contacto secundario

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto secundario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de deportes acuáticos con botes, lanchas o similares.

3.2 Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales**a) Subcategoría C1: Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras**

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de moluscos (Ej.: ostras, almejas, choros, navajas, machas, conchas de abanico, palabrías, mejillones, caracol, lapa, entre otros), equinodermos (Ej.: erizos y estrella de mar) y tunicados.

b) Subcategoría C2: Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras

Entiéndase como aquellas aguas destinadas a la extracción o cultivo de otras especies hidrobiológicas para el consumo humano directo e indirecto. Esta subcategoría comprende a los peces y las algas comestibles.

c) Subcategoría C3: Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras

Entiéndase como aquellas aguas aledañas a las infraestructuras marino portuarias, actividades industriales o servicios de saneamiento como los emisarios submarinos.

d) Subcategoría C4: Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de especies hidrobiológicas para consumo humano.

3.3 Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales**a) Subcategoría D1: Riego de vegetales**

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para el riego de los cultivos vegetales, las cuales, dependiendo de factores como el tipo de riego empleado en los cultivos, la clase de consumo utilizado (crudo o cocido) y los posibles procesos industriales o de transformación a los que puedan ser sometidos los productos agrícolas:

- Agua para riego no restringido

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen crudos (Ej.: hortalizas, plantas frutales de tallo bajo o similares); cultivos de árboles o arbustos frutales con sistema de riego por aspersión, donde el fruto o partes comestibles entran en contacto directo con el agua de riego, aun cuando estos sean de tallo alto; parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales; o cualquier otro tipo de cultivo.

- Agua para riego restringido

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen cocidos (Ej.: habas); cultivos de tallo alto en los que el agua de riego no entra en contacto con el fruto (Ej.: árboles frutales); cultivos a ser procesados, envasados y/o industrializados (Ej.: trigo, arroz, avena y quinua); cultivos industriales no comestibles (Ej.: algodón), y; cultivos forestales, forrajes, pastos o similares (Ej.: maíz forrajero y alfalfa).

b) Subcategoría D2: Bebida de animales

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para bebida de animales mayores como ganado vacuno,

equino o camélido, y para animales menores como ganado porcino, ovino, caprino, cuyes, aves y conejos.

3.4 Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua superficiales que forman parte de ecosistemas frágiles, áreas naturales protegidas y/o zonas de amortiguamiento, cuyas características requieren ser protegidas.

a) Subcategoría E1: Lagunas y lagos

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lénticos, que no presentan corriente continua, incluyendo humedales.

b) Subcategoría E2: Ríos

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lóticos, que se mueven continuamente en una misma dirección:

- Ríos de la costa y sierra

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la vertiente hidrográfica del Pacífico y del Titicaca, y en la parte alta de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por encima de los 600 msnm.

- Ríos de la selva

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la parte baja de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por debajo de los 600 msnm, incluyendo las zonas meándricas.

c) Subcategoría E3: Ecosistemas costeros y marinos**- Estuarios**

Entiéndase como aquellas zonas donde el agua de mar ingresa en valles o cauces de ríos hasta el límite superior del nivel de marea. Esta clasificación incluye marismas y manglares.

- Marinos

Entiéndase como aquellas zonas del mar comprendidas desde la línea paralela de baja marea hasta el límite marítimo nacional.

Precisese que no se encuentran comprendidas dentro de las categorías señaladas, las aguas marinas con fines de potabilización, las aguas subterráneas, las aguas de origen minero - medicinal, aguas geotermiales, aguas atmosféricas y las aguas residuales tratadas para reuso.

Artículo 4.- Asignación de categorías a los cuerpos naturales de agua

4.1 La Autoridad Nacional del Agua es la entidad encargada de asignar a cada cuerpo natural de agua las categorías establecidas en el presente Decreto Supremo atendiendo a sus condiciones naturales o niveles de fondo, de acuerdo al marco normativo vigente.

4.2 En caso se identifique dos o más posibles categorías para una zona determinada de un cuerpo natural de agua, la Autoridad Nacional del Agua define la categoría aplicable, priorizando el uso poblacional.

Artículo 5.- Los Estándares de Calidad Ambiental para Agua como referente obligatorio

5.1 Los parámetros de los ECA para Agua que se aplican como referente obligatorio en el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, se determinan considerando las siguientes variables, según corresponda:

a) Los parámetros asociados a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o la actividad productiva, extractiva o de servicios.

b) Las condiciones naturales que caracterizan el estado de la calidad ambiental de las aguas superficiales que no han sido alteradas por causas antrópicas.

c) Los niveles de fondo de los cuerpos naturales de agua; que proporcionan información acerca de las concentraciones de sustancias o agentes físicos,

químicos o biológicos presentes en el agua y que puedan ser de origen natural o antrópico.

d) El efecto de otras descargas en la zona, tomando en consideración los impactos ambientales acumulativos y sinérgicos que se presenten aguas arriba y aguas abajo de la descarga del efluente, y que influyan en el estado actual de la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua donde se realiza la actividad.

e) Otras características particulares de la actividad o el entorno que pueden influir en la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua.

5.2 La aplicación de los ECA para Agua como referente obligatorio está referida a los parámetros que se identificaron considerando las variables del numeral anterior, según corresponda, sin incluir necesariamente todos los parámetros establecidos para la categoría o subcategoría correspondiente.

Artículo 6.- Consideraciones de excepción para la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

En aquellos cuerpos naturales de agua que por sus condiciones naturales o, por la influencia de fenómenos naturales, presenten parámetros en concentraciones superiores a la categoría de ECA para Agua asignada, se exceptúa la aplicación de los mismos para efectos del monitoreo de la calidad ambiental, en tanto se mantenga uno o más de los siguientes supuestos:

a) Características geológicas de los suelos y subsuelos que influyen en la calidad ambiental de determinados cuerpos naturales de aguas superficiales. Para estos casos, se demostrará esta condición natural con estudios técnicos científicos que sustenten la influencia natural de una zona en particular sobre la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua, aprobados por la Autoridad Nacional del Agua.

b) Ocurrencia de fenómenos naturales extremos, que determina condiciones por exceso (inundaciones) o por carencia (sequías) de sustancias o elementos que componen el cuerpo natural de agua, las cuales deben ser reportadas con el respectivo sustento técnico.

c) Desbalance de nutrientes debido a causas naturales, que a su vez genera eutrofización o el crecimiento excesivo de organismos acuáticos, en algunos casos potencialmente tóxicos (mareas rojas). Para tal efecto, se debe demostrar el origen natural del desbalance de nutrientes, mediante estudios técnicos científicos aprobados por la autoridad competente.

d) Otras condiciones debidamente comprobadas mediante estudios o informes técnicos científicos actualizados y aprobados por la autoridad competente.

Artículo 7.- Verificación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua fuera de la zona de mezcla

7.1 En cuerpos naturales de agua donde se vierten aguas tratadas, la Autoridad Nacional del Agua verifica el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla, entendida esta zona como aquella que contiene el volumen de agua en el cuerpo receptor donde se logra la dilución del vertimiento por procesos hidrodinámicos y dispersión, sin considerar otros factores como el decaimiento bacteriano, sedimentación, asimilación en materia orgánica y precipitación química.

7.2 Durante la evaluación de los instrumentos de gestión ambiental, las autoridades competentes consideran y/o verifican el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla, en aquellos parámetros asociados prioritariamente a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o actividad.

7.3 La metodología y aspectos técnicos para la determinación de las zonas de mezcla serán establecidos por la Autoridad Nacional del Agua, en coordinación con el Ministerio del Ambiente y la autoridad competente.

Artículo 8.- Sistematización de la información

8.1 Las autoridades competentes de los tres niveles de gobierno, que realicen acciones de vigilancia, monitoreo, control, supervisión y/o fiscalización ambiental remitirán

al Ministerio del Ambiente la información generada en el desarrollo de estas actividades con relación a la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua, a fin de que sirva como insumo para la elaboración del Informe Nacional del Estado del Ambiente y para el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA).

8.2 La autoridad competente debe remitir al Ministerio del Ambiente la relación de aquellos cuerpos naturales de agua exceptuados de la aplicación del ECA para Agua, referidos en los literales a) y c) del artículo 6 del presente Decreto Supremo, adjuntando el sustento técnico correspondiente.

8.3 El Ministerio del Ambiente establece los procedimientos, plazos y los formatos para la remisión de la información.

Artículo 9.- Refrendo

El presente Decreto Supremo es refrendado por la Ministra del Ambiente, el Ministro de Agricultura y Riego, el Ministro de Energía y Minas, la Ministra de Salud, el Ministro de la Producción y el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES

Primera.- Aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en los instrumentos de gestión ambiental aprobados

La aplicación de los ECA para Agua en los instrumentos de gestión ambiental aprobados, que sean de carácter preventivo, se realiza en la actualización o modificación de los mismos, en el marco de la normativa vigente del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA). En el caso de instrumentos correctivos, la aplicación de los ECA para Agua se realiza conforme a la normativa ambiental sectorial.

Segunda.- Del Monitoreo de la Calidad Ambiental del Agua

Las acciones de vigilancia y monitoreo de la calidad del agua debe realizarse de acuerdo al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales aprobado por la Autoridad Nacional del Agua.

Tercera.- Métodos de ensayo o técnicas analíticas

El Ministerio del Ambiente, en un plazo no mayor a seis (6) meses contado desde la vigencia de la presente norma, establece los métodos de ensayo o técnicas analíticas aplicables a la medición de los ECA para Agua aprobados por la presente norma, en coordinación con el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) y las autoridades competentes.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS TRANSITORIAS

Primera.- Instrumento de gestión ambiental y/o plan integral en trámite ante la Autoridad Competente

Los titulares que antes de la fecha de entrada en vigencia de la norma, hayan iniciado un procedimiento administrativo para la aprobación del instrumento de gestión ambiental y/o plan integral ante la autoridad competente, tomarán en consideración los ECA para Agua vigentes a la fecha de inicio del procedimiento.

Luego de aprobado el instrumento de gestión ambiental por la autoridad competente, los titulares deberán considerar lo establecido en la Primera Disposición Complementaria Final, a efectos de aplicar los ECA para Agua aprobados mediante el presente Decreto Supremo.

Segunda.- De la autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas

Para la autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas, la Autoridad Nacional del Agua, tomará en cuenta los ECA para Agua considerados en la aprobación del instrumento de gestión ambiental correspondiente.

Tercera.- De la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en cuerpos naturales de agua no categorizados

En tanto la Autoridad Nacional del Agua no haya asignado una categoría a un determinado cuerpo natural de agua, se debe aplicar la categoría del

recurso hídrico al que este tributa, previo análisis de dicha Autoridad.

**DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA
DEROGATORIA**

Única.- Derogación de normas referidas a Estándares de Calidad Ambiental para Agua. Derógase el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los seis días del mes de junio del año dos mil diecisiete.

PEDRO PABLO KUCZYNSKI GODARD
Presidente de la República

JOSÉ MANUEL HERNÁNDEZ CALDERÓN
Ministro de Agricultura y Riego

ELSA GALARZA CONTRERAS
Ministra del Ambiente

GONZALO TAMAYO FLORES
Ministro de Energía y Minas

PEDRO OLAECHEA ÁLVAREZ-CALDERÓN
Ministro de la Producción

PATRICIA J. GARCÍA FUNEGRA
Ministra de Salud

EDMER TRUJILLO MORI
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

ANEXO

Categoría 1: Poblacional y Recreacional

Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	**	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	(µS/cm)	1 500	1 600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0,1	0,15	0,15
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante de origen antropico	Ausencia de material flotante de origen antropico	Ausencia de material flotante de origen antropico
Nitratos (NO ₃) (c)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO ₂) (d)	mg/L	3	3	**
Amoniaco-N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 - 8,5	5,5 - 9,0	5,5 - 9,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	0,9	5	5
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,15
Bario	mg/L	0,7	1	**
Berilio	mg/L	0,012	0,04	0,1
Boro	mg/L	2,4	2,4	2,4
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Hierro	mg/L	0,3	1	5
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Molibdeno	mg/L	0,07	**	**

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
Níquel	mg/L	0,07	**	**
Piomó	mg/L	0,01	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,04	0,04	0,05
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02
Zinc	mg/L	3	5	5
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C ₆ - C ₁₀)	mg/L	0,01	0,2	1,0
Trihalometanos (e)		1,0	1,0	1,0
Bromofórmó	mg/L	0,1	**	**
Clorofórmó	mg/L	0,3	**	**
Dibromoclorometano	mg/L	0,1	**	**
Bromodiclorometano	mg/L	0,06	**	**
I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES				
1,1,1-Tricloroetano	mg/L	0,2	0,2	**
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,03	**	**
1,2-Dicloroetano	mg/L	0,03	0,03	**
1,2-Diclorobenceno	mg/L	1	**	**
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	**
Tetracloroetano	mg/L	0,04	**	**
Tetracloruro de carbono	mg/L	0,004	0,004	**
Tricloroetano	mg/L	0,07	0,07	**
BTEX				
Benceno	mg/L	0,01	0,01	**
Etilbenceno	mg/L	0,3	0,3	**
Tolueno	mg/L	0,7	0,7	**
Xilenos	mg/L	0,5	0,5	**
Hidrocarburos Aromáticos				
Benzo(a)pireno	mg/L	0,0007	0,0007	**
Fluoranteno (PCP)	mg/L	0,009	0,009	**
Organoclorados				
Malatión	mg/L	0,19	0,0001	**
Organoclorados				
Aldrin + Dieldrin	mg/L	0,00003	0,00003	**
Clordano	mg/L	0,0002	0,0002	**
Dicloro Difénil Tricloroetano (DDT)	mg/L	0,001	0,001	**
Endrin	mg/L	0,0006	0,0006	**
Heptacloro + Heptacloro Epóxido	mg/L	0,00003	0,00003	**
Lindano	mg/L	0,002	0,002	**
Carbamato				
Aldicarbó	mg/L	0,01	0,01	**
II. CIANOTOXINAS				
Microcistina-LR	mg/L	0,001	0,001	**
III. BIFENILOS POLICLORADOS				
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,0005	0,0005	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS				
Coliformes Totales	NMP/100 ml	50	**	**
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	20	2 000	20 000
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**	**
Escherichia coli	NMP/100 ml	0	**	**
Vibrio cholerae	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Organismos de vida libre (algas, protozoarios, coquepodos, rotíferos, nematodos, en todos sus estadios evolutivos) (f)	N° Organismo/L	0	<5x10 ⁶	<5x10 ⁶

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO₃-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO₃⁻).

(d) En el caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitritos-N ($\text{NO}_2\text{-N}$), multiplicar el resultado por el factor 3.28 para expresarlo en unidades de Nitritos (NO_2^-).

(e) Para el cálculo de los Trihalometanos, se obtiene a partir de la suma de los cocientes de la concentración de cada uno de los parámetros (Bromoformo, Cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano), con respecto a sus estándares de calidad ambiental; que no deberán exceder el valor de 1 de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Cloroformo}}{\text{ECAcloroformo}} + \frac{\text{Cdi bromoclorometano}}{\text{ECAdi bromoclorometano}} + \frac{\text{C bromodichlorometano}}{\text{ECAbromodichlorometano}} + \frac{\text{C bromoformo}}{\text{ECAbromoformo}} \leq 1$$

Dónde:

C= concentración en mg/L y

ECA= Estándar de Calidad Ambiental en mg/L (Se mantiene las concentraciones del Bromoformo, cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano).

(f) Aquellos organismos microscópicos que se presentan en forma unicelular, en colonias, en filamentos o pluricelulares. $\Delta 3$: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 1:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
FÍSICOS- QUÍMICOS			
Aceites y Grasas	mg/L	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022
Cianuro Wad	mg/L	0,06	**
Color	Color verdadero Escala Pt/Co	Sin cambio normal	Sin cambio normal
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)	mg/L	5	10
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	30	50
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,5	Ausencia de espuma persistente
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitratos ($\text{NO}_3\text{-N}$)	mg/L	10	**
Nitritos ($\text{NO}_2\text{-N}$)	mg/L	1	**
Olor	Factor de dilución a 25° C	Aceptable	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,0 a 9,0	**
Sulfuros	mg/L	0,05	**
Turbiedad	UNT	100	**
INORGÁNICOS			
Aluminio	mg/L	0,2	**
Antimonio	mg/L	0,006	**
Arsénico	mg/L	0,01	**
Bario	mg/L	0,7	**

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
Benito	mg/L	0,04	**
Boro	mg/L	0,5	**
Cadmio	mg/L	0,01	**
Cobre	mg/L	2	**
Cromo Total	mg/L	0,05	**
Cromo VI	mg/L	0,05	**
Hierro	mg/L	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	**
Níquel	mg/L	0,02	**
Plata	mg/L	0,01	0,05
Plomo	mg/L	0,01	**
Selenio	mg/L	0,01	**
Uranio	mg/L	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	200	1 000
Escherichia coli	NMP/100 ml	Ausencia	Ausencia
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**
Giardia duodenalis	N° Organismo/L	Ausencia	Ausencia
Enterococos intestinales	NMP/100 ml	200	**
Salmonella spp	Presencia/100 ml	0	0
Vibrio cholerae	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia

Nota 2:

- UNT: Unidad Nefelométrica de Turbiedad.
- NMP/100 ml: Número más probable en 100 ml.
- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales

Parámetros	Unidad de medida	C1	C2	C3	C4
		Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras	Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas
FÍSICOS- QUÍMICOS					
Aceites y Grasas	mg/L	1,0	1,0	2,0	1,0
Cianuro Wad	mg/L	0,004	0,004	**	0,0052
Color (después de filtración simple) (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)	100 (a)	**	100 (a)
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	**	10	10	10
Fósforo Total	mg/L	0,062	0,062	**	0,025
Nitratos (NO ₃) (c)	mg/L	16	16	**	13
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4	≥ 3	≥ 2,5	≥ 5
Potencial de Hidrogeno (pH)	Unidad de pH	7 – 8,5	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5	6,0-9,0
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	80	60	70	**
Sulfuros	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 3
INORGÁNICOS					
Amoníaco Total (NH ₃)	mg/L	**	**	**	(1)
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**
Arsénico	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1
Boro	mg/L	5	5	**	0,75
Cadmio	mg/L	0,01	0,01	**	0,01
Cobre	mg/L	0,0031	0,05	0,05	0,2
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,10
Mercurio	mg/L	0,00094	0,0001	0,0018	0,00077
Níquel	mg/L	0,0082	0,1	0,074	0,052
Piomo	mg/L	0,0061	0,0081	0,03	0,0025
Selenio	mg/L	0,071	0,071	**	0,005
Taño	mg/L	**	**	**	0,0008
Zinc	mg/L	0,081	0,081	0,12	1,0
ORGÁNICO					
Hidrocarburos Totales de Petróleo (fracción aromática)	mg/L	0,007	0,007	0,01	**
Bifenilos Policlorados					
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,00003	0,00003	0,00003	0,000014
ORGANOLÉPTICO					
Hidrocarburos de Petróleo	mg/L	No visible	No visible	No visible	**
MICROBIOLÓGICO					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	≤ 14 (área aprobada) (d)	≤ 30	1 000	200
	NMP/100 ml	≤ 88 (área restringida) (d)			

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO₃-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO₃-).

(d) Área Aprobada: Áreas de donde se extraen o cultivan moluscos bivalvos seguros para el comercio directo y consumo, libres de contaminación fecal humana o animal, de organismos patógenos o cualquier sustancia deletérea o venenosa y potencialmente peligrosa.

Área Restringida: Áreas acuáticas impactadas por un grado de contaminación donde se extraen moluscos bivalvos seguros para consumo humano, luego de ser depurados.

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

Nota 3:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

(1) Aplicar la Tabla N° 1 sobre el estándar de calidad de concentración de Amoníaco Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH₃).

Tabla N° 1: Estándar de calidad de Amoniac Total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH₃)

Temperatura (°C)	pH							
	6	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	10,0
0	231	73,0	23,1	7,32	2,33	0,749	0,250	0,042
5	153	48,3	15,3	4,84	1,54	0,502	0,172	0,034
10	102	32,4	10,3	3,26	1,04	0,343	0,121	0,029
15	69,7	22,0	6,98	2,22	0,715	0,239	0,089	0,026
20	48,0	15,2	4,82	1,54	0,499	0,171	0,067	0,024
25	33,5	10,6	3,37	1,08	0,354	0,125	0,053	0,022
30	23,7	7,50	2,39	0,767	0,266	0,094	0,043	0,021

Nota:

(*)El estándar de calidad de Amoniac total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 6 a 10 y Temperatura de 0 a 30°C. Para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.

(**)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoniac-N (NH₃-N), multiplicar el resultado por el factor 1,22 para expresarlo en las unidades de Amoniac (NH₃).

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICOS-QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(µS/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO ₃ -N) + Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 - 8,5		6,5 - 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	5		5

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobre	mg/L	0,2		0,5
Cobalto	mg/L	0,05		1
Cromo Total	mg/L	0,1		1
Hierro	mg/L	5		**
Litio	mg/L	2,5		2,5
Magnesio	mg/L	**		250
Manganeso	mg/L	0,2		0,2
Mercurio	mg/L	0,001		0,01
Níquel	mg/L	0,2		1
Plomo	mg/L	0,05		0,05
Selenio	mg/L	0,02		0,05
Zinc	mg/L	2		24
ORGÁNICO				
Bifenilos Policlorados				
Bifenilos Policlorados (PCB)	µg/L	0,04		0,045
PLAGUICIDAS				
Paratión	µg/L	35		35
Organoclorados				
Aldrín	µg/L	0,004		0,7
Clordano	µg/L	0,005		7
Dicloro Difeni Tricloroetano (DDT)	µg/L	0,001		30
Dieldrín	µg/L	0,5		0,5
Endosulfán	µg/L	0,01		0,01
Endrín	µg/L	0,004		0,2
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	µg/L	0,01		0,03
Lindano	µg/L	4		4
Carbamato				
Aldicarb	µg/L	1		11
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
Escherichia coli	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helminfos	Huevo/L	1	1	**

(a): Para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b): Después de filtración simple.

(c): Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido.

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

Nota 4:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
FÍSICOS- QUÍMICOS						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	(μ S/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO ₃) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoníaco Total (NH ₄)	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
INORGÁNICOS						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,061	0,061
ORGÁNICOS						
Compuestos Orgánicos Volátiles						
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
BTEX						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Hidrocarburos Aromáticos						
Benzo(a)Pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Bifenilos Policlorados						
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
PLAGUICIDAS						
Organofosforados						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Paratión	mg/L	0,000013	0,000013	0,000013	**	**
Organoclorados						
Aldrín	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	**	**
Clordano	mg/L	0,0000043	0,0000043	0,0000043	0,000004	0,000004
DDT (Suma de 4,4'-DDD y 4,4'-DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Dieldrín	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000019	0,0000019
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000087	0,0000087
Endrín	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,0000023	0,0000023
Heptacloro	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
Heptacloro Epóxido	mg/L	0,000038	0,000038	0,000038	0,000038	0,000038
Lindano	mg/L	0,00095	0,00095	0,00095	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Carbamato						
Aldicarb	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,00015	0,00015
MICROBIOLÓGICO						
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	2 000	1 000	2 000

- (a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).
- (b) Después de la filtración simple.
- (c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N ($\text{NO}_3\text{-N}$), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos ($\text{NO}_3\text{-}$).
- Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 5:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.
- (1) Aplicar la Tabla N° 1 sobre el estándar de calidad de concentración de Amoniac Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH_3) que se encuentra descrita en la Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales.
- (2) Aplicar la Tabla N° 2 sobre Estándar de calidad de Amoniac Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de NH_3).

Tabla N° 2: Estándar de calidad de Amoniac Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de NH_3)

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
Salinidad 10 g/kg								
7,0	41,00	29,00	20,00	14,00	9,40	6,60	4,40	3,10
7,2	26,00	18,00	12,00	8,70	5,90	4,10	2,80	2,00
7,4	17,00	12,00	7,80	5,30	3,70	2,60	1,80	1,20
7,6	10,00	7,20	5,00	3,40	2,40	1,70	1,20	0,84
7,8	6,60	4,70	3,10	2,20	1,50	1,10	0,75	0,53
8,0	4,10	2,90	2,00	1,40	0,97	0,69	0,47	0,34
8,2	2,70	1,80	1,30	0,87	0,62	0,44	0,31	0,23
8,4	1,70	1,20	0,81	0,56	0,41	0,29	0,21	0,16
8,6	1,10	0,75	0,53	0,37	0,27	0,20	0,15	0,11
8,8	0,69	0,50	0,34	0,25	0,18	0,14	0,11	0,08
9,0	0,44	0,31	0,23	0,17	0,13	0,10	0,08	0,07
Salinidad 20 g/kg								
7,0	44,00	30,00	21,00	14,00	9,70	6,60	4,70	3,10
7,2	27,00	19,00	13,00	9,00	6,20	4,40	3,00	2,10
7,4	18,00	12,00	8,10	5,60	4,10	2,70	1,90	1,30
7,6	11,00	7,50	5,30	3,40	2,50	1,70	1,20	0,84
7,8	6,90	4,70	3,40	2,30	1,60	1,10	0,78	0,53
8,0	4,40	3,00	2,10	1,50	1,00	0,72	0,50	0,34
8,2	2,80	1,90	1,30	0,94	0,66	0,47	0,31	0,24
8,4	1,80	1,20	0,84	0,59	0,44	0,30	0,22	0,16
8,6	1,10	0,78	0,56	0,41	0,28	0,20	0,15	0,12
8,8	0,72	0,50	0,37	0,26	0,19	0,14	0,11	0,08
9,0	0,47	0,34	0,24	0,18	0,13	0,10	0,08	0,07
Salinidad 30 g/kg								
7,0	47,00	31,00	22,00	15,00	11,00	7,20	5,00	3,40
7,2	29,00	20,00	14,00	9,70	6,60	4,70	3,10	2,20
7,4	19,00	13,00	8,70	5,90	4,10	2,90	2,00	1,40
7,6	12,00	8,10	5,60	3,70	3,10	1,80	1,30	0,90
7,8	7,50	5,00	3,40	2,40	1,70	1,20	0,81	0,56

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
8,0	4,70	3,10	2,20	1,60	1,10	0,75	0,53	0,37
8,2	3,00	2,10	1,40	1,00	0,69	0,50	0,34	0,25
8,4	1,90	1,30	0,90	0,62	0,44	0,31	0,23	0,17
8,6	1,20	0,84	0,59	0,41	0,30	0,22	0,16	0,12
8,8	0,78	0,53	0,37	0,27	0,20	0,15	0,11	0,09
9,0	0,50	0,34	0,26	0,19	0,14	0,11	0,08	0,07

Notas:

- (*)El estándar de calidad de Amoniac Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 7,0 a 9,0, Temperatura de 0 a 35°C, y Salinidades de 10, 20 y 30 g/kg. Para comparar la Salinidad de las muestras de agua superficial, se deben tomar la salinidad próxima inferior (30, 20 o 10) al valor obtenido en la muestra, ya que la condición más extrema se da a menor salinidad. Asimismo, para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.
- (**)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoniac-N ($\text{NH}_3\text{-N}$), multiplicar el resultado por el factor 1.22 para expresarlo en las unidades de Amoniac (NH_3).

NOTA GENERAL:

- Para el parámetro de Temperatura el símbolo Δ significa variación y se determinará considerando la media histórica de la información disponible en los últimos 05 años como máximo y de 01 año como mínimo, considerando la estacionalidad.
- Los valores de los parámetros están referidos a la concentración máxima, salvo que se precise otra condición.
- Los reportes de laboratorio deberán contemplar como parte de sus informes de Ensayo los Límites de Cuantificación y el Límite de Detección.

1529835-2