

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS
NATURALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE
RECURSOS NATURALES



“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 HUANCVELICA”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIEROS AMBIENTALES Y DE RECURSOS NATURALES

AUTORES:

KATHERINE LISSETE AYZANO A ALCA
JORGE LUIS MENDOZA TANTA

ASESOR:

Dr. MÁXIMO FIDEL BACA NEGLIA

Callao, 2018
PERÚ

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

COMISION DE GRADOS Y TITULOS

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

N° 011-2018-JEDT-FIARN

Siendo las 14:50 horas del día lunes 10 de diciembre de 2018, en el Auditorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales ubicado en la Av. Juan Pablo II 306-Bellavista-Callao; se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada "REMOCIÓN DEL MANGANESO DEL EFLUENTE MINERO METALÚRGICO UTILIZADO EN EL PROCESO DE OXIDACIÓN CON HIPOCLORITO DE CALCIO EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS ACIDAS – UBICADA EN LA REGIÓN HUANCAMELICA" presentada para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales de los Bachilleres Jorge Luis Mendoza Tanta y Katherine-Lissete Ayzanoa Alca.


Contando con la asistencia del Jurado Evaluador y Asesor a fin de dar cumplimiento a la Resolución N° 088-2018-D-FIARN de fecha 04 de diciembre de 2018, los mismos que están integrados por los siguientes docentes:

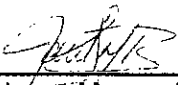
Msc. Carmen Elizabeth Barreto Pío	Presidenta
Lic. Janet Mamani Ramos	Secretaria
Ing. Abner Josué Vigo Roldán	Vocal
Dr. Máximo Fidel Baca Neglia	Asesor

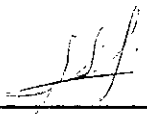
Terminada la exposición y la absolución de las preguntas del Jurado Evaluador, se invita a los Bachilleres y al público en general se retiren del Auditorio para las deliberaciones del caso.

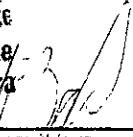
Luego de las deliberaciones el Jurado Evaluador acuerda **APROBAR POR UNANIMIDAD**, no habiendo observación alguna con el Calificativo de **BUENO** y con ello dar por concluido el proceso de Sustentación de Tesis.

En señal de conformidad firman el Jurado Evaluador y Asesor, siendo las 15:45 horas del día 10 de diciembre de 2018.


MsC. Carmen Elizabeth Barreto Pío
Presidenta


Lic. Janet Mamani Ramos
Secretaria



Ing. Abner Josué Vigo Roldán
Vocal

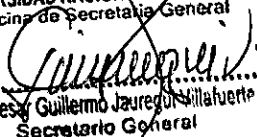

Dr. Máximo Fidel Baca Neglia
Asesor

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
OFICINA DE SECRETARIA GENERAL

EL SECRETARIO GENERAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO que suscribe, CERTIFICA: Que la presente es copia fiel del original. Se expide la presente certificación a solicitud del (a) interesado (a) para los fines que juzgue conveniente.

Calleo, de ENE. 2019 del 20


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
Oficina de Secretaria General


Lic. Cesa Guillermo Jauregui Vilafuerte
Secretario General

DEDICATORIA

A Dios por ser mi guía y fortaleza en cada momento de mi vida y permitirme llegar a este momento de mi vida.

A mis padres por haberme acompañado durante todo mi proyecto estudiantil ya que con sus consejos han sabido guiarme para culminar mi carrera profesional, enseñándome a valorar cada día más la vida enfrentándome a las adversidades para lograr mis objetivos, este triunfo también es de ustedes.

A mis papitos quienes con sus palabras de aliento me impulsaban a seguir adelante, siempre sea perseverante, cumpla con mis ideales y llevarme en sus oraciones porque estoy segura que siempre lo hacen.

A mis hermanos por ser mi fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día más.

A mi familia en general, porque me han brindado su apoyo incondicional en todo momento, que de alguna manera u otra celebran mi éxito.

Katherine Lissete Ayzanoa Alca

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios por darme siempre las fuerzas para continuar en lo adverso, por mantener viva mi fe y bendecir a todos mis seres queridos.

A mis padres por ser mi apoyo incondicional, por acompañarme en cada paso que doy, por cada consejo que me han dado siempre velando por mi bien, por sus orientaciones y recomendaciones, por mostrarme que el amor de una familia es lo más importante, este triunfo también es de ustedes.

A mis hermanos por ayudarme cuando siempre los necesite, a motivarme a seguir adelante y a no descansar en los sueños.

A mi familia por cada consejo compartido y ayuda en todo momento.

A mi tío, siempre recuerdo sus palabras de aliento, fue una persona a quien le debo mucho respeto y la fortaleza que tengo para seguir adelante.

Jorge Luis Mendoza Tanta

AGRADECIMIENTOS

En el presente desarrollo de esta tesis agradecemos a Dios, por haber iluminado nuestro camino, por brindarnos fortaleza y paciencia, permitiéndonos cumplir nuestras metas y objetivos.

A nuestros padres y familiares por el apoyo incondicional que nos brindaron a lo largo de nuestra carrera, así como su comprensión, paciencia y por brindarnos fuerzas para seguir adelante a pesar de todas las adversidades que se cruzaron en nuestro camino.

A la Universidad Nacional del Callao, nuestra alma mater, a todos los profesores, ya que, gracias a sus conocimientos impartidos, han ayudado a nuestra formación académica, profesional y personal.

A nuestro asesor de tesis, Dr. Máximo Fidel Baca Neglia, quien nos orientó y apoyó, con entrega de sus conocimientos, su experiencia y su motivación, generando la culminación del presente trabajo de investigación.

Agradecemos a la empresa CONSULTEA S.A.C., nuestro agradecimiento también al Ing. Rogelio Renán Bendezú Pinto, por la orientación hacia el desarrollo de la presente investigación, dejamos constancia de nuestro sincero sentimiento de gratitud y amistad

ÍNDICE

ÍNDICE	7
TABLA DE CONTENIDO	11
TABLAS	11
RESUMEN.....	13
ABSTRACT	14
INTRODUCCIÓN	15
CAPÍTULO I	16
PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.1. Identificación del Problema.-.....	16
1.2. Formulación del Problema.-	17
1.3. Objetivo de la Investigación	17
1.3.1. Objetivo general	17
1.3.2. Objetivo específico.....	17
1.4. Justificación.-.....	18
CAPÍTULO II	21
MARCO TEÓRICO	21
2.1. Antecedentes del estudio.-	21
2.2. Marco conceptual.-	24
2.2.1. Efluentes industriales en la actividad minera.-.....	24
2.2.2. Manganese.-	25
2.2.3. Métodos de remoción del manganese.-	28
2.2.4. Prueba de Jarras.-	33
2.2.5. Proceso de la planta de tratamiento de aguas ácidas.-.....	33
2.3. Marco Legal.-.....	38
2.3.1. Decreto Supremo N° 010-2010 -MINAM.-.....	38
2.3.2. Decreto Supremo N° 004-2017- MINAM.-.....	38
2.4. Definiciones de términos básicos.-	38

CAPÍTULO III	43
VARIABLE E HIPÓTESIS	43
3.1. Variables de investigación: $y = f(x)$	43
3.2. Operacionalización de variables.-.....	43
3.3. Hipótesis general.-	44
CAPÍTULO IV	45
METODOLOGÍA	45
4.1. Tipo de investigación.-	45
4.2. Diseño de investigación.-.....	45
4.3. Población y muestra.-	47
4.3.1. Población.-	47
4.3.2. Muestra.-	47
4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.-	47
4.5. Procedimiento de recolección de datos.-	48
4.5.1. Caracterización del efluente minero metalúrgico a tratar.-	48
4.5.2. Determinación de la dosis óptima del hipoclorito de calcio mediante pruebas de laboratorio para la remoción del manganeso.-	50
4.5.3. Evaluación de la eficiencia de la PTAA con el proceso de oxidación implementado.-	51
4.5.4. Evaluación del agua tratada proveniente de la PTAA y comparación con los ECA para agua categoría 3 y los LMP.-	56
4.6. Procesamiento estadístico y análisis de datos.-	56
CAPÍTULO V	57
RESULTADOS	57
5.1. Caracterización del efluente minero metalúrgico a tratar.-.....	57
5.2. Determinación de la dosis óptima del hipoclorito de calcio mediante pruebas de laboratorio para la remoción de manganeso.-.....	59
5.3. Evaluación de la eficiencia de la PTAA con el proceso de oxidación implementado.-	60
5.4. Evaluación el agua tratada proveniente de la PTAA y comparación con los ECA para agua categoría 3 y los LMP.-	62
5.4.1. Resultado del análisis del parámetro manganeso.-	64

5.4.2. Resultado del análisis del parámetro arsénico.-.....	65
5.4.3. Resultado del análisis del parámetro cobre.-	65
5.4.4. Resultado del análisis del parámetro hierro.-	66
5.4.5. Resultado del análisis del parámetro plomo.-.....	67
5.4.6. Resultado del análisis del parámetro cadmio.-	68
5.4.7. Resultado del análisis del parámetro zinc.-	69
5.5. Comportamiento del pH durante el tratamiento en la planta de tratamiento de aguas ácidas.-	70
CAPÍTULO VI	72
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	72
6.1. Caracterización del efluente minero metalúrgico a tratar.-.....	72
6.2. Determinación de la dosis optima de hipoclorito de calcio mediante pruebas de laboratorio para la remoción de manganeso.-.....	72
6.3. Evaluación de la eficiencia de la PTAA con el proceso de oxidación implementado.-	73
6.4. Comportamiento del pH durante el tratamiento en la planta de tratamiento de aguas ácidas.-	77
6.5. Evaluación del agua tratada proveniente de la PTAA y comparación con los ECA para agua categoría 3 y los LMP.-	77
6.6. Comparación de resultados con otros estudios similares.-	78
CAPÍTULO VII	82
CONCLUSIONES	82
7.1. Caracterización del efluente minero a tratar.-.....	82
7.2. Determinación de la dosis optima de hipoclorito de calcio mediante pruebas de laboratorio para la remoción de manganeso.-.....	82
7.3. Evaluación de la eficiencia de la PTAA con el proceso de oxidación implementado.-	83
7.4. Evaluación del agua tratada proveniente de la PTAA y comparación con los ECA para agua categoría 3 y los LMP.-	83
CAPÍTULO VIII	85
RECOMENDACIONES	85
8.1. Recomendaciones.-	85
CAPÍTULO IX	87

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
9.1. Referencia Bibliográficas.-	87
CAPÍTULO X	92
APÉNDICE	92
10.1. Galería de imágenes	92
CAPÍTULO XI	102
ANEXOS	102
11.1. Reporte de análisis SPSS	102
11.2. Matriz de consistencia	106
11.3. Informe de ensayo	107
11.4. Certificado de verificación operacional	112
11.5. Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM, Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero Metalúrgicas.	118
11.6. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua.....	122

TABLA DE CONTENIDO

TABLAS

Tabla 2.1: Oxidantes químicos más comunes para la remoción del manganeso .	32
Tabla 3.1: Indicadores de variable dependiente y variable independiente.....	44
Tabla 4.1: Ubicación del punto de muestreo AC-02.....	49
Tabla 4.2: Parámetro y método de ensayo	49
Tabla 4.3: Ubicación del punto de muestreo AC-03.....	56
Tabla 5.1: Caracterización de agua residual industrial antes del tratamiento en la PTAA comparado con el ECA para agua, categoría 3 y el LMP.....	58
Tabla 5.2: Determinación de la dosis óptima de hipoclorito de calcio	59
Tabla 5.3: Remoción del Mn, As, Cu, Fe, Pb, Cd y Zinc en la PTAA	61
Tabla 5.4: Evaluación de la calidad del agua tratada con hipoclorito de calcio de la PTAA comparado con el ECA para agua, categoría 3 y el LMP.....	63
Tabla 5.5: Comportamiento del pH al ingreso y salida de la PTAA.....	71

GRÁFICOS

Gráfico 5.1: Manganeso inicial y final de los (06) seis ensayos realizados.....	60
Gráfico 5.2: Porcentaje de Remoción del Mn, As, Cu, Fe, Pb, Cd, Zn	62
Gráfico 5.3: Comparación del resultado de manganeso con el ECA y LMP.....	64
Gráfico 5.4: Comparación del resultado de arsénico con el ECA y LMP	65
Gráfico 5.5: Comparación del resultado de cobre con el ECA y LMP.....	66
Gráfico 5.6: Comparación del resultado de hierro con el ECA y LMP	67
Gráfico 5.7: Comparación del resultado de plomo con el ECA y LMP	68
Gráfico 5.8: Comparación del resultado de cadmio con el ECA y LMP	69
Gráfico 5.9: Comparación del resultado de zinc con el ECA y LMP	70
Gráfico 5.10: Comportamiento del pH al ingreso y salida de la PTAA	71

FIGURAS

Figura 4.1: Diagrama de algoritmo de investigación.....	46
Figura 10.1: Mapa de puntos de monitoreo	92
Figura 10.2: Toma de muestra de agua, previo al tratamiento en la PTA	92
Figura 10.3: Toma de muestra de agua, posterior al tratamiento en la PTA	93
Figura 10.4: Medición de pH	93
Figura 10.5: Medición de turbiedad	94
Figura 10.6: Ensayo inicial del jar-test	94
Figura 10.7: Aplicación de hipoclorito de calcio	95
Figura 10.8: Ensayo final del jar-test	95
Figura 10.9: Vista frontal de la Planta de Tratamiento de Aguas Ácidas.....	96
Figura 10.10: Vista lateral de la Planta de Tratamiento de Aguas Ácidas	96
Figura 10.11: Tanque de neutralización.....	97
Figura 10.12: Dosificación de hipoclorito de calcio en la PTAA.....	97
Figura 10.13: Tanque de oxidación.....	98
Figura 10.14: Tanque de floculación	98
Figura 10.15: Tanque clarificador para la sedimentación.....	99
Figura 10.16: Agua tratada proveniente de la PTAA.....	99
Figura 10.17: Diagrama de flujo de la planta de tratamiento de aguas ácidas – efluente minero metalúrgico.....	100
Figura 10.18: Plano de la planta de tratamiento de aguas ácidas.....	101

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se evaluó la remoción del manganeso (Mn) presente en el efluente minero generado por una actividad minero metalúrgica, mediante la oxidación con hipoclorito de calcio en una planta de tratamiento de aguas ácidas (PTAA) y adecuarse al cumplimiento de la normativa ambiental.

En tal sentido, el presente estudio tiene como objetivo determinar la remoción del manganeso presente en el efluente minero por oxidación con hipoclorito de calcio, implementado en una PTAA ubicada en la región de Huancavelica. La metodología empleada consistió en la ubicación del punto de toma de muestra del efluente previo al tratamiento, determinando las características de los parámetros establecidos en la normativa ambiental, posteriormente determinar la dosis óptima de hipoclorito de calcio para la remoción del Mn y otros metales pesados, mediante prueba de laboratorio (ensayo jar-test) y su posterior aplicación en la PTAA.

En los resultados obtenidos posterior al ensayo jar-test, nos demuestran que la remoción del manganeso en promedio fue de 99.4%, encontrándose dentro de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, categoría 3. De esta prueba se obtiene la dosis óptima, empleando una dosificación de reactivos de 140 mg/L de hidróxido de calcio, 1.2 mg/L de hipoclorito de calcio y 3 mg/L de floculante aniónico, que coadyuvan a la remoción de los contaminantes. El resultado del análisis del efluente antes del tratamiento en la PTAA fue de: 129.1 mg/L (Mn), mientras que el resultado obtenido posterior al tratamiento del efluente en la PTAA, nos demuestra que el porcentaje de remoción para el Mn fue de 99.9%, (salida 0.015 mg/L), cumpliendo con los ECA categoría 3 y los Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero- metalúrgicas. Por lo cual concluimos que se logró remover el manganeso presente en el efluente minero metalúrgico por oxidación con hipoclorito de calcio implementado en la PTAA, cumpliendo con los ECA y los LMP.

ABSTRACT

This research work covers the problem of the removal of manganese from effluents, generated by a metallurgical mining activity due to calcium hypochlorite oxidation in an acid water treatment plant (PTAA) and to comply with environmental regulations.

In this sense, this research work aims to determine the removal of manganese present in the metallurgical mining effluent by the oxidation with calcium hypochlorite, implemented in a PTAA located in the Huancavelica region. The methodology used consisted of locating the sampling point of the effluent prior to treatment, determining the characteristics of the parameters established in environmental regulations, then determining the optimal dose of calcium hypochlorite for the removal of Mn and other heavy metals, through laboratory testing (jar-test) and its subsequent application in the PTAA.

The results obtained after the jar-test show that the removal of manganese on average was 99.4%, being within the Environmental Quality Standards (ECA) for water, category 3. From this test the optimum dose is obtained, using a dosage of reagents of 140 mg/L of Calcium hydroxide, 1.2 mg/L of Calcium Hypochlorite and 3 mg/L of anionic flocculant, which contribute to the removal of contaminants. The result of the effluent analysis before treatment in the PTAA was: 129.1 mg/L (Mn), while the result obtained after the treatment of the effluent in the PTAA, shows us that the removal percentage for the Mn was 99.9% (exit 0.015 mg/L), complying with ECA category 3 and the Maximum Permissible Limits (MPL) for the discharge of liquid effluents from mining and metallurgical activities.

Therefore, we concluded that the manganese present in the metallurgical mining effluent was removed by oxidation with calcium hypochlorite implemented in the PTAA, complying with the ECA and LMP.

INTRODUCCIÓN

Entre los problemas ambientales que van en aumento en el ámbito nacional del Perú, tenemos a la contaminación de efluentes minero metalúrgicos, generados por las diversas actividades minero metalúrgicas, que generan aguas residuales con altas concentraciones de contaminantes.

Los efluentes mineros metalúrgicos procedentes de la actividad minera poseen altas concentraciones de contaminantes como el manganeso (Mn), arsénico (As), cobre (Cu), hierro (Fe), plomo (Pb), cadmio (Cd), zinc (Zn) entre otros. En la mayoría de casos realizan el vertimiento en los cuerpos receptores, lo cual genera impactos negativos. Ante estos problemas ambientales se promulgaron normativas ambientales para el sector minero y de esta manera regular las descargas de efluentes líquidos provenientes de actividades minero metalúrgicas.

El presente trabajo de investigación tiene como objetivos lo siguiente: caracterizar el efluente minero metalúrgico tratar, determinar la dosis óptima del hipoclorito de calcio mediante pruebas de laboratorio para la remoción del manganeso, evaluar la eficiencia de la PTAA con el proceso de oxidación implementado y evaluar el agua tratada proveniente de la PTAA y comparación con el ECA para agua categoría 3 y los LMP.

Finalmente, la importancia relevante del presente trabajo de investigación, es la viabilidad de la aplicación del hipoclorito de calcio en una PTAA para la remoción del manganeso presente en el efluente minero metalúrgico, obteniéndose un resultado que cumple con la normativa ambiental para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicas.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación del Problema.-

Las actividades minero metalúrgicas es una de las industrias de mayor generación de efluentes industriales con altas concentraciones de contaminantes como el manganeso y otros metales pesados que superan los Límites máximos Permisibles (LMP), considerando también a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua-categoría 3, según el Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM y Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM respectivamente.

La problemática del presente trabajo de investigación es la alta concentración de manganeso y metales pesados que se encuentran presentes en el efluente minero metalúrgico generado por la actividad minera antes que ingresen a la Planta de Tratamiento de Aguas Ácidas (en adelante PTAA) de la unidad minera ubicada en la región de Huancavelica, cabe señalar que el efluente minero metalúrgico tratado tiene que cumplir con los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicas, considerando también los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para agua categoría 3, ya que en los LMP no se encuentra contemplado el parámetro manganeso.

El presente trabajo de investigación permitió conocer la eficiencia de la Planta de Tratamiento de Aguas Ácidas (PTAA) mediante el proceso fisico-químico convencional para el tratamiento del agua ácida que presentan elevados contenidos de manganeso y otros metales pesados, este proceso permitió obtener una mejor

calidad de agua que cumplió con los parámetros que exige la normatividad ambiental para la descarga de aguas residuales industriales tratadas al cuerpo receptor, quebrada Acchilla.

1.2. Formulación del Problema.-

¿Es posible la remoción del manganeso (Mn), presente en el efluente generado por una actividad minero metalúrgica por oxidación con hipoclorito de calcio en una PTAA, ubicada en la región de Huancavelica y adecuarse al cumplimiento de la normativa ambiental?

1.3. Objetivo de la Investigación

1.3.1. Objetivo general

Determinar la remoción del manganeso presente en el efluente minero metalúrgico por oxidación con hipoclorito de calcio implementado en una PTAA ubicada en la región de Huancavelica.

1.3.2. Objetivo específico

- Caracterizar el efluente minero metalúrgico a tratar.
- Determinar la dosis óptima del hipoclorito de calcio mediante pruebas de laboratorio para la remoción de manganeso.
- Evaluar la eficiencia de la PTAA con el proceso de oxidación implementado.
- Evaluar el agua tratada proveniente de la PTAA y comparación con los ECA para agua categoría 3 y los LMP.

1.4. Justificación.-

1.4.1. Justificación legal.-

Según el Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM, se aprueban los Límites Máximos Permisibles (LMP), para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicas. Según lo establecido en el decreto supremo citado, las unidades mineras están en la obligación de implementar un sistema de tratamiento de los efluentes minero metalúrgicos, cuando sus descargas excedan los LMP establecidos por el D.S. N° 010-2010-MINAM.

Mediante Resolución Jefatural N° 224-2013-ANA, establece condiciones para autorizar el vertimiento de aguas residuales tratadas. La Autoridad Nacional del Agua podrá autorizar el vertimiento de aguas residuales tratadas únicamente cuando no se transgredan los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en el cuerpo receptor, mediante Decreto Supremo N°004-2017-MINAM.

Por todo el literal señalado anteriormente, el presente trabajo de investigación es muy significativo, relevante puesto que hace énfasis en dos aspectos que están ligados, la remoción de los metales pesados con el cumplimiento de la normativa ambiental aplicable en materia de calidad de los recursos hídricos.

1.4.2. Justificación ambiental.-

Las actividades minero metalúrgicas es una de las industrias de mayor generación de efluentes industriales con altas concentraciones de contaminantes como el manganeso y otros metales pesados, produciendo impactos ambientales negativos

al medio ambiente, alterando la calidad de cuerpos de agua y el equilibrio en el ecosistema.

En tal sentido se justifica desde el enfoque ambiental, la necesidad de introducir alternativas de tratamiento para remover la concentración de metales pesados presentes en los efluentes minero metalúrgicos, por consiguiente, disminuir el impacto ambiental.

Cabe señalar que según la legislación ambiental vigente todo efluente proveniente de la actividad minera debe ser tratado previo a su descarga de manera directa a cuerpos receptores ya que generaría la contaminación ambiental de los mismos.

Por tal motivo el presente trabajo de investigación, propone la implementación del proceso de oxidación con hipoclorito de calcio en una PTAA que permitió obtener una mejor calidad de agua para su descarga al cuerpo receptor.

1.4.3. Justificación teórica.-

La generación de aguas residuales industriales proveniente de la actividad minero metalúrgica impacta de manera significativa al medio ambiente y transgrediendo los Límites Máximos Permisibles y los Estándares de Calidad Ambiental para agua, los efluentes serán tratados mediante la Planta de Tratamiento de Aguas Ácidas, diseñada especialmente para las condiciones de descarga. El agua residual tratada de la PTAA, cumplirá con la legislación nacional ambiental.

Con el proceso de oxidación con hipoclorito de calcio se removerá de manera eficaz y eficiente el manganeso, basándose en la oxidación del efluente a tratar, siendo este proceso quien cumpla con las especificaciones para la descarga al cuerpo receptor.

1.4.4. Justificación económica.-

Las descargas de aguas residuales industriales a un cuerpo receptor están relacionado a una sanción económica por superar la concentración de los parámetros establecidos en el D.S. N° 004-2017-MINAM y el D.S. N° 010-2010-MINAM. Por lo que el presente estudio de investigación busca determinar el tratamiento que permita disminuir la concentración de los parámetros que excedan los ECA para agua categoría 3 y los LMP, por consiguiente, evitar una sanción legal y económica.

1.4.5. Justificación social.-

El presente trabajo de investigación se justifica por el tratamiento que se realiza al efluente minero metalúrgico mediante una PTAA, obteniendo un agua tratada dentro de los parámetros exigidos en los ECA para Agua categoría 3 y los LMP, ya que el agua resultante de la confluencia entre el vertimiento con el cuerpo receptor, podrían ser aprovechadas para actividades como riego en la agricultura, dando un aporte a las comunidades cercanas a la zona de estudio.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio.-

Para el presente trabajo de investigación se realizó una revisión bibliográfica que permitió el fortalecimiento del mismo. A continuación, se exponen algunos de ellos:

Entre los estudios evaluados podemos citar al trabajo de investigación realizado en la Laguna Azulcocha ubicada en el distrito de San José, departamento de Junín, donde se realizó la caracterización físico-química de la fuente de agua determinándose alta concentración del manganeso, el trabajo de investigación desarrollado cuyo objetivo fue remover el manganeso presente en las aguas de la Laguna Azulcocha mediante la técnica de oxidación-filtración para obtener agua apta para el consumo humano, utilizó como metodología la prueba de jarras para la determinación de la dosis óptima y proceder con la remoción del manganeso mediante el tratamiento oxidación filtración siendo 6 ppm de cal, 2.5 ppm de hipoclorito de calcio y 6 ppm de sulfato de aluminio. Se determinó los resultados obtenidos para este caso de la Laguna Azulcocha que, el sistema de tratamiento oxidación filtración es eficiente porque se logró bajar el valor de 0.6 mg/L a 0.1 mg/L de manganeso en el agua de la laguna Azulcocha (Lazo, 2012).

Otro estudio evaluado se orientó a identificar y caracterizar tres opciones para la remoción de manganeso y hierro a escala piloto y real. Cuyo objetivo es evaluar a escala piloto la remoción del manganeso por oxidación con cloro seguido de filtración en gravas de flujo ascendente en múltiples etapas (FGAME). Las

tecnologías estudiadas corresponden a sistemas de oxidación + filtración. Utilizo como metodología la evaluación de dos plantas piloto y el seguimiento a una planta a escala real. A escala piloto se diseñó y se realizó el montaje de las dos plantas de tratamiento ambas con oxidación con hipoclorito de sodio más la filtración gruesa ascendente en serie en dos y tres etapas (FGAS 2 -3) operando con fuente superficial y subterránea, mientras que a escala real se evaluó una planta con oxidación por aireación más filtración en múltiples etapas (aireación +FIME) operando con agua subterránea. El estudio concluye que el sistema piloto oxidación + FGAS 3 con fuente subterránea obtuvo una eficiencia de remoción de manganeso y hierro con valores del 90% y del 84% respectivamente. Mientras que la planta piloto oxidación + FGAS 2 con fuente superficial registró una remoción más baja, hierro del 58%. La remoción en la planta escala real aireación + FIME fue del 89% en manganeso y del 92% en hierro (Burbano & Sánchez, 2005).

Entre otros estudios encontrados citamos al trabajo de investigación que se desarrolló a escala piloto para estudiar la remoción del manganeso y hierro utilizando como oxidante al cloro, seguido de un sistema de filtración en gravas de flujo ascendente FGA en tres etapas, cuyo objetivo es encontrar la mejor alternativa de tratamiento en los procesos de remoción de hierro y manganeso, mediante una planta piloto con flujo a presión. Cuya planta piloto consta de un aireador, seguido de un tanque de contacto, un clarificador de contacto (gravas) y un filtro rápido. Se precisa que se utilizó como metodología la evaluación hidráulica, eficiencia de los medios filtrantes, tiempo de retención, pérdidas de carga, prueba de jarras y operación de las unidades de tratamiento. Se evaluaron dos configuraciones

diferentes para el clarificador y el filtro rápido, a las velocidades de 3, 6 y 12 m/h. Al realizar los ensayos respectivos los parámetros de Fe, Mn, alcalinidad, fosfatos, nitratos, cloruros, oxígeno disuelto y pH cumplieron con los valores establecidos por el Decreto 1575/2007, para calidad de agua potable. La mejor velocidad de tratamiento encontrada en la investigación fue de 12 m/h, obteniendo remociones de hierro total del 98.3%, hierro disuelto del 100% y de 88.2% para el manganeso (Loayza, 2009).

Otra investigación evaluó la remoción del hierro y el manganeso presente en el agua mediante la filtración del agua a través de la zeolita natural, tipo clinoptilolita recubierta con óxidos de manganeso. En el estudio se evalúan la eficiencia de remoción del hierro y el manganeso por filtración a través de zeolita natural, recubierta con óxidos de manganeso; el efecto de las tasas de operación y la granulometría del material filtrante sobre el rendimiento del proceso, y la dosis del oxidante aplicado para la regeneración del medio filtrante. Se precisa que se obtuvieron como resultados, utilizando esta técnica remociones hasta 96% para el hierro y más de 95% para el manganeso con concentraciones remanentes muy por debajo de las indicadas por la NOM-127-SSA, cabe precisar que al operar a una tasa de $15 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ se obtiene una remoción de 100 % del manganeso y su concentración se reduce a 0 mg/l en el efluente, el hierro se logra reducir a concentraciones menores de 0.2 mg/l, cumpliendo con la NOM-127-SSA para el consumo humano (Petkova, 1997).

2.2. Marco conceptual.-

2.2.1. Efluentes industriales en la actividad minera.-

Los efluentes líquidos más importantes en minería corresponden a drenajes ácidos de mina (DAM), aguas de escorrentía e infiltración que atraviesan la roca mineralizada, relaves provenientes de los procesos de concentración, soluciones gastadas utilizadas en los procesos de lixiviación, extracción por solvente y aguas provenientes del lavado de gases en fundiciones y plantas de ácido. Independiente de la actividad o proceso que genera el efluente, los contaminantes asociados a estos procesos frecuentemente corresponden a metales, sulfatos y otros componentes inorgánicos.

El drenaje ácido de minas (DAM) causa grandes problemas ambientales debido al alto potencial de contaminación de los recursos hídricos superficiales o subterráneos.

Los principales focos productores de DAM (Drenaje Acido de Mina) en las explotaciones mineras son los drenajes de las minas subterráneas, por bombeo en las minas activas y por gravedad en las abandonadas, las escorrentías en la minería a cielo abierto y los lixiviados de las escombreras y residuos mineros.

El drenaje ácido de la mina puede emanar desde diferentes actividades y lugares.

Entre ellos:

- Trabajos en la superficie y subterráneos
- Desechos rocosos (provenientes de la planta chancadora).
- Sitios de acopio de estériles provenientes de la molienda u otro
- Desechos provenientes de embalses de relave, flotación, entre otros.

Los contaminantes inorgánicos que se detectan comúnmente incluyen nitrato, sulfato, cloro, hierro y manganeso, los cuales se pueden originar de muchas fuentes especialmente de las derivadas de la actividad minera (McQuillan et al., 2000).

2.2.2. Manganeso.-

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 (Azís, 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).

En el agua potable pequeñas cantidades de manganeso (≤ 0.2 mg/l) propician la vida de bacterias manganésicas en la red de distribución. En aguas bien oxigenadas no presenta alta concentración pues los compuestos allí existentes (Mn^{+4} , Mn^{+6}) son relativamente poco solubles, las sales de Mn^{+2} si tienen mayor solubilidad comparadas con el Mn^{+4} y Mn^{+6} , pero en medios aireados se oxidan precipitando oxihidróxidos (AWWA, 2002).

• Formas del manganeso presente en el agua.-

El manganeso puede estar en una de las tres formas: Solución (Óxido de manganeso Mn^{+2}), estado coloidal (como turbiedad e hidróxido) y como partículas suspendidas

relativamente gruesas (Mangánico (Mn^{4+}) y formas insolubles (Orgánicas e Inorgánicas), que por atracción iónica se agrupan o por diversos mecanismos de formación) (Lazo, 2012).

- **Toxicología del manganeso.-**

Los problemas más comunes expuestos a niveles altos de manganeso involucran el sistema nervioso. Estos efectos incluyen alteraciones del comportamiento y otros efectos del sistema nervioso, tales como movimientos lentos y faltos de coordinación. Cuando esta combinación de síntomas es severa, la condición se conoce como «manganismo». Otros efectos del sistema nervioso de menor severidad, tal como movimientos lentos de las manos.

Los estudios en niños sugieren que la exposición a niveles extremadamente altos de manganeso puede producir alteraciones en el desarrollo del cerebro, incluso alteraciones del comportamiento y en la capacidad de aprendizaje y la memoria. En algunos casos, se sospecha que estos niveles de exposición causaron síntomas graves de manganismo (incluso dificultad para hablar y caminar). No se sabe con certeza si estos efectos fueron causados exclusivamente por el manganeso. Tampoco se sabe si estas alteraciones son transitorias o permanentes. No se sabe si los niños son más susceptibles que los adultos a los efectos del manganeso, pero hay algunas indicaciones de experimentos en animales de laboratorio que sugieren que sí lo son. (ATSDR, 2016).

- **Efectos ambientales del manganeso en el agua, aire y suelo.-**

Los compuestos del manganeso existen de forma natural en el ambiente como sólidos en suelos y pequeñas partículas en el agua. Las partículas de manganeso en

el aire están presentes en las partículas de polvo, estas usualmente se depositan en la tierra en unos pocos días.

El manganeso que deriva de las fuentes humanas puede también entrar en la superficie del agua, aguas subterráneas y aguas residuales. A través de la aplicación del manganeso como pesticida el manganeso entrará en el suelo.

Para los animales el manganeso es un componente esencial sobre unas 36 enzimas que son usadas para el metabolismo de carbohidratos, proteínas y grasas. Con animales que comen muy poco manganeso interfiere en el crecimiento normal, la formación de huesos y en la reproducción.

Para algunos animales la dosis letal es bastante baja, lo cual significa que tienen pocas posibilidades de supervivencia incluso a pequeñas dosis de manganeso cuando este excede la dosis esencial. El Manganeso puede causar problemas en los pulmones, hígado y vasculares, decremento de la presión sanguínea, fallos en el desarrollo de fetos de animales y daños cerebrales. Cuando el Manganeso es tomado a través de la piel puede causar temblores y fallos en la coordinación. Finalmente, las pruebas de laboratorio con animales han mostrado que diversos envenenamientos con Manganeso deberían incluso ser capaces de causar el desarrollo de tumores en animales.

Concentraciones altamente tóxicas de Manganeso en el suelo pueden causar inflamación de la pared celular, abrasamiento de las hojas y puntos marrones en las hojas (Lazo, 2012).

2.2.3. Métodos de remoción del manganeso.-

Algunas de las opciones para remover el manganeso son el tratamiento in situ, el tratamiento biológico, la oxidación química, la separación física, el intercambio iónico, entre otros (E.P.A., 2006).

En las plantas de tratamiento de aguas remueven, típicamente, el manganeso reducido usando un proceso de oxidación seguido por la floculación, la sedimentación, y/o la filtración de los precipitados que resultan. Los agentes comúnmente usados para la oxidación de Mn (II), en las plantas de tratamiento de agua, son oxígeno, cloro y permanganato de potasio (Knocke, et. Al., 1990).

En cuanto al tratamiento biológico, este aprovecha la capacidad de algunas bacterias para oxidar el elemento. Algunas de estas bacterias son *Sphaerotilus*, *Leptothrix* y *Crenothrix*. Para tener un buen tratamiento se necesitan niveles de oxígeno superiores a 5 mg/L, el pH debe ser mayor a 7.5 y el potencial redox debe encontrarse en un rango entre 300 y 400 mV. Así mismo, para garantizar la supervivencia de las bacterias, el agua a tratar no puede tener sustancias perjudiciales para dichos microorganismos. De tal forma que no puede contener cloro. Por esta razón, es muy importante revisar los niveles de este elemento después del pretratamiento del agua (E.P.A., 2006).

La forma más común de eliminar el manganeso es por medio de la oxidación química y posterior separación física. Así, se transforma el manganeso que se encuentra disuelto en manganeso oxidado, el cual se sedimenta en la columna de

agua. Esto se realiza manipulando el pH y adicionando químicos, como el permanganato de potasio, dióxido de cloro, cloro u ozono (Gantzer, 2009).

A continuación, se detalla los métodos de Remoción del Manganeso:

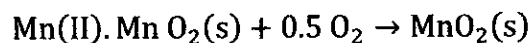
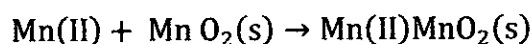
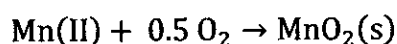
- **Aireación – filtración.-**

El proceso de aireación-filtración se recomienda para agua con alta concentración de hierro (mayor de 5 mg/L) con el fin de disminuir los costos en reactivos. El equipo usado en este proceso incluye comúnmente un aireador, un tanque de retención y filtros. El oxígeno de la atmósfera reacciona con las formas solubles de hierro y manganeso (Fe^{+2} y Mn^{+2}) del agua cruda para producir óxidos relativamente insolubles (Fe^{+3} y Mn^{+4}) de estos elementos. La velocidad de reacción depende del pH de la solución, siendo más rápida a valores de pH altos. Ya que el manganeso tiene una velocidad de oxidación muy lenta, esta técnica no es muy efectiva para la remoción de Mn^{+2} , excepto a valores de pH mayores de 9.5. Para disminuir las concentraciones de manganeso al nivel deseado se requieren frecuentemente un tiempo de reacción y un tratamiento químico adicionales (Sommerfeld., 1999).

Dependiendo de las características del agua cruda puede ser necesario un tiempo de reacción hasta de algunas horas después de la aireación. Si las concentraciones de hierro y manganeso total son altas, algunas veces se usan tanques de sedimentación con dispositivos de colección y remoción de lodos en vez de tanques de retención simples. Las principales desventajas del proceso de aireación-filtración son el costo inicial alto, y el requerimiento de un tiempo de retención y tratamiento químico

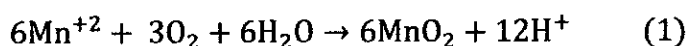
adicionales si la concentración de Mn soluble del agua a tratar es mayor a 1 mg/L (Petkova, 1997).

La secuencia de reacciones que se muestra a continuación ha sido sugerida por (Morgan, 1964) para describir la oxidación de Mn (II) por O₂ (ac):



La remoción de Mn (II) de soluciones que contienen O₂ (ac) no sigue la estequiometría de las ecuaciones anteriores, indicando un modelo autocatalítico. En soluciones ligeramente alcalinas cantidades significativas de Mn (II) son adsorbidas sobre óxidos más altos de manganeso. Los productos de la reacción entre Mn (II) y O₂ molecular son no estequiométricos y varían en grado de oxidación desde MnO_{1.3}(s) a MnO₂(s) (30 a 90% MnO₂).

Para el manganeso y según la ecuación (1), se tiene que 6 moles de manganeso, reaccionan con tres moles de oxígeno, es decir: Para oxidar 1 ppm de manganeso se requiere 0.29 ppm de oxígeno disuelto (Petrusevski, 2003).



- **Oxidación – filtración.-**

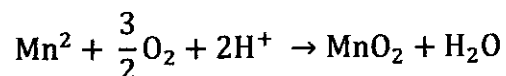
El proceso de oxidación-filtración consiste normalmente de un sistema de dosificación de productos químicos y filtros. Algunas veces se requiere un tanque

de retención y un sistema de ajuste de pH con hidróxido de sodio (NaOH), hidróxido de calcio o cal hidratada Ca (OH)₂ o carbonato de sodio (Na₂CO₃). Como agentes oxidantes pueden usarse gas cloro o hipoclorito. Este proceso opera a pH mayor o igual a 8.4, pero se tienen deficiencias en el proceso de filtración por la formación de precipitados coloidales que pasan a través del filtro (Sommerfeld., 1999).

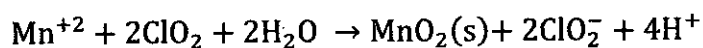
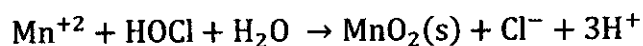
- **Oxidación.-**

La oxidación es el proceso mediante el cual el manganeso pasa de un estado reducido (Mn⁺²) un estado oxidado (MnO₂) (Di Toro, 2001).

El principal agente para realizar este proceso es el oxígeno.



Los procesos de oxidación química son variados y su naturaleza de reacción depende de las sustancias oxidantes empleadas. La oxidación química se divide en sustancias oxidantes como el cloro, ozono, permanganato de potasio y sistemas de aireación como columna de percolación, bandejas de aireación, aireación difusa o de burbujas, aireación de superficie y rociadores. Para definir la importancia en la aplicación del proyecto, se describe a continuación los diferentes procesos de oxidación química (AWWA, 2002).



A continuación, se presentan los oxidantes químicos más comunes usados en el tratamiento de aguas:

Tabla 2.1: Oxidantes químicos más comunes para la remoción del manganeso

Oxidante	Consideraciones
Cloro	<p>Se usa como hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio o gaseoso. El hipoclorito de sodio es usualmente el oxidante más conocido, por su relativo bajo costo y por la facilidad de manipulación. Como oxidante, este químico trabaja con el mismo principio que el ión hipoclorito, OCl^-, formado en la desinfección. La aplicación del cloro se puede realizar con ayuda de una bomba dosificadora o con un hipoclorador de cabeza constante (Carlson, 1998). Inhibe el crecimiento de bacterias del hierro e inicia la oxidación del hierro y el manganeso.</p> <p>De acuerdo con Séller, 2004, el material floculado que se forma (flócs pequeños y débiles) luego de la reacción entre los iones hidróxidos y el cloro, produce cloruro férrico el cual es rápidamente hidrolizado como hidróxido férrico, los cuales pueden ser removidos por filtración. En el caso de los iones de manganeso, la oxidación con el cloro permite la formación de dióxido de manganeso el cual tiene la propiedad de adherirse a la superficie.</p> <p>El hipoclorito sódico e hipoclorito cálcico son bases, ambas, que elevarán el pH del agua. La extensión del cambio de pH dependerá de la alcalinidad del agua (AWWA, 2002).</p>
Oxígeno	<p>Los métodos: cascadas, fuentes, conos aireadores y bandejas de aireación (Tarićska, et.al, 2008).</p>
Permanganato de potasio ($KMnO_4$)	<p>Es un fuerte agente oxidante y tanto sólido como en solución acuosa presenta un color violeta intenso. El permanganato violeta reduce al catión Mn^{+2}, incoloro, en soluciones ácidas. En soluciones neutras, el permanganato sólo se reduce a MnO_2, un precipitado marrón en el cual el manganeso tiene su estado de oxidación Mn^{+4}. En soluciones alcalinas, se reduce a su estado Mn^{+6}, dando K_2MnO_4 (WHO, 2004).</p> <p>Knocke et.al, 1997, recomienda el uso de permanganato de potasio para restablecer la capacidad de absorción de intercambiadores como la arena verde o "Greensand", utilizada en filtros a presión.</p>
Ozono	<p>El interés de las aplicaciones del ozono en el tratamiento del agua es debido tanto a sus características oxidantes y especialmente energéticas, aprovechadas para degradar o eliminar ciertas sustancias orgánicas o minerales no deseables, como a su extremado poder bactericida; sin embargo es costoso y necesita de equipos y requerimiento de personal técnico para su manejo.</p>

2.2.4. Prueba de Jarras.-

La prueba de jarras es un procedimiento común de laboratorio, donde se reproduce a escala de laboratorio las etapas del tratamiento que intervienen en una planta de tratamiento de agua residual industrial.

El ensayo jar – test, consiste en el montaje de (06) seis vasos de laboratorio cuadrado de Phipps & Bird con sus respectivos sistemas de agitación con velocidades regulable y (06) seis agitadores para homogenizar el contenido de los (06) seis vasos, en los que se varían las condiciones de operación analizándose posteriormente los resultados en cada caso, donde se concluye las dosis óptimas para el tratamiento y permita determinar la eficiencia de remoción en la PTAA con el proceso de oxidación implementado.

2.2.5. Proceso de la planta de tratamiento de aguas ácidas.-

Una Planta de tratamiento de aguas ácidas es una secuencia de operaciones o procesos, convenientemente seleccionados con el fin de remover totalmente los contaminantes físico-químicos presente en el efluente minero metalúrgico hasta obtener los parámetros dentro de los Límites Máximos Permisibles estipulado por la norma.

Para el tratamiento del efluente minero, es necesario someter el agua a varios tratamientos en diferentes unidades, que comprenden lo siguiente:

- **Etapa de neutralización.-**

El control de pH de una solución ácida es crítico en casi la totalidad de procesos. Así en la etapa de neutralización es complicado, debido a que exhiben un

comportamiento estructural no lineal. El proceso de neutralización de pH consiste: en un flujo de solución ácida, otro de solución base. Usualmente el objetivo de control es regular el pH de la solución de salida a través de la manipulación del flujo de la solución base (álcali). El flujo de la solución ácida, y el volumen del tanque se asumen constantes.

Cada reactivo tiene sus propias ventajas e inconvenientes. Generalmente el reactivo más económico es la cal apagada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Sin embargo, donde se es necesario precipitar altas concentraciones de Mn^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} la soda cáustica $\text{Na}(\text{OH})$ suele resultar más barata todavía. Donde el espacio disponible para una planta de tratamiento es limitado, se puede usar amoníaco (NH_3) (en forma de gas) (Amachi, et al., 2010).

- **Etapa de oxidación.-**

Los procesos de oxidación química son variados y su naturaleza de reacción depende de las sustancias oxidantes empleadas. La oxidación química se divide en sustancias oxidantes como el cloro, ozono, permanganato de potasio y sistemas de aireación como columna de percolación, bandejas de aireación, aireación difusa o de burbujas, aireación de superficie y rociadores (AWWA, 2002).

La oxidación se utiliza en especies inorgánicas reducidas, como el ión ferroso, $\text{Fe}(\text{II})$, el manganeso, $\text{Mn}(\text{II})$, el sulfuro, compuestos orgánicos y pueden también usarse para destruir compuestos que causan olor, sabor y color al agua. Cuando el hierro y manganeso se encuentren en estado disuelto, puede aplicarse un oxidante para precipitar el mineral en hidróxido férrico, $(\text{OH})_3\text{Fe}(\text{s})$, y dióxido de manganeso, $\text{MnO}_2(\text{s})$ respectivamente (AWWA, 2002).

- **Etapa de floculación.-**

Es la unión entre los flóculos ya formados del proceso de coagulación con el fin de aumentar su volumen y peso de forma que puedan decantar. Consiste en la captación mecánica de las partículas neutralizadas dando lugar a un entramado de sólidos de mayor volumen. De esta forma, se consigue un aumento considerable del tamaño y la densidad de las partículas coaguladas, aumentando por tanto la velocidad de sedimentación de los flóculos.

Básicamente, existen dos mecanismos por los que las partículas entran en contacto:

- Por el propio movimiento de las partículas (difusión browniana). En este caso se habla de Floculación “pericinética” o por convección natural, siendo este mecanismo muy lento.
- Por el movimiento del fluido que contiene a las partículas, que induce a un movimiento de éstas. Esto se consigue mediante agitación de la mezcla. A este mecanismo se le denomina Floculación “ortocinética” o por convección forzada.

Existen además ciertos productos químicos llamados floculantes que ayudan en el proceso de floculación. Un floculante actúa reuniendo las partículas individuales en aglomerados, aumentando la calidad del flóculo (flóculo más pesado y voluminoso).

Hay diversos factores que influyen en la floculación:

- a) Coagulación previa lo más perfecta posible.
- b) Agitación lenta y homogénea (60 RPM – 90 RPM).

La floculación es estimulada por una agitación lenta de la mezcla puesto que así se favorece la unión entre los flóculos.

c) Temperatura del agua.

La influencia principal de la temperatura en la floculación es su efecto sobre el tiempo requerido para una buena formación de flóculos.

Generalmente las temperaturas bajas, dificultan la clarificación del agua, por lo que se requieren periodos de floculación más largos o mayores dosis de floculante.

d) Características del agua.

Un agua que contiene poca turbiedad coloidal, frecuentemente la floculación es más difícil, ya que las partículas sólidas en suspensión actúan como núcleos para la formación inicial de flóculos.

e) Tipos de floculantes Según su naturaleza, los floculantes pueden ser:

- **Minerales:** tenemos la sílice activada. Se le ha considerado como el mejor floculante por su capacidad de asociarse a las sales de aluminio. Se utiliza sobre todo en el tratamiento de agua potable.
- **Orgánicos:** son macromoléculas de cadena larga y alto peso molecular, de origen natural o sintético (polímeros).

Los floculantes orgánicos de origen natural se obtienen a partir de productos naturales como alginatos (extractos de algas), almidones (extractos de granos vegetales) y derivados de la celulosa. Su eficacia es relativamente pequeña (Mangini & Prendes, 2003).

• **Etapas de sedimentación.-**

Se entiende por sedimentación a la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el agua. Estas partículas deberán tener un peso específico mayor que el fluido.

La remoción de partículas en suspensión en el agua puede conseguirse por sedimentación o filtración. De allí que ambos procesos se consideren como complementarios. La sedimentación remueve las partículas más densas, mientras que la filtración remueve aquellas partículas que tienen una densidad muy cercana a la del agua o que han sido resuspendidas y, por lo tanto, no pudieron ser removidas en el proceso anterior.

La sedimentación es, en esencia, un fenómeno netamente físico y constituye uno de los procesos utilizados en el tratamiento del agua para conseguir su clarificación. Está relacionada exclusivamente con las propiedades de caída de las partículas en el agua. Cuando se produce sedimentación de una suspensión de partículas, el resultado final será siempre un fluido clarificado y una suspensión más concentrada. A menudo se utilizan para designar la sedimentación los términos de clarificación y espesamiento. Se habla de clarificación cuando hay un especial interés en el fluido clarificado, y de espesamiento cuando el interés está puesto en la suspensión concentrada.

Las partículas en suspensión sedimentan en diferente forma, dependiendo de las características de las partículas, así como de su concentración. Es así que podemos referirnos a la sedimentación de partículas discretas, sedimentación de partículas floculentas y sedimentación de partículas por caída libre e interferida (Maldonado, 2004).

2.3. Marco Legal.-

2.3.1. Decreto Supremo N° 010-2010 -MINAM.-

Límites Máximos permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas, (véase el anexo N°11.5, pág. 115).

2.3.2. Decreto Supremo N° 004-2017- MINAM.-

Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. Categoría 3: Riego de Vegetales y Bebida de Animales, (véase el anexo N°11.6, pág. 119).

2.4. Definiciones de términos básicos.-

Aguas residuales: Aquellas cuyas características originales han sido modificadas por actividades antropogénicas, tengan que ser vertidas a un cuerpo natural de agua o reusadas y que por sus características de calidad requieren de un tratamiento previo (ANA, 2010).

Aguas residuales industriales: Aguas residuales originadas como consecuencia del desarrollo de un proceso productivo, que incluye las provenientes de la actividad minera, agrícola, pesquera, agroindustrial entre otras (ANA, 2016).

Caudal: volumen de agua que pasa por una sección determinada de un río, canal o tubería en una unidad de tiempo (ANA, 2016).

Coagulación: Proceso en el cual se desestabiliza las partículas en estado iónico mediante la dosificación de una sal inorgánica en base a Fe ó Al (NORMA OS.090, 2006).

Coagulante: Electrolito simple, usualmente sal inorgánica, que contiene un catión multivalente de hierro, aluminio o calcio. Se usa para desestabilizar las partículas coloidales favoreciendo su aglomeración (NORMA OS.090, 2006).

Coloides: Partículas pequeñas de 10 a 1000 angstrom que no sedimentan sino son coaguladas previamente (OPS/CEPIS, 2005).

Contaminación: Distribución de una sustancia química o una mezcla de sustancias en un lugar no deseable (aire, agua, suelo), donde puede ocasionar efectos adversos al ambiente o sobre la salud (MINAM, 2010).

Cuerpo receptor: se refiere al cuerpo natural de agua continental o marino- costero que recibe el vertimiento de aguas residuales tratadas (ANA, 2016).

Efluente: Material de desecho descargado al ambiente, tratado o sin tratar, que se refiere generalmente a la contaminación del agua pero puede utilizarse para referirse a las emisiones de chimeneas u otros materiales de desechos que entran en el ambiente (MINAM, 2010).

Efluente líquido de actividades minero metalúrgica: 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, sintetización, 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 efluente mineros, efluente 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 (MINAM, 2010).

Floculación: Es el proceso por el cual las partículas desestabilizadas y los pequeños sólidos en suspensión son capturados por el hidróxido metálico, formando un flóculo, para facilitar su remoción del agua por medio de los procesos de sedimentación y de filtración (Kawamura, 1996a).

Cuando las partículas pequeñas en un líquido colisionan, se agregan naturalmente para formar otras de mayor tamaño. Conforme éstas sedimentan, alcanzan a las pequeñas que lo hacen a una velocidad más lenta y que se unen al hacer contacto entre sí (Gray, 1996).

Impacto Ambiental: Se refiere a cualquier cambio, modificación o alteración de los elementos del medio ambiente o de las relaciones entre ellos, causada por una o varias acciones (proyecto, actividad o decisión). El sentido del término no involucra ninguna valoración del cambio, la que depende de juicios de valor (MINAM, 2010).

Límites Máximos Permisibles (LMP): medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos que caracterizan a un efluente o una emisión, que corresponde a los niveles de tratamiento de aguas

residuales alcanzables con las mejores técnicas disponibles y económicamente viables. Su determinación corresponde al Ministerio del Ambiente y su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental (ANA, 2016).

Quebrada: hendidura en una montaña cuyo fondo contiene una corriente natural de agua de caudal bajo (ANA, 2016).

Riesgo: Estimación o evaluación matemática de probables pérdidas de vidas, de daños a los bienes materiales, a la propiedad y la economía, para un periodo específico y área conocida, de un evento específico de emergencia. Se evalúa en función del peligro y la vulnerabilidad (MINAM, 2010).

Sedimentación: Proceso de promover las condiciones de reposo en el agua, para remover mediante la fuerza gravitacional, las partículas en suspensión más densas (OPS/CEPIS, 2005).

Sedimentos: Materiales procedentes de la sedimentación (OPS/CEPIS, 2005).

Vertimiento de aguas residuales: Es la descarga de aguas residuales previamente tratadas, en un cuerpo natural de agua continental o marítima. Se excluye las provenientes de naves y artefactos navales (ANA, 2010).

Turbiedad: La turbiedad de las aguas se debe a la presencia de material suspendido y coloidal como arcilla, limo, materia orgánica e inorgánica. La turbiedad es una expresión de la propiedad óptica que hace que los rayos luminosos se dispersen y se absorban, en lugar de que se transmitan sin alteración a través de una muestra (Sierra, 2013).

Vigilancia y monitoreo ambiental: Tiene como fin generar la información que permita orientar la adopción de medidas que aseguren el cumplimiento de los objetivos de la política y normativa ambiental. La Autoridad Ambiental Nacional establece los criterios para el desarrollo de las acciones de vigilancia y monitoreo (MINAM, 2005).

CAPÍTULO III VARIABLE E HIPÓTESIS

3.1. Variables de investigación: $y = f(x)$

- **Variable Independiente, (X):** El hipoclorito de calcio en una PTAA.
- **Variable Dependiente, (Y):** Remoción del Mn^{+2} en el efluente minero metalúrgico.

3.2. Operacionalización de variables.-

Para demostrar y comprobar la hipótesis formulada, fue necesario operacionalizarla mediante sus variables y los indicadores de cada una de ellas, mediante la relación causa-efecto, sometido el efluente minero metalúrgico a su paso por el proceso de oxidación con hipoclorito de calcio en una PTAA, se evaluó la Variable Dependiente, (Y): Remoción del Mn^{+2} en el efluente minero metalúrgico, para lo cual se establecieron sus indicadores:

- Y_1 : Remoción del Manganeseo (Mn)
- Y_2 : Estabilización del pH en el agua tratada

A continuación, en la tabla 3.1 se detalla los indicadores de la variable independiente y variable dependiente:

Tabla 3.1: Indicadores de variable dependiente y variable independiente

Variable	Definición Conceptual	Indicadores
<p>Variable Independiente (X):</p> <p>El hipoclorito de calcio en una PTAA.</p>	<p>Se conceptualiza como la cantidad de reactivo a dosificar durante la remoción de manganeso, siguiendo un proceso de oxidación con hipoclorito de calcio para su posterior precipitación, mejorando así la calidad de las aguas residuales industriales tratadas de la actividad minero metalúrgica.</p>	<p>X₁ : Concentración y Dosificación de Hipoclorito de Calcio</p>
<p>Variable Dependiente (Y):</p> <p>Remoción del Mn⁺² en el efluente minero metalúrgico.</p>	<p>Se conceptualiza como la condición en que se debe encontrar la calidad del agua residual industrial con respecto al parámetro manganeso establecido en los Estándares de Calidad Ambiental para agua, Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM categoría 3.</p>	<p>Y₁: Remoción del Manganeso (Mn). Y₂ : Estabilización del pH en el agua tratada.</p>

Fuente: Elaboración propia

Nota: La investigación respecto a la remoción solo del Mn, se realiza, dado que es este elemento el que se halla en elevadas cantidades en el efluente de las aguas ácidas y su remoción será un indicador que, por analogía, nos permita deducir que los metales pesados también serán removidos de las aguas y que permitirá cumplir con la normatividad ambiental.

3.3. Hipótesis general.-

La aplicación del hipoclorito de calcio en una planta de tratamiento de aguas ácidas reduce la concentración del manganeso presente en el efluente minero metalúrgico.

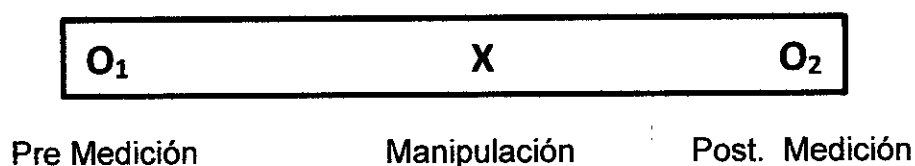
CAPÍTULO IV METODOLOGÍA

4.1. Tipo de investigación.-

Para el presente proyecto de investigación la metodología a desarrollarse fue de tipo experimental, analítico y cuantitativo.

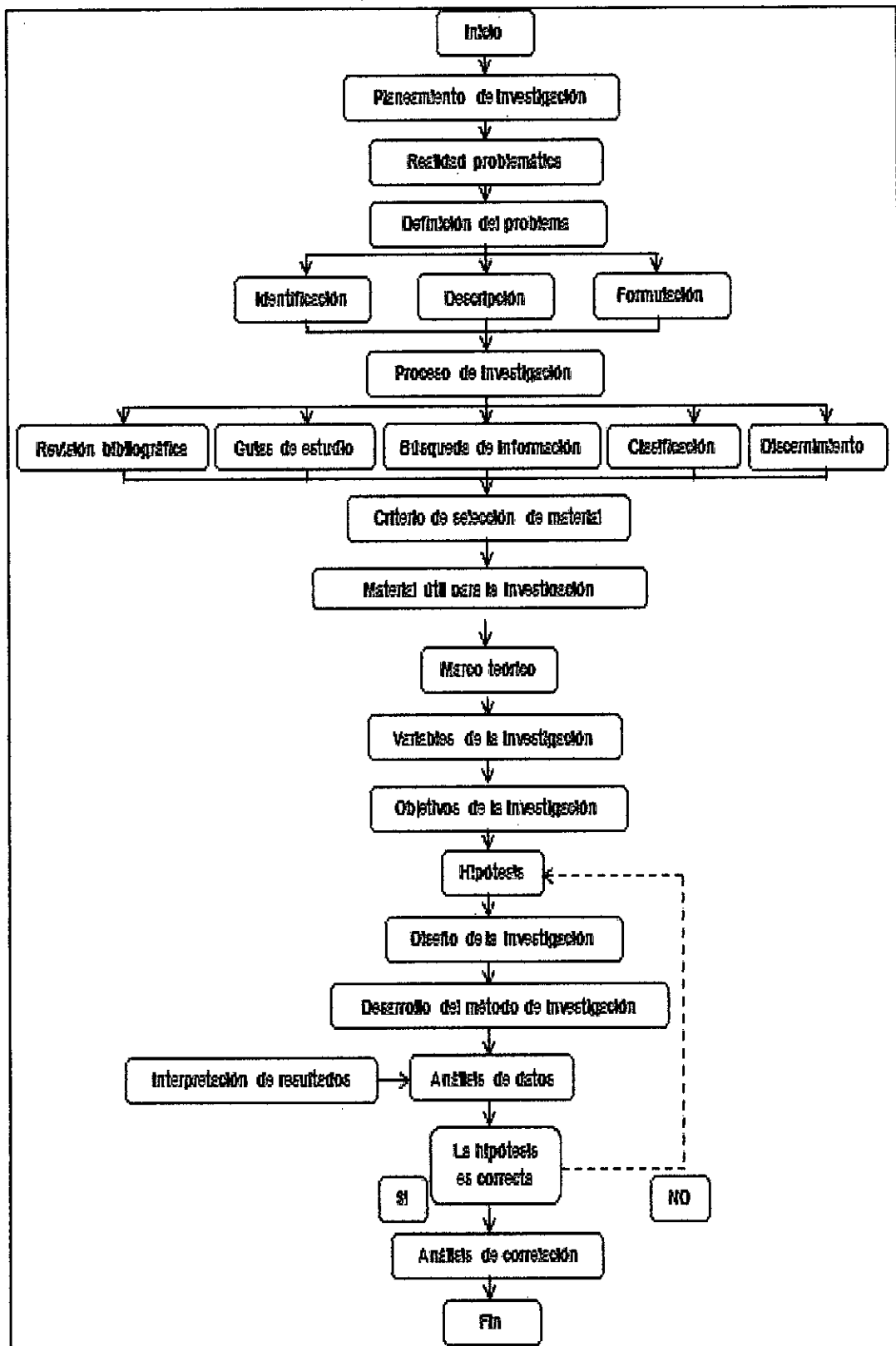
4.2. Diseño de investigación.-

Los pasos para la aplicación de este diseño fueron: aplicación de un pre test (O_1) para la medida de la variable dependiente (y), aplicación del tratamiento o variable independiente (X) y por último aplicación de un post test para la medida de la variable dependiente (O_2).



Cabe señalar que para el presente trabajo de la investigación se desarrolló el siguiente diagrama de algoritmo de investigación, donde se detalla los procedimientos que se realizaron para la elaboración del presente estudio iniciando por el planeamiento de investigación y finalizando por el análisis de correlación.

Figura 4.1: Diagrama de algoritmo de investigación



Fuente: Elaboración propia

4.3. Población y muestra.-

4.3.1. Población.-

La población está comprendida por el agua residual proveniente de la unidad minera.

4.3.2. Muestra.-

La muestra está representada por el agua residual que ingresa a la planta de tratamiento de aguas ácidas (PTAA) con un caudal de 76.88 l/s.

4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.-

Las técnicas e instrumentos de recolección de datos a aplicar en el presente estudio fueron técnicas de laboratorio, técnicas estadísticas e instrumentos de recolección de datos que se detallan a continuación:

4.4.1. Técnicas de laboratorio.-

Para la determinación de los parámetros de calidad de agua se utilizaron los siguientes métodos de ensayo por el laboratorio: EPA 200.7 (1994) y para la determinación de la dosis optima se utilizó la prueba de jarras.

4.4.2. Técnicas estadísticas.-

Para el análisis de datos se empleó el programa Microsoft Excel: para la descripción de las variables se utilizó barras, tablas y gráficos; como también el programa estadístico SPSS donde se utilizó las siguientes medidas descriptivas: medidas de

posición central (media aritmética y mediana), medidas de dispersión (rango, varianza y desviación estándar).

4.4.3. Instrumentos de recolección de datos.-

Materiales: Vasos de laboratorio cuadrado Phipps & Bird, para la adición de las muestras tomadas del afluente; vasos de precipitado de 500 ml, para la extracción de la muestra; fioles de 100 ml, lapicero indeleble y libreta de apunte, para el etiquetado de los vasos y anotaciones pertinentes.

Equipos: Prueba de Jarras o agitador múltiple (Ver Apéndice la Figura 10.6), turbidímetro para medir la turbidez in situ (Ver Apéndice la Figura 10.5), potenciómetro para la medición de pH in situ (Ver Apéndice la Figura 10.4), GPSmap, espectrofotómetro de absorción atómica por plasma acoplado inductivamente (ICP), balanza electrónica, cronómetro.

4.5. Procedimiento de recolección de datos.-

4.5.1. Caracterización del efluente minero metalúrgico a tratar.-

La caracterización del efluente minero metalúrgico se realizó de la siguiente manera:

a. Toma de Muestra.-

Las muestras para la caracterización del efluente se tomaron en el PUNTO 1 (AC-02), (Ver Apéndice la Figura 10.2), desde el cual se analizaron los parámetros Mn, As, Cu, Fe, Pb, Cd, Zn. El punto de muestreo se detalla en la tabla 4.1.

Tabla 4.1: Ubicación del punto de muestreo AC-02

Punto de muestra	Descripción	Coordenadas de ubicación UTM (WGS 84, Zona 18)	
		Norte	Este
AGUA CRUDA ANTES DEL TRATAMIENTO			
PUNTO 1: (AC-02)	Afluente minero metalúrgico antes del tratamiento en la PTAA	8571723.49	522250.41

Fuente: Elaboración propia

b. Caracterización del efluente minero metalúrgico.-

Las muestras fueron recolectadas según los lineamientos de la Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA, para luego ser trasladadas a un laboratorio acreditado. Posterior a la emisión del informe de ensayo se procedió a la respectiva caracterización del efluente de ingreso de la PTAA según el método de ensayo a fin de determinar el grado de contaminación que tiene el efluente minero metalúrgico.

Los métodos de ensayo utilizados por el laboratorio contratado se encuentran definidos en el informe de ensayo correspondiente (véase anexo N° 11.3, pág. 110), los mismos que están listados en la tabla 4.2.

Tabla 4.2: Parámetro y método de ensayo

Parámetros	Método	Unidad
Metales Totales (ICP)	EPA 200.7 (1994)	mg/L

Fuente: Elaboración propia (Datos extraídos del informe de ensayo del Laboratorio J.RAMON DEL PERÚ S.A.C.)

4.5.2. Determinación de la dosis óptima del hipoclorito de calcio mediante pruebas de laboratorio para la remoción del manganeso.-

Para definir la cantidad del reactivo de hipoclorito de calcio a dosificar durante la remoción del manganeso se consideró el ensayo jar – test con muestras tomadas del efluente minero metalúrgico a escala de laboratorio para obtener la dosificación óptima de hipoclorito de calcio.

Para iniciar los ensayos en el laboratorio se procedió a preparar el equipo de prueba de jarras o agitador múltiple, que consta de (06) seis vasos de laboratorio cuadrado de Phipps & Bird de (02) litros de capacidad, cuenta con un sifón que permite extraer la muestra sin alterar la floculación en el fondo del vaso de precipitado. Posteriormente se recolectaron muestras del efluente minero metalúrgico producto de las actividades minero metalúrgicas para la medición de las condiciones iniciales de efluente (muestra). Una vez en el laboratorio se homogeniza la muestra del efluente y se determinan los parámetros como pH, turbiedad y manganeso.

Posteriormente a los (06) seis vasos de laboratorio se añadió 1 litro de muestra, simultáneamente se añadió una dosificación de 140 ppm de hidróxido de calcio al 10 % para el proceso de neutralización.

Luego al primer vaso se le añadió 0.8 mg/L, al segundo 1 mg/L, al tercero 1.2 mg/L, al cuarto 1.4 mg/L, al quinto 1.6 mg/L y al sexto 1.8 mg/L de hipoclorito de calcio al 0.1 %, para el proceso de oxidación.

Posterior a la dosificación de las diferentes dosis de hipoclorito de calcio en las (06) seis jarras, se procedió a añadir una misma dosificación de 3 ppm de floculante aniónico al 0.1%.

Cabe precisar que la primera mezcla rápida (100 RPM) tuvo una duración de (01) un minuto donde se añadió el hidróxido de calcio para producir la neutralización del agua ácida, la segunda mezcla rápida (100RPM) se realizó durante un periodo de (01) un minuto añadiendo el hipoclorito de calcio para producir la oxidación de los cationes metálicos. Posteriormente se realizó la mezcla lenta (70 RPM) para generar el proceso de floculación añadiendo un floculante aniónico (Praestrol 2530).

Consecutivamente se procedió a apagar el equipo para detener la agitación y generar el proceso de sedimentación de las partículas floculadas durante (50) cincuenta minutos, donde se observó la consistencia y apariencia del flocs generado.

Seguidamente se procedió a tomar muestras de 100 ml de cada vaso, para realizar las mediciones correspondientes de cada parámetro evaluado (pH, turbiedad, Mn). Finalmente se determinó las dosis óptimas del alcalinizante, oxidante y floculante, para la remoción del manganeso y otros metales pesados que se encuentren dentro de los Estándares de Calidad de Agua (ECA) para agua categoría 3 y los Límites Máximos Permisibles.

4.5.3. Evaluación de la eficiencia de la PTAA con el proceso de oxidación implementado.-

- **Evaluación de la eficiencia.-**

Respecto a la evaluación de la eficiencia se consideró los resultados obtenidos de la caracterización del efluente antes del tratamiento en el punto AC-02 y posterior

al tratamiento en el punto AC-03. Estas concentraciones serán utilizadas en la siguiente fórmula:

$$E = \left(\frac{S_0 - S}{S_0} \right) \times 100, \text{ Porcentaje}$$

S_0 = Concentración antes del tratamiento.

S = Concentración después del tratamiento.

• **Descripción y procesos de la PTAA.-**

La PTAA (Ver Apéndice la Figura 10.18), está implementada con (01) un reactor para el proceso de neutralización, (01) un reactor para el proceso de oxidación, (01) un reactor para el proceso de floculación y (01) un clarificador para la sedimentación/clarificador.

Cabe precisar que la PTAA contiene estructuras mecánicas e hidráulicas en lo que se refiere exclusivamente al tratamiento físico químico del agua. Las estructuras hidráulicas están dirigidas a la captación de aguas residuales industriales y las estructuras mecánicas se encuentran en los procesos de neutralización, oxidación, floculación y sedimentación, asimismo estas estructuras se encuentran en la preparación de los reactivos químicos.

La PTAA está constituida de los siguientes equipos:

- Un (01) reactor para la neutralización de 10'x10'.
- Un (01) reactor para la oxidación de 10'x10'
- Un (01) reactor para la floculación de 8'x8'
- Un (01) clarificador para la sedimentación/clarificador

- Un (01) canal de ingreso de agua cruda a la PTAA
- Una (01) tolva de depósito de cal.
- Una (01) faja transportadora de cal.
- Un (01) ducto para transporte de cal.
- Un (01) molino de trituración de cal.
- Una (01) bomba vertical de agua.
- Un (01) tanque de preparación de lechada de cal de 8'x8'.
- Una (01) compresora para inyección de aire.
- Un (01) tanque de preparación de floculante de 6'x 6'.
- Un (01) tanque de dosificación de floculante de 5'x 5'.
- Un (01) canal de agua tratada.
- Dos (02) Bombas Worthington de 34 l/s.

A continuación, se detalla el procedimiento operacional de la Planta de Tratamiento de Aguas Ácidas (PTAA):

a. Proceso I: neutralización.-

El agua proveniente de las actividades minero metalúrgica es conducida por un canal de 0.60 x 0.30, (estructura de base de concreto ciclópeo de $f_c = 175 \text{ Kg. /cm}^2$) hacia un (01) tanque reactor para el proceso de neutralización que tiene las siguientes dimensiones 10' x 10', en este tanque se produce la neutralización del agua ácida utilizando hidróxido de calcio al 10 % con una dosificación aproximada de 140 ppm.

La preparación de lechada de cal se inicia con la disposición de la cal sólida en una tolva de capacidad de 14 toneladas, esta alimenta a una faja transportadora para

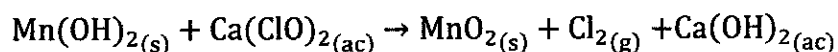
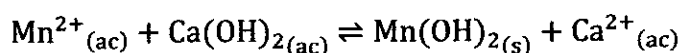
luego ser derivada a un molino de trituración de cal, la pulpa de cal es impulsada mediante una bomba vertical hacia el tanque de preparación de lechada de cal con las siguientes dimensiones: 8' x 8'.

b. Proceso II: oxidación.-

El agua proveniente del proceso de neutralización será derivada mediante una (01) tubería de polietileno hacia un (01) tanque reactor para el proceso de oxidación que tiene una dimensión de 10'x10', en este tanque se produce la oxidación del agua proveniente del proceso de neutralización, utilizando el reactivo hipoclorito de calcio al 0.1% con una dosificación de 1.2 ppm, este reactivo es inoculado mediante una bomba de desplazamiento positivo hacia el tanque de oxidación.

En esta etapa el Mn^{+2} es oxidado a Mn^{+4} , el cual forma un compuesto insoluble (MnO_2), fácilmente separable por procesos fisicoquímicos, además, se produce la oxidación de los demás metales pesados (As, Cu, Fe, Pb, Cd, Zn), la mezcla se produce por los deflectores instalados en la parte interna del tanque (rompeolas).

A continuación se presenta las reacciones para el manganeso:



Cabe señalar que la dosificación de hipoclorito de calcio, que es un agente oxidante, termina por oxidar cualquier especie metálica que, debido a su estado de oxidación, no pudo formarse el compuesto hidróxido correspondiente al agregar la lechada de cal al inicio.

c. Proceso III: floculación.-

Posterior al proceso de oxidación el agua es conducida hacia el tanque de floculación de 8' x 8', la floculación se produce con una dosificación de 3 ppm de floculante aniónico al 0.1% (Praestrol 2530) y con una agitación mecánica de 70 RPM.

La preparación del floculante aniónico se realiza en un tanque de 6' x 6' (tanque de cabeza), el floculante preparado es derivado hacia otro tanque reactor de 5' x 5' (tanque de dosificación), el floculante preparado en este tanque es dosificado hacia el tanque de floculación.

d. Proceso IV: clarificación.-

El rebose de agua proveniente del floculador será derivado hacia un (01) tanque clarificador para producir la sedimentación/clarificación (separación sólidos/líquidos) del agua tratada, este componente genera dos productos los cuales son el agua clarificada y los lodos (flocs sedimentados).

Una fracción de los lodos generados son recirculados hacia los tanques de neutralización para coadyuvar a la floculación y generar así lodos de alta densidad (>1.2 g/ml) en el sedimentador, el lodo restante es evacuado a un lecho de secado para su disposición final.

El agua clarificada será derivada hacia el vertimiento AC-03 para su disposición final en la quebrada Acchilla, cumpliendo con los parámetros exigidos por la normativa ambiental.

4.5.4. Evaluación del agua tratada proveniente de la PTAA y comparación con los ECA para agua categoría 3 y los LMP.-

Para la evaluación del agua tratada en la planta de tratamiento de aguas ácidas se realizó la toma después de la aplicación de la dosis óptima y se tomó la muestra en el punto AC-03 (Efluente minero metalúrgico posterior al tratamiento en la PTAA). (Ver Apéndice la Figura 10.3)

Tabla 4.3: Ubicación del punto de muestreo AC-03

Punto de muestra	Descripción	Coordenadas de ubicación UTM (WGS 84, Zona 18)	
		Norte	Este
AGUA DESPUES DEL TRATAMIENTO			
PUNTO 2: (AC-03)	Efluente minero metalúrgico posterior al tratamiento en la PTAA	8'571,781.00	522,319.00

Fuente: Elaboración propia

Luego la toma de muestras, fueron derivadas al laboratorio J. RAMON DEL PERÚ S.A.C., para la determinación de concentraciones de manganeso y otros metales pesados.

4.6. Procesamiento estadístico y análisis de datos.-

Para el procesamiento estadístico se usó el programa Excel con fines didácticos en la caracterización de los parámetros, efectuándose gráficos, los cuales nos permitieron representar los datos obtenidos. Para el análisis de datos, se procedió a interpretar y comparar con los parámetros establecidos en los Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas y el Estándar de Calidad Ambiental para agua, categoría 3.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

5.1. Caracterización del efluente minero metalúrgico a tratar.-

Para la caracterización inicial del agua que ingresa a la PTAA se presenta los resultados del análisis de muestra de agua que se colectaron en el punto de muestreo AC-02 (afluente minero metalúrgico antes del tratamiento en la PTAA), donde se detectaron altas concentraciones de contaminantes.

A continuación, en la tabla 5.1 se muestra los resultados del análisis del efluente minero metalúrgico que ingresa a la planta de tratamiento de aguas ácidas (PTAA); obteniéndose como resultado inicial para el parámetro manganeso (ingreso 129.1 mg/L), arsénico (ingreso 2.243 mg/L), cobre (ingreso 5.714 mg/L), hierro (ingreso 272.2 mg/L), plomo (ingreso 0.588 mg/L), cadmio (ingreso 0.1666 mg/L), zinc (ingreso 32.19 mg/L); estos resultados obtenidos son comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua categoría 3 (Según el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM) y los Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero - metalúrgicas (Según el Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM).

Tabla 5.1: Caracterización de agua residual industrial antes del tratamiento en la PTAA comparado con el ECA para agua, categoría 3 y el LMP.

Código del punto de control	Parámetro	Unidad	Resultado	ECA para agua, categoría 3		LMP
				Regadío de Vegetales de Tallo Bajo y Alto	Bebida de Animales	
AC-02	Fecha de muestreo	-	Jun-14	-	-	-
	PARÁMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS					
	pH	Unidad de pH	3.3	6.5 - 8.5	6.5 - 8.4	6 - 9
	PARÁMETROS INORGÁNICOS					
	Aluminio	mg/L	23.35	5	5	-
	Arsénico	mg/L	2.243	0.1	0.2	0.1
	Bario	mg/L	0.0963	0.7	-	-
	Berilio	mg/L	0.0174	0.1	0.1	-
	Boro	mg/L	1.213	1	5	-
	Cadmio	mg/L	0.1666	0.01	0.05	0.05
	Cobalto	mg/L	0.1574	0.05	1	-
	Cobre	mg/L	5.714	0.2	0.5	0.5
	Cromo	mg/L	0.0131	0.1	1	-
	Hierro disuelto	mg/L	198.2	-	-	2
	Hierro total	mg/L	272.2	5	-	-
	Litio	mg/L	0.339	2.5	2.5	-
	Magnesio	mg/L	>50.0	-	250	-
	Manganeso	mg/L	129.1	0.2	0.2	-
	Níquel	mg/L	0.2271	0.2	1	-
	Plomo	mg/L	0.588	0.05	0.05	0.2
Selenio	mg/L	<0.01	0.02	0.05	-	
Zinc	mg/L	32.19	2	24	1.5	

PUNTO 1: (AC-02): Efluente minero metalúrgico antes del tratamiento en la PTAA.

Parámetro que excede el ECA para agua categoría 3 y/o el LMP.

Fuente: Datos extraídos del informe de ensayo N° MA 14060722-Lab. J.RAMÓN.

5.2. Determinación de la dosis óptima del hipoclorito de calcio mediante pruebas de laboratorio para la remoción de manganeso.-

En base a los resultados obtenidos en los ensayos de Jar-Test donde se añadió (06) seis diferentes dosis de hipoclorito de calcio (0.8 mg/L, 1 mg/L, 1.2 mg/L, 1.4 mg/L, 1.6 mg/L; 1.8 mg/L), se determinó como dosis optima de hipoclorito de calcio (1.2 mg/L), los resultados muestran la reducción de concentración del manganeso, obteniendo como porcentaje de remoción de 99.93%. (Ver Apéndice la Figura 10.7) Cabe señalar que se procedió a la aplicación de la dosis óptima de 1.2 mg/L hipoclorito de calcio para la remoción del manganeso en el proceso de oxidación en la PTAA, para un caudal de ingreso de 76.88l/s. (Ver Apéndice la Figura 10.12). A continuación, en la tabla 5.2 se presenta los resultados para la determinación de la dosis óptima.

Tabla 5.2: Determinación de la dosis optima de hipoclorito de calcio

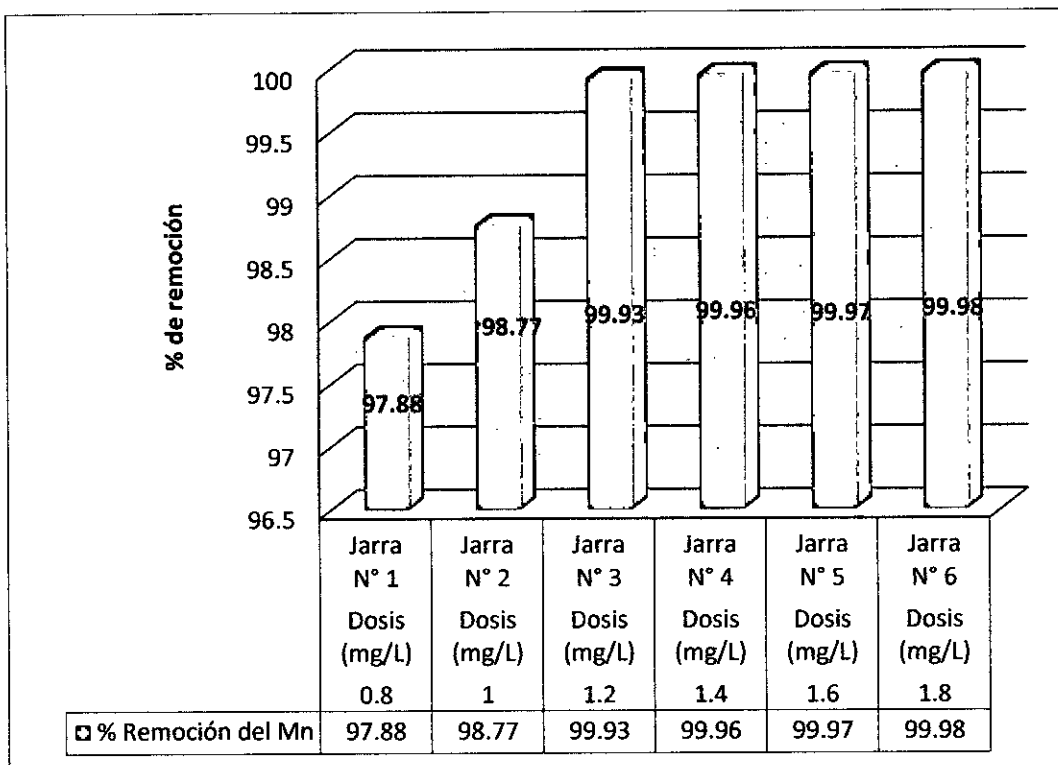
Determinación de dosificación de hipoclorito de calcio												
N° Jarra	Agua sin tratamiento			Tratamiento						Agua tratada		
	Turbidez de salida (NTU)	pH	Parámetro Inorgánico (mg/L)	Dosis Lechada Cal al 10%		Dosis de Hipoclorito de calcio al 0.1%		Dosis Flóculante al 0.1%		Turbidez de salida (NTU)	pH	Parámetro Inorgánico (mg/L)
			Mn total	Dosis(mg/L)	Solución (ml)	Dosis(mg/L)	Solución (ml)	Dosis (mg/L)	Solución (ml)			Mn total
1	90	3.9	128.6	140	1.3	0.8	0.8	3	3	1.78	8.15	2.72
2	90	3.9	128.6	140	1.3	1	1	3	3	0.84	8.27	1.57
3	90	3.9	128.6	140	1.3	1.2	1.2	3	3	0.3	8.29	0.09
4	90	3.9	128.6	140	1.3	1.4	1.4	3	3	0.76	8.32	0.05
5	90	3.9	128.6	140	1.3	1.6	1.6	3	3	1.82	8.35	0.04
6	90	3.9	128.6	140	1.3	1.8	1.8	3	3	2.18	8.37	0.02
Método	-	-	AA*	-	-	-	-	-	-	-	-	AA*

Fuente: Elaboración propia

AA*: Absorción Atómica

: Dosificación indicada de hipoclorito de calcio

Gráfico 5.1: Manganeso inicial y final de los (06) seis ensayos realizados



Fuente: Elaboración propia

5.3. Evaluación de la eficiencia de la PTAA con el proceso de oxidación implementado.-

A continuación, se presenta los porcentajes de remoción de las dosis óptimas aplicadas en la PTAA para la remoción de los parámetros como manganeso, arsénico, cobre y hierro, mediante la aplicación de los reactivos como el hipoclorito de calcio, lechada de cal y floculante usados en la PTAA.

Tabla 5.3: Remoción del Mn, As, Cu, Fe, Pb, Cd y Zinc en la PTAA

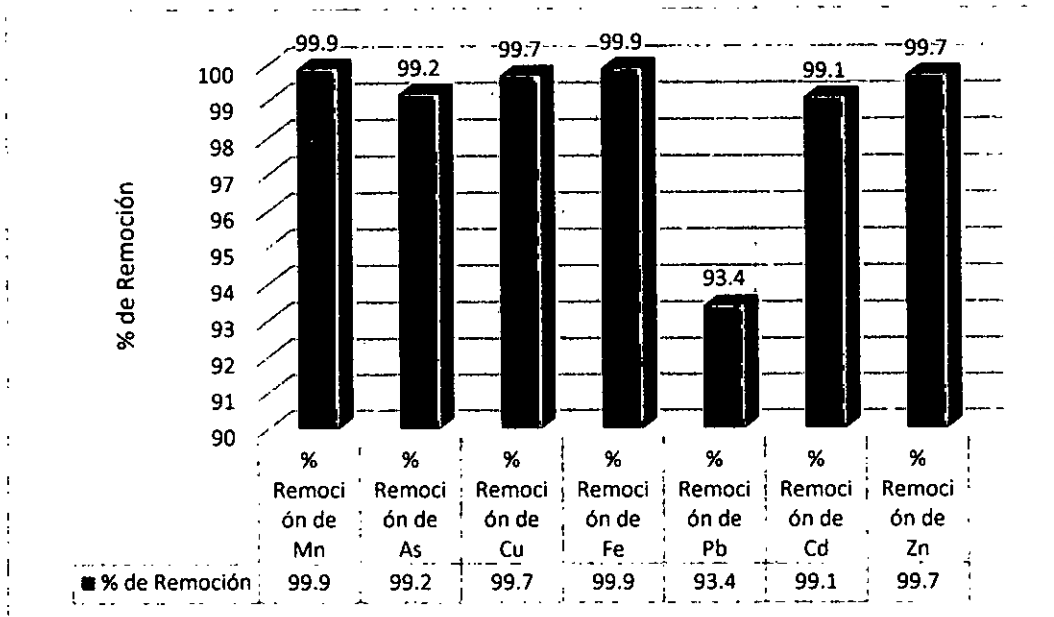
Parámetros	Unidad de medida	Ingreso PTAA	Salida PTAA	% de Remoción
		AC-02	AC-03	
Manganeso	mg/L	129.1	0.015	99.90%
Arsénico	mg/L	2.243	0.0172	99.20%
Cobre	mg/L	5.714	0.016	99.70%
Hierro	mg/L	272.2	0.0301	99.90%
Plomo	mg/L	0.588	0.039	93.40%
Cadmio	mg/L	0.1666	0.0015	99.10%
Zinc	mg/L	32.19	0.076	99.70%

Fuente: Datos extraídos del informe de ensayo N° MA 14060722–Lab. J.RAMÓN.

En la tabla 5.3 se observa los resultados obtenidos posterior al tratamiento del efluente en la PTAA, donde nos muestra el porcentaje de remoción para el manganeso de 99.9% (salida 0.015 mg/l), arsénico 99.2% (salida 0.0172 mg/l), cobre 99.7% (salida 0.0160 mg/l), hierro 99.9% (salida 0.0301 mg/l), plomo 93.4% (salida 0.039 mg/l), cadmio 99.1% (salida 0.0015 mg/l), zinc 99.7% (salida 0.0760 mg/L), cumpliendo con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua categoría 3, D.S. N° 004-2017-MINAM y los Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicas D.S. N° 010-2010-MINAM.

A continuación en forma gráfica se muestra el porcentaje de remoción del manganeso, arsénico, cobre, hierro, plomo, cadmio y zinc.

Gráfico 5.2: Porcentaje de Remoción del Mn, As, Cu, Fe, Pb, Cd, Zn



Fuente: Elaboración propia

5.4. Evaluación el agua tratada proveniente de la PTAA y comparación con los ECA para agua categoría 3 y los LMP.-

Para la evaluación del agua tratada proveniente de la PTAA, se presenta los resultados del análisis de muestra que se colectaron en el punto de muestreo AC-03 (Efluente minero metalúrgico posterior al tratamiento en la PTAA), comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, categoría 3 y los Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicas.

Tabla 5.4: Evaluación de la calidad del agua tratada con hipoclorito de calcio de la PTAA comparado con el ECA para agua, categoría 3 y el LMP

Código del punto de control	Parámetros	Unidad	Resultado	ECA para agua, categoría 3		LMP
				Regadío de Vegetales de Tallo Bajo y Alto	Bebida de Animales	
AC-03	Fecha de muestreo	-	Jun-14	-	-	-
	PARÁMETROS FÍSICOS – QUÍMICOS					
	pH	Unidad de pH	8.44	6.5 - 8.5	6.5 - 8.4	6 - 9
	PARÁMETROS INORGÁNICOS					
	Aluminio	mg/L	0.1035	5	5	-
	Arsénico	mg/L	0.0172	0.1	0.2	0.1
	Bario	mg/L	0.0253	0.7	-	-
	Berilio	mg/L	<0.0003	0.1	0.1	-
	Boro	mg/L	0.1741	1	5	-
	Cadmio	mg/L	<0.0015	0.01	0.05	0.05
	Cobalto	mg/L	<0.0028	0.05	1	-
	Cobre	mg/L	0.0160	0.2	0.5	0.5
	Cromo	mg/L	<0.0016	0.1	1	-
	Hierro disuelto	mg/L	0.0262	-	-	2
	Hierro total	mg/L	0.0301	5	-	-
	Litio	mg/L	0.258	2.5	2.5	-
	Magnesio	mg/L	0.0343	-	250	-
	Manganeso	mg/L	0.015	0.2	0.2	-
	Níquel	mg/L	<0.0046	0.2	1	-
	Plomo	mg/L	0.039	0.05	0.05	0.2
Selenio	mg/L	<0.01	0.02	0.05	-	
Zinc	mg/L	0.0760	2	24	1.5	

PUNTO 2: (AC-03): Efluente minero metalúrgico después del tratamiento en la PTAA.

Fuente: Datos extraídos del informe de ensayo N° MA 14060722-Lab. J.RAMÓN.

Según la tabla 5.9, se puede observar que el análisis de la calidad del agua tratada proveniente de la Planta de Tratamiento de Aguas Ácidas en el punto de muestreo AC-03 cumple con todos los parámetros establecidos en los ECA para agua

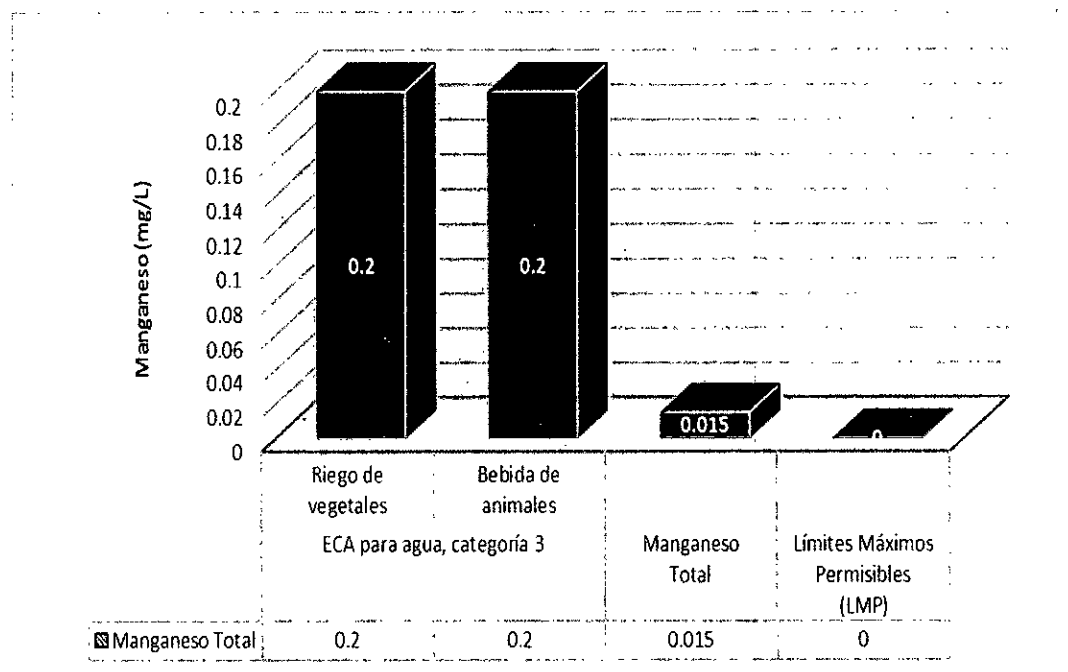
categoría 3 y así mismo cumple con los parámetros establecidos en los LMP para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicas.

A continuación, se presenta de forma gráfica el cumplimiento de los parámetros establecidos en el ECA para agua, categoría 3 y los LMP.

5.4.1. Resultado del análisis del parámetro manganeso.-

En el punto de muestreo PUNTO 2: (AC-03) se obtuvo como resultado de análisis del parámetro manganeso un equivalente a 0.015 mg/L, el cual cumple con el valor establecido en el D.S. N° 004-2017-MINAM Categoría 3.

Gráfico 5.3: Comparación del resultado de manganeso con el ECA y LMP

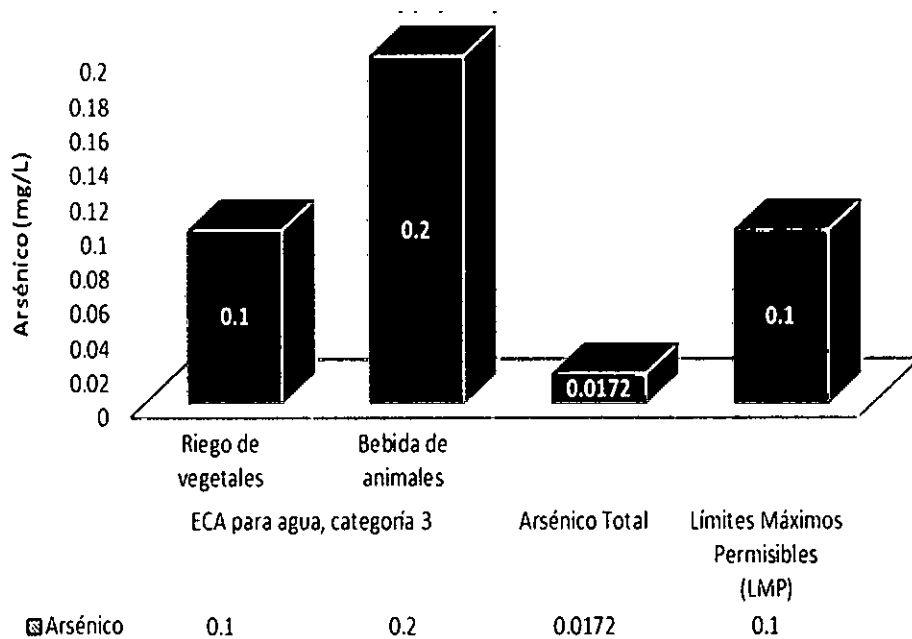


Fuente: Elaboración propia

5.4.2. Resultado del análisis del parámetro arsénico.-

En el punto de muestreo PUNTO 2: (AC-03) se obtuvo como resultado de análisis del parámetro arsénico un equivalente a 0.0172 mg/L, el cual cumple con el valor establecido en el D.S. N° 004-2017-MINAM Categoría 3.

Gráfico 5.4: Comparación del resultado de arsénico con el ECA y LMP

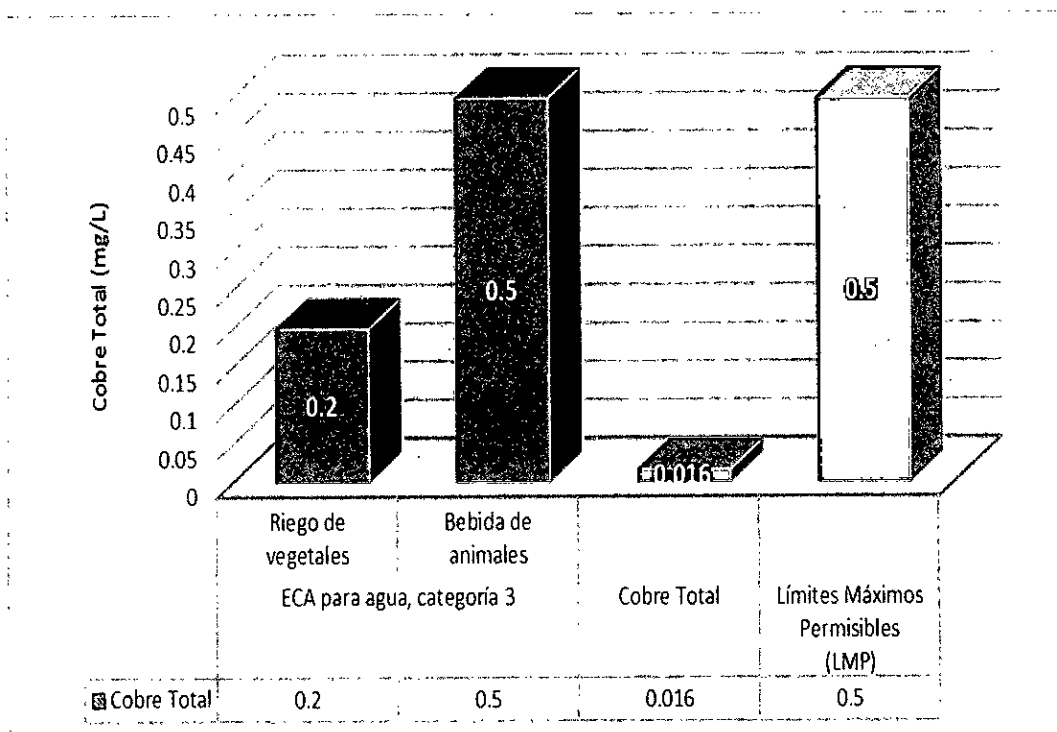


Fuente: Elaboración propia

5.4.3. Resultado del análisis del parámetro cobre.-

En el punto de muestreo PUNTO 2: (AC-03) se obtuvo como resultado de análisis del parámetro cobre un equivalente a 0.0160 mg/L, el cual cumple con el valor establecido en el D.S. N° 004-2017-MINAM Categoría 3.

Gráfico 5.5: Comparación del resultado de cobre con el ECA y LMP

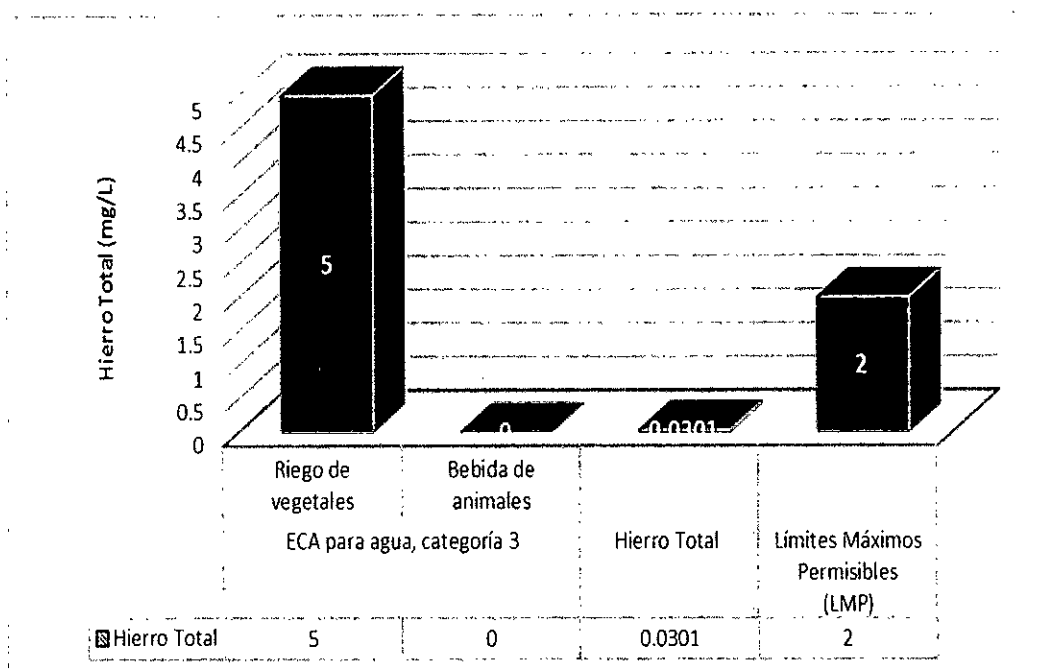


Fuente: Elaboración propia

5.4.4. Resultado del análisis del parámetro hierro.-

En el punto de muestreo PUNTO 2: (AC-03) se obtuvo como resultado de análisis del parámetro hierro un equivalente a 0.0301 mg/L, el cual cumple con el valor establecido en el D.S. N° 004-2017-MINAM Categoría 3.

Gráfico 5.6: Comparación del resultado de hierro con el ECA y LMP

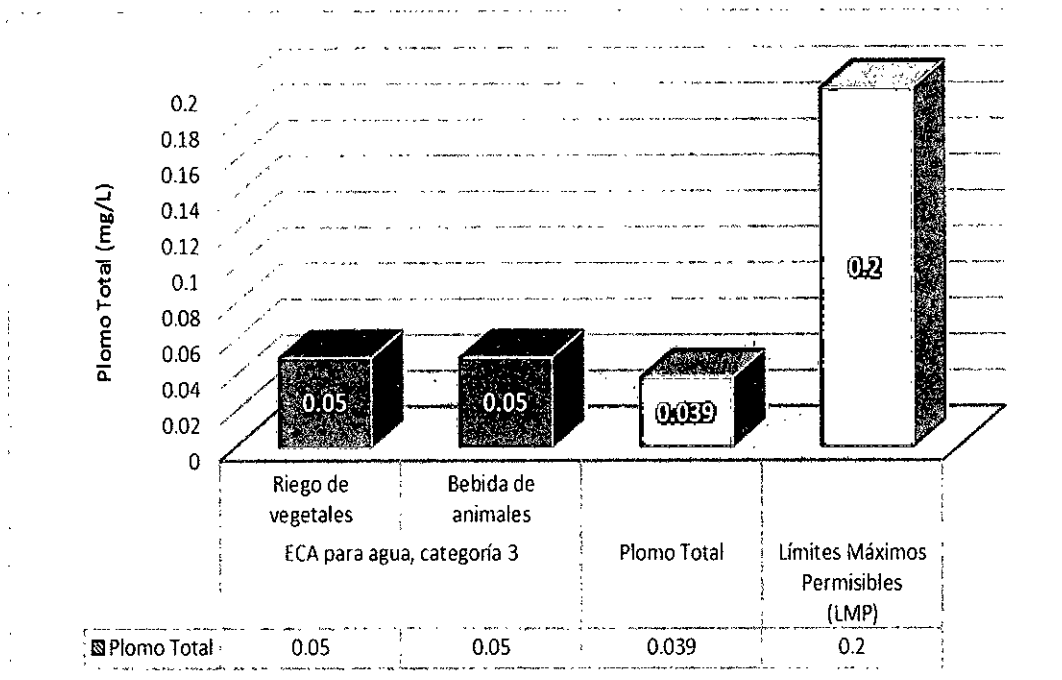


Fuente: Elaboración propia

5.4.5. Resultado del análisis del parámetro plomo.-

En el punto de muestreo PUNTO 2: (AC-03) se obtuvo como resultado de análisis del parámetro plomo un equivalente a 0.039 mg/L, el cual cumple con el valor establecido en el D.S. N° 004-2017-MINAM Categoría 3.

Gráfico 5.7: Comparación del resultado de plomo con el ECA y LMP

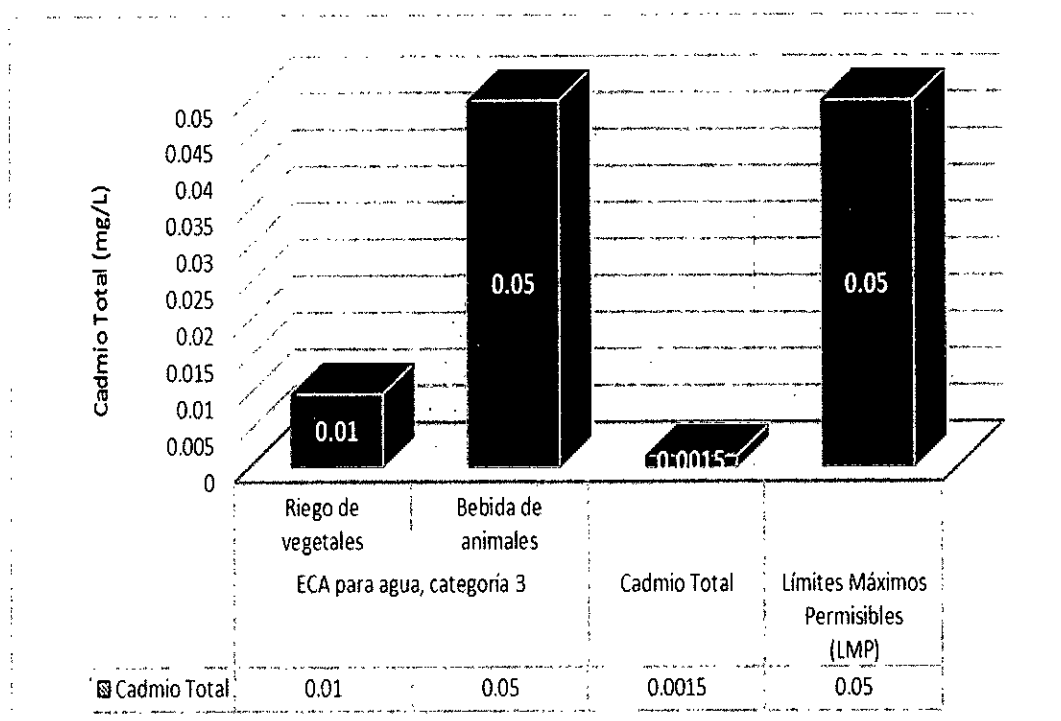


Fuente: Elaboración propia

5.4.6. Resultado del análisis del parámetro cadmio.-

En el punto de muestreo PUNTO 2: (AC-03) se obtuvo como resultado de análisis del parámetro cadmio un equivalente a <0.0015 mg/L, el cual cumple con el valor establecido en el D.S. N° 004-2017-MINAM Categoría 3.

Gráfico 5.8: Comparación del resultado de cadmio con el ECA y LMP

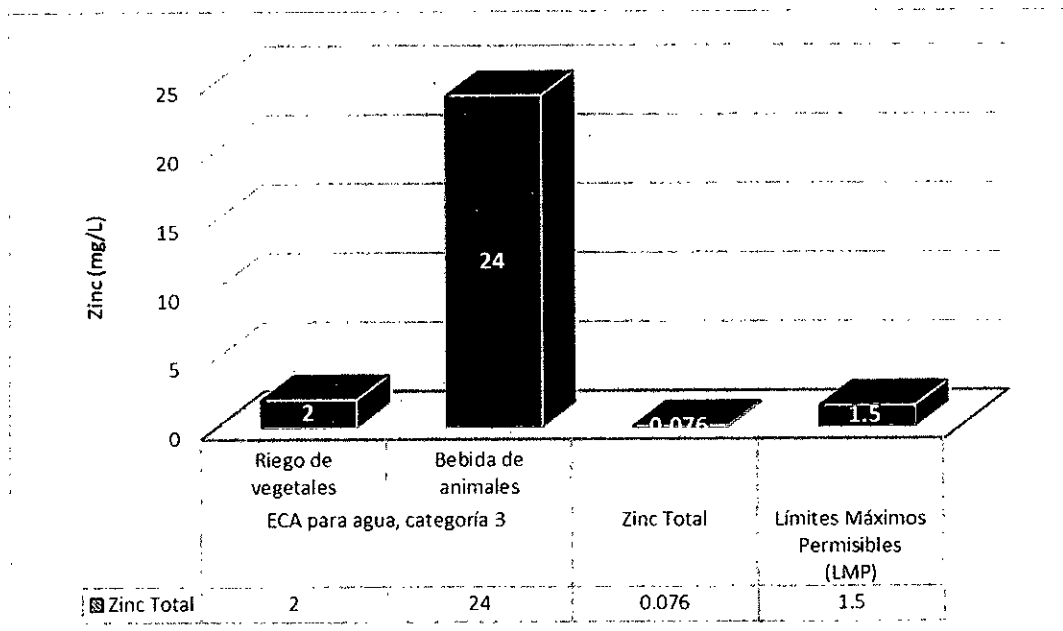


Fuente: Elaboración propia

5.4.7. Resultado del análisis del parámetro zinc.-

En el punto de muestreo PUNTO 2: (AC-03) se obtuvo como resultado de análisis del parámetro zinc un equivalente a 0.0760 mg/L, el cual cumple con el valor establecido en el D.S. N° 004-2017-MINAM Categoría 3.

Gráfico 5.9: Comparación del resultado de zinc con el ECA y LMP



Fuente: Elaboración propia

5.5. Comportamiento del pH durante el tratamiento en la planta de tratamiento de aguas ácidas.-

A continuación, en la tabla 5.10 se observa el comportamiento que tiene el pH al ingreso y salida del tratamiento en la PTAA, con los reactivos utilizados como el hipoclorito de calcio, Lechada de Cal y Floculante aplicado en cada proceso que comprende la PTAA.

Tabla 5.5: Comportamiento del pH al ingreso y salida de la PTAA

Código del punto de control	Parámetro	Unidad	Resultado	ECA para agua categoría 3		LMP
				Regadío de Vegetales de Tallo Bajo y Alto	Bebida de Animales	
AC-02	pH	Unidad de pH	3.3	6.5 - 8.5	6.5 - 8.4	6 - 9
AC-03	pH	Unidad de pH	8.44	6.5 - 8.5	6.5 - 8.4	6 - 9

PUNTO 1: (AC-02): Efluente minero metalúrgico antes del tratamiento en la PTAA.

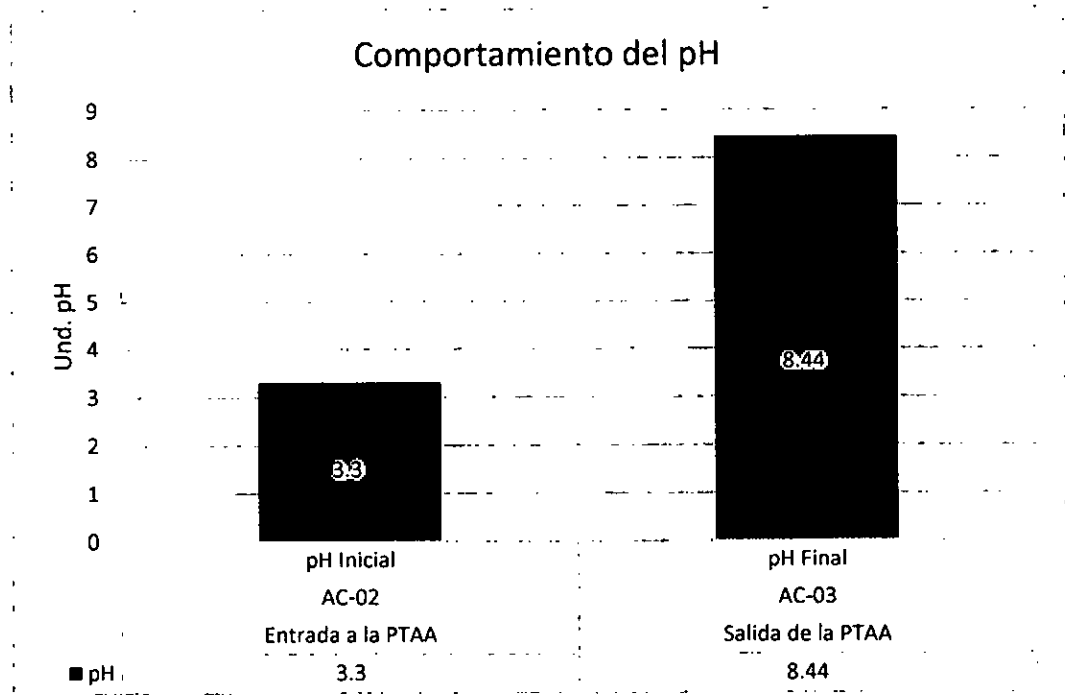
PUNTO 2: (AC-03): Efluente minero metalúrgico después del tratamiento en la PTAA.

Parámetro que excede los ECA para agua categoría 3 y los LMP.

Fuente: Datos extraídos del informe de ensayo N° MA 14060722-Lab. J.RAMÓN.

A continuación en forma gráfica se muestra el comportamiento del pH al ingreso y salida de la PTAA.

Gráfico 5.10: Comportamiento del pH al ingreso y salida de la PTAA



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Caracterización del efluente minero metalúrgico a tratar.-

Los resultados muestran que el efluente minero antes del tratamiento en la PTAA, presenta altas concentraciones de contaminantes, ya que en el análisis de los resultados del informe de ensayo se encontró que el manganeso y otros metales pesados no cumplen con los Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicas y los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua categoría 3.

Tal como se puede observar en la tabla 5.1 la comparación del análisis de los resultados con el ECA para categoría 3 y los LMP exceden dichas normativas. Se encontró los siguientes valores: manganeso (129.1 mg/L), arsénico (2.243 mg/L), cobre (5.714 mg/L), hierro (272.2 mg/L), plomo (0.588 mg/L), cadmio (0.1666 mg/L) y zinc (32.19 mg/L), por tanto las altas concentraciones del manganeso y otros metales pesados exceden el ECA para agua categoría 3 y los LMP.

6.2. Determinación de la dosis óptima de hipoclorito de calcio mediante pruebas de laboratorio para la remoción de manganeso.-

Los resultados experimentales obtenidos en el presente trabajo con las aplicaciones de la dosis óptima en los ensayos de jar-test y en la planta de tratamiento de aguas ácidas, muestran que se mejoró la calidad del efluente minero metalúrgico respecto al manganeso y metales pesados. Cabe mencionar que los resultados muestran que se logró reducir la concentración de contaminantes en el efluente generado por las

actividades mineras. Un 99.9 % de remoción de manganeso en la PTAA, lo cual demuestra que el tratamiento con el reactivo utilizado como el hipoclorito de calcio, es efectivo para la reducción del manganeso presente en el efluente minero metalúrgico. Cabe señalar también que los reactivos como el hidróxido de calcio y floculante coadyuvan en la remoción del manganeso y los metales pesados.

6.3. Evaluación de la eficiencia de la PTAA con el proceso de oxidación implementado.-

La relación entre la concentración inicial de parámetros contaminantes (manganeso, arsénico, cobre, hierro, plomo, cadmio y zinc) presente en el afluente minero a la entrada de la PTAA (AC-02) y la calidad del efluente a la salida de la PTAA (AC-03); permiten conocer la eficiencia de remoción de la PTAA con el proceso de oxidación implementado, para tal efecto se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Eficiencia}_{PTAA} = \left(\frac{\text{Calidad}_{\text{ingreso}} - \text{Calidad}_{\text{salida}}}{\text{Calidad}_{\text{ingreso}}} \right) \times 100$$

A partir de los datos obtenidos en el ingreso y salida del efluente minero en la PTAA (Ver tabla 5.3 en la pág. 60), se logró reemplazar dichos resultados en la fórmula de eficiencia de la PTAA para cada uno de los parámetros que determinan la calidad del efluente, como se detalla a continuación:

- Manganeso (Mn)

$$Eficiencia_{PTAA} = \left(\frac{129.1 \text{ mg/L} - 0.015 \text{ mg/L}}{129.1 \text{ mg/L}} \right) \times 100 = 99.9 \%$$

La eficiencia obtenida del parámetro manganeso muestra un 99.9 % de remoción en la PTAA, logrando reducir la concentración del manganeso y estar por debajo de los Estándares de Calidad de Ambiental para Agua (0.2 mg/L para riego de vegetales y 0.2 mg/L para bebidas de animales).

- Arsénico (As)

$$Eficiencia_{PTAA} = \left(\frac{2.243 \text{ mg/L} - 0.0172 \text{ mg/L}}{2.243 \text{ mg/L}} \right) \times 100 = 99.2 \%$$

La eficiencia obtenida del parámetro arsénico muestra un 99.2 % de remoción en la PTAA, logrando reducir la concentración del arsénico y estar por debajo de los Estándares de Calidad de Ambiental para Agua (0.1 mg/L para riego de vegetales y 0.2 mg/L para bebidas de animales) y los LMP para efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicas (0.1 mg/L).

- Cobre (Cu)

$$Eficiencia_{PTAA} = \left(\frac{5.714 \text{ mg/L} - 0.0160 \text{ mg/L}}{5.714 \text{ mg/L}} \right) \times 100 = 99.7 \%$$

La eficiencia obtenida del parámetro cobre muestra un 99.7 % de remoción en la PTAA, logrando reducir la concentración del cobre y estar por debajo de los

Estándares de Calidad de Ambiental para Agua (0.2 mg/L para riego de vegetales y 0.5 mg/L para bebidas de animales) y los LMP para efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicas (0.5 mg/L).

- Hierro (Fe)

$$Eficiencia_{PTAA} = \left(\frac{272.2 \text{ mg/L} - 0.0301 \text{ mg/L}}{272.2 \text{ mg/L}} \right) \times 100 = 99.9 \%$$

La eficiencia obtenida del parámetro hierro muestra un 99.9 % de remoción en la PTAA, logrando reducir la concentración del hierro y estar por debajo de los Estándares de Calidad de Ambiental para Agua (5 mg/L para riego de vegetales) y los LMP para efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicas (2 mg/L).

- Plomo (Pb)

$$Eficiencia_{PTAA} = \left(\frac{0.588 \text{ mg/L} - 0.039 \text{ mg/L}}{0.588 \text{ mg/L}} \right) \times 100 = 93.4 \%$$

La eficiencia obtenida del parámetro plomo muestra un 93.4 % de remoción en la PTAA, logrando reducir la concentración del plomo y estar por debajo de los Estándares de Calidad de Ambiental para Agua (0.05 mg/L para riego de vegetales y 0.05 mg/L para bebidas de animales) y los LMP para efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicas (0.2 mg/L).

- Cadmio (Cd)

$$Eficiencia_{PTAA} = \left(\frac{0.1666 \text{ mg/L} - 0.0015 \text{ mg/L}}{0.1666 \text{ mg/L}} \right) \times 100 = 99.1 \%$$

La eficiencia obtenida del parámetro cadmio muestra un 99.1 % de remoción en la PTAA, logrando reducir la concentración de cadmio y estar por debajo de los Estándares de Calidad de Ambiental para Agua (0.01 mg/L para riego de vegetales y 0.05 mg/L para bebidas de animales) y los LMP para efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicas (0.05 mg/L).

- Zinc (Zn)

$$Eficiencia_{PTAA} = \left(\frac{32.19 \text{ mg/L} - 0.0760 \text{ mg/L}}{32.19 \text{ mg/L}} \right) \times 100 = 99.7 \%$$

La eficiencia obtenida del parámetro zinc muestra un 99.7 % de remoción en la PTAA, logrando reducir la concentración de zinc y estar por debajo de los Estándares de Calidad de Ambiental para Agua (2 mg/L para riego de vegetales y 24 mg/L para bebidas de animales) y los LMP para efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicas (1.5 mg/L).

Cabe mencionar que los resultados del análisis del efluente minero metalúrgico tratado muestran una reducción considerable de la concentración de los contaminantes por debajo de los ECA para agua categoría 3 y los LMP para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicas; sobre todo en la

concentración del manganeso, donde se logró en gran medida reducir la concentración y estar por debajo de los Estándares de Calidad de Agua para agua, categoría 3.

6.4. Comportamiento del pH durante el tratamiento en la planta de tratamiento de aguas ácidas.-

En cuanto al pH del efluente minero tratado en la PTAA el resultado del análisis mostró un valor alcalino de 8.44; lo que indica que se encuentra dentro de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (6.5 - 8.5 para riego de vegetales y 6.5 - 8.4 mg/L para bebidas de animales) y los LMP para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicas (6- 9), en comparación al pH ácido que ingresaba a la PTAA.

6.5. Evaluación del agua tratada proveniente de la PTAA y comparación con los ECA para agua categoría 3 y los LMP.-

Los resultados obtenidos con la aplicación de la dosis óptima en el punto de muestreo AC-03 (efluente minero metalúrgico posterior al tratamiento en la planta de tratamiento de aguas ácidas PTAA), muestran que se mejoró la calidad del efluente minero respecto al manganeso y otros metales pesados; cumpliéndose con los Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicas y los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua categoría 3. (Ver Apéndice la Figura 10.16)

Tal como se puede observar en la tabla 5.9 (pág.66), donde se compara los resultados del informe de ensayo con el ECA para categoría 3 y los LMP, logran cumplir con las normativas ambientales mencionadas. Donde los resultados del análisis fueron lo siguiente: manganeso (salida 0.015 mg/L), arsénico (salida 0.0172 mg/L), cobre (0.0160 mg/L), hierro (0.0301 mg/L), plomo (0.039 mg/L), cadmio (0.0015 mg/L) y zinc (0.0760 mg/L), por tanto las concentraciones del manganeso y otros metales pesados no exceden el ECA para agua categoría 3 y los LMP.

Respecto al análisis estadístico practicado a los resultados de la calidad de agua tratada nos da un promedio de 0.74 mg/L para manganeso, 0.30 mg/l arsénico, 0.32 mg/l para cobre, 0.08 mg/l hierro, 0.05 mg/l para plomo, 0.001 mg/L para cadmio, 0.08 mg/L zinc. El error típico es mayor para el manganeso y arsénico debido a que existe una mayor variación entre los valores mínimo y máximo registrados, existe una mayor varianza entre valores de manganeso y arsénico lo que representa una alta dispersión de los valores respecto al promedio.

6.6. Comparación de resultados con otros estudios similares.-

a. Para la comparación de resultado con otro estudio de remoción del manganeso de ámbito nacional, estuvo sustentada con otro proyecto de investigación existente referido a la remoción del manganeso por oxidación con hipoclorito de calcio; para tal efecto se tomó como caso de comparación el siguiente estudio “Remoción del manganeso para mejorar la calidad de las aguas de consumo humano en la laguna azulcocha” (Lazo, 2012).

A partir del estudio mencionado, se comenta lo siguiente:

Mencionamos que el presente estudio de investigación desarrollado, presenta una mayor eficiencia de remoción del manganeso respecto al estudio realizado por (Lazo, 2012), puesto que en la remoción del manganeso utilizó la tecnología de oxidación – filtración (escala laboratorio). Mientras que en el presente estudio de investigación para la remoción del manganeso se desarrolló los procesos de neutralización, oxidación, floculación y sedimentación a escala de laboratorio y a nivel planta.

Si bien es cierto comparando los procesos respecto a la remoción del manganeso, la diferencia radica que en el estudio realizado por Lazo utilizó como dosis: 6 mg/L cal, 2.5 mg/L de hipoclorito de calcio y 6 mg/L sulfato de aluminio a escala de laboratorio, obteniendo como porcentaje de remoción de manganeso de 83%. En cambio en el presente estudio de investigación desarrollado, se utilizó como dosis óptima: 140 mg/L de hidróxido de calcio, 1.2 mg/L de hipoclorito de calcio y 3 mg/L de floculante aniónico (praestrol 2530), obteniendo como porcentaje de remoción para el manganeso de 99.4% (escala laboratorio) y 99.9% (a nivel planta).

Cabe mencionar que el estudio realizado por Lazo, para la remoción del manganeso utilizó como muestra de análisis al agua cruda de la laguna azulcocha, ligeramente acida. Por el contrario en el presente estudio se tiene como muestra de análisis al agua ácida producto de una actividad minera, donde el tratamiento se inicia con el proceso de neutralización, para alcalinizar el agua ácida y generar un medio adecuado para el proceso de oxidación con hipoclorito de calcio, floculación y su posterior sedimentación, obteniendo de esta manera una mayor remoción del manganeso y otros metales pesados a nivel de planta.

Se precisa que, de los resultados obtenidos posterior al tratamiento, en primera instancia se señala que el exceso de iones OH^- brindado por el hidróxido de calcio, permite que la gran mayoría de metales precipite como hidróxido, se consigue neutralizar el agua y su posterior dosificación de hipoclorito de calcio termina por oxidar cualquier especie metálica como el manganeso y otros metales pesados, consiguiendo vencer la valla para que se forme un hidróxido de manganeso (II) estable y la posterior dosificación del floculante ayuda a formar los coágulos correspondientes a los coloides que se forman.

b. Adicionalmente para la comparación de otra investigación como en el caso de “Remoción de hierro y manganeso en aguas subterráneas mediante doble filtración con flujo a presión caso el Hormiguero- Cali” (Loayza, 2009).

Presenta una planta piloto como propuesta que trabaja hidráulicamente con flujo a presión, constituida básicamente por tres procesos de tratamiento: El primer proceso denominado oxidación, propicia el contacto del agua con el aire mediante una columna de percolación, con el fin de incrementar el OD, remover gases, incrementar el pH y suministrar al agua el químico para oxidar el Fe(II) y Mn(II) con mayor rapidez, complementado con un tanque de contacto para obtener el tiempo de retención y contacto suficientes entre 5 a 25 minutos para optimizar la oxidación y depósito de partículas.

El segundo proceso incluye un clarificador de contacto de flujo ascendente, constituido por material granular estratificado utilizado para mejorar la floculación adsorción y remoción de los óxidos de Fe y Mn, así como de otras partículas en el agua. El tercer proceso denominado Filtro Rápido, está compuesto de arena como

medio de control y pulimento final del agua, optimizando la retención de los microflocs y óxidos de Fe y Mn, obteniendo remociones de hierro total del 98.3%, hierro disuelto del 100% y de 88.2% para el manganeso.

Mientras que la investigación propuesta, presenta mayor eficiencia de remoción del parámetro manganeso en la planta de tratamiento de aguas ácidas mediante un proceso físico-químico convencional respecto a la investigación propuesta por Loayza, puesto que la investigación propuesta se determinó una dosis optima empleando una dosificación de reactivos de 140 mg/L de hidróxido de calcio, 1.2 mg/L de hipoclorito de calcio y 3 mg/L de floculante aniónico, que coadyuvan a la remoción de los contaminantes del efluente, cabe indicar que de un efluente minero metalúrgico las cuales fueron aplicadas en la planta de tratamiento de aguas ácidas implementada, con un reactor para el proceso de neutralización donde se produce la neutralización del agua ácida utilizando hidróxido de calcio al 10 % con una dosificación de 140 ppm, un reactor para el proceso de oxidación donde se produce la oxidación del agua proveniente del proceso de neutralización utilizando el reactivo hipoclorito de calcio al 0.1% con una dosificación de 1.2 ppm, un reactor para el proceso de floculación donde se produce con una dosificación de 3 ppm de floculante aniónico al 0.1% y un clarificador para producir la sedimentación/clarificador del agua tratada y el resultado obtenido posterior al tratamiento nos demuestra que el porcentaje de remoción para el parámetro manganeso fue de 99.9%, este proceso permito obtener una calidad de agua que cumple con la normatividad ambiental.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES

7.1. Caracterización del efluente minero a tratar.-

La calidad del agua proveniente de la actividad minera presenta alta concentración de contaminantes sobrepasando los Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicas y ECA categoría 3, no siendo apta para la descarga al cuerpo receptor.

Mediante la caracterización del efluente minero metalúrgico proveniente de la actividad minera se determinó que los parámetros como el manganeso (Mn), arsénico (As), cobre (Cu), hierro (Fe), plomo (Pb), cadmio (Cd) y zinc (Zn) superan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y los Límites Máximos Permisibles (LMP), debido a que dichos parámetros presentan valores de 129.1 mg/L, 2.243 mg/L, 5.714 mg/L, 272.2 mg/L, 0.588 mg/L, 0.1666 mg/L, 32.19 mg/L respectivamente, no siendo apta para la descarga al cuerpo receptor según la categoría 3 del ECA para agua. Cabe señalar que en los LMP no se encuentra contemplado el parámetro Mn.

7.2. Determinación de la dosis optima de hipoclorito de calcio mediante pruebas de laboratorio para la remoción de manganeso.-

La dosis optima determinada de hipoclorito de calcio es de 1.2 mg/L, para un caudal de 76.88 l/s, donde los resultados obtenidos con la aplicación de esta dosis muestran la remoción de manganeso y otros metales pesados del efluente minero.

Con la aplicación de dosis óptima de hipoclorito de calcio en la Planta de tratamiento de agua ácidas se logró un 99.9 % (salida 0.015 mg/L) de remoción y a escala de laboratorio se obtuvo un 99.4 % de remoción de manganeso

La aplicación de las dosis óptimas de los reactivos de hidróxido de calcio, hipoclorito de calcio, floculante aniónico en la planta de tratamiento de agua ácidas coadyuvó a mejorar la calidad del efluente tratado cumpliendo con la normativa ambiental.

7.3. Evaluación de la eficiencia de la PTAA con el proceso de oxidación implementado.-

La remoción del manganeso y otros metales pesados por oxidación, a través de la aplicación de hipoclorito de calcio, llega a ser un proceso eficiente.

Se concluye lo anterior ya que el manganeso se removió con una eficiencia de 99.9 %, el arsénico se removió con una eficiencia de 99.2 %, el cobre se removió con una eficiencia de 99.7 %, el hierro se removió con una eficiencia de 99.9 %, el plomo se removió con una eficiencia de 93.4 %, el cobre se removió con una eficiencia de 99.7%, además de mejorar propiedades organolépticas del efluente.

7.4. Evaluación del agua tratada proveniente de la PTAA y comparación con los ECA para agua categoría 3 y los LMP.-

Se comparó los resultados del efluente tratado con la normatividad ambiental para los parámetros de manganeso, arsénico, cobre, hierro, plomo, cadmio y zinc, logrando estar por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental para agua

categoría 3 y los Límites Máximos permisibles (LMP), obteniendo como concentración final para el manganeso (salida 0.015 mg/L), arsénico (salida 0.0172 mg/L), cobre (salida 0.0160 mg/L), hierro (salida 0.0301 mg/L), plomo (salida 0.039 mg/L), cadmio (salida 0.0015mg/L), zinc (salida 0.0760 mg/L).

Por lo cual concluimos que se logró remover el manganeso presente en el efluente minero metalúrgico por oxidación con hipoclorito de calcio implementado en la PTAA, cumpliendo con lo exigido por la normatividad ambiental.

CAPÍTULO VIII

RECOMENDACIONES

8.1. Recomendaciones.-

- En la Planta de Tratamiento de Aguas Ácidas la operación y el mantenimiento deberá ser monitoreado con frecuencia para evitar deficiencia en el tratamiento.
- Es necesaria la supervisión continua tanto del proceso de tratamiento en la Planta de Tratamiento de Aguas Ácidas como del funcionamiento de los diferentes accesorios complementarios instalados en la PTAA.
- El agua de salida de la Planta de Tratamiento de Aguas Ácidas deberá estar en constante control y monitoreo de los parámetros físico – químicos antes de ser derivado a un cuerpo receptor.
- Se recomienda para estudios similares, que para la remoción del manganeso (Mn) se requiere de un pH básico para generar su precipitación y posteriormente realizar la oxidación con hipoclorito de calcio, como se comprueba en la experiencia desarrollada y en los estudios similares revisados durante la investigación. La adopción de esta medida permitirá obtener las condiciones necesarias para poder efectuar el tratamiento del efluente minero metalúrgico que presenten altas concentraciones de manganeso.
- Se recomienda emplear las aguas tratadas en la unidad minera para el riego de áreas verdes y control de polvo; siempre en cuando cumpla con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua y los Límites Máximos Permisibles.

- Se recomienda a las entidades competentes considerar la necesidad de incluir al parámetro manganeso y otros parámetros en los Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de afluentes líquidos de actividades minero metalúrgicas (según D.S. N° 010-2010-MINAM), ya que a la fecha no se encuentra contemplados en la normativa ambiental, cabe señalar que en su mayoría estos efluentes tratados son derivados a cuerpos receptores sin el control de las concentraciones del manganeso, a diferencia de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua categoría 3, donde si se considera el parámetro manganeso como control de calidad para agua en cuerpos receptores.

CAPÍTULO IX

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

9.1. Referencia Bibliográficas.-

Autoridad Nacional del Agua. (2010). *Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos. Ley N° 29338*. Lima, Perú.

Autoridad Nacional del Agua. (2010). *Resolución Jefatural N° 202-2010-ANA. Clasificación de cuerpos de agua superficiales y marino-costeros*. Lima, Perú.: Diario Oficial El Peruano.

Autoridad Nacional del Agua. (2013). *Resolución Jefatural N° 541-2013-ANA*. Lima, Perú.: Diario Oficial El Peruano.

Autoridad Nacional del Agua. (2016). *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA*. Lima, Perú.

Aziz, H., & Smith, P. (1992). The influence of pH and coarse media on manganese precipitation from water. *Water Research*, 26(6), 853-855. Recuperado de [http://dx.doi.org/10.1016/0043-1354\(92\)90017-x](http://dx.doi.org/10.1016/0043-1354(92)90017-x).

Bahamóndez, C. (2012). *Importancia de la Actividad Microbiológica en la Predicción del drenaje Ácido de Minas* (Tesis Título). Universidad de Chile.

Canepa de Vargas, L., & Maldonado Yactayo, V. (2004). *Sedimentación. Tratamiento de agua para consumo humano Plantas de filtración rápida Manual*

I: *Teoría Tomo I* (1st ed., pp. 319-378). Lima, Perú. Recuperado de <http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/id/5657/BIV00012.pd>.

Congreso Constituyente Democrático. (1993). *Constitución Política del Perú (1993)*. Lima, Perú.

Congreso de la República del Perú. (2005). *Ley General del Ambiente – Ley N°28611*. Lima, Perú.

Control del drenaje ácido de minas. (2008). Recuperado de http://www.u-cursos.cl/ingenieria/2008/2/BT53C/1/material_docente/bajar?id_material=186118

Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., Servicio de Salud Pública. Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR). (2000). *Reseña Toxicología del Manganeso*. Atlanta, GA 30333.

Gray, NF. (1996). *Calidad del agua potable*. Editorial Acribia. Zaragoza, España. pp. 99-260.

Inga, E. (2011). *Tratamiento de Efluentes por el Método de Pantanos Artificiales (WETLAND)* (Tesis Master). Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.

Kawamura, S. (1996a). *Optimización de procesos básicos del tratamiento de agua. Coagulación y Floculación: Diseño y operación*. Ingeniería Sanitaria y Ambiental.

Lazo, L. (2012). *Remoción del Manganeso para Mejorar la Calidad de las Aguas de Consumo Humano en la Laguna Azulcocha* (Tesis Master). Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.

Loaiza, A. (2009). *Remoción de hierro y manganeso en aguas subterráneas mediante doble filtración con flujo a presión caso el Hormiguero- Cali* (Maestro en Ingeniería Sanitaria y Ambiental). Universidad del Valle - Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente.

Maldonado, V. (2004). Sedimentación. *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS/OPS). Recuperado de http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/tomol/mal_tomol_indice.pdf.

Manganese (Mn) - Chemical properties, Health and Environmental effects. Lenntech.com. Recuperado de <http://www.lenntech.com/periodic/elements/mn.htm>.

Mangini S. & Prendes H. (2003). *Importancia de la floculación en la sedimentación de la carga de lavado en ambientes del río Paraná, Argentina*. Universidad Nacional del Litoral, Argentina.

Marin, L. (2011). *Remoción de Hierro y Manganeso por Oxidación con Cloro y Filtración en Grava* (Tesis Master). Universidad del Valle, Santiago de Cali.

McQuillan, D., Richards, A., & Parker, J. (2009). Agua subterránea (tesoro enterrado de Nuevo México). Departamento de Medio ambiente de Nuevo México. Recuperado de http://www.zerowastenetwork.org/espanol/documentos/treasure_sp.pdf

Ministerio del Ambiente. (2005). *Ley General del Ambiente-Ley N°28611*. Lima, Perú.: Diario Oficial El Peruano.

Ministerio del Ambiente. (2010). *Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM. Aprueban Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas*. (pp. 424114-424117). Lima, Perú.: Diario Oficial El Peruano.

Ministerio del Ambiente. (2017). *Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias*. Lima, Perú.: Diario Oficial El Peruano.

Ordoñez, A. (1999). *Sistema de Tratamiento Pasivo para Aguas Ácidas de Mina* (Tesis Doctoral). Escuela Técnica de Ingenieros de Minas de Oviedo, España.

Organización Mundial de la Salud, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente-OPS/CEPIS. (2005). *Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores*.

Petkova, V. (1997). *Uso de zeolitas naturales en la remoción de manganeso* (pp. 41-49). México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Recuperado de <http://www.revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/download/775/768>

Piña, S., & Ramírez, A. (2001). *Remoción de hierro y manganeso en fuentes de agua subterránea para abastecimiento público*. Recuperado de <http://www.zeocat.es/docs/aguafemnl.pdf>.

Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción - SENCICO. (2006). *Norma Técnica de Edificación OS.090 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Lima, Perú: Diario Oficial El Peruano.

Sierra, C.A. (2013). *Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros*. Colombia.

Tratamiento de Aguas Acidas de Mina. (2010) (p. 4). Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/29461552/Tratamiento-de-Aguas-Acidas-de-Mina>

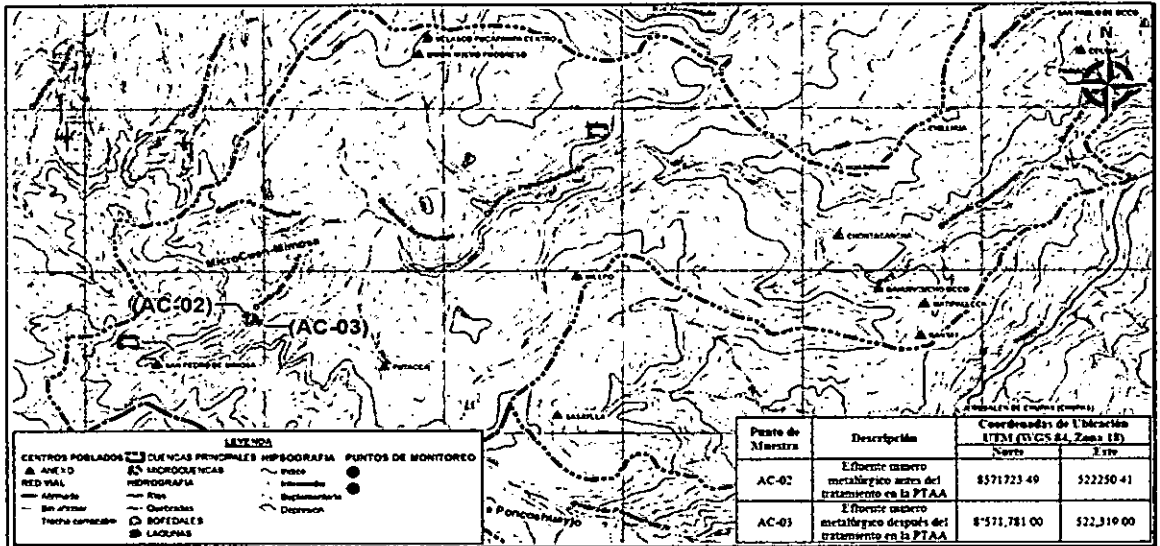
U.S. Environmental Protection Agency. (2003). *Acid Mine Drainage: Innovative Treatment Technologies*. Washington, DC. Recuperado de https://clu-in.org/download/studentpapers/costello_amd.pdf.

CAPÍTULO X

APÉNDICE

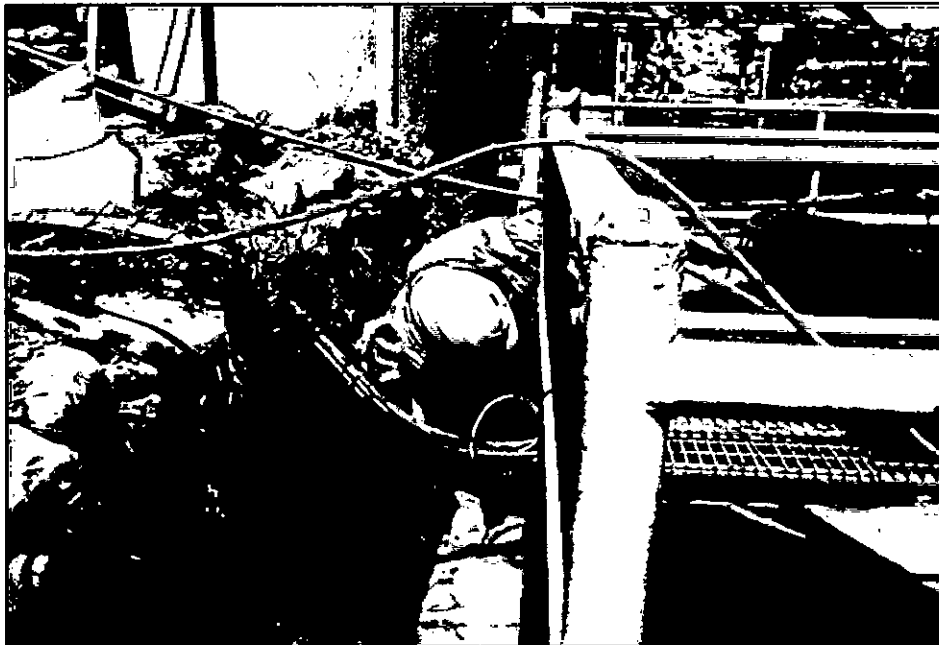
10.1. Galería de imágenes

Figura 10.1: Mapa de puntos de monitoreo



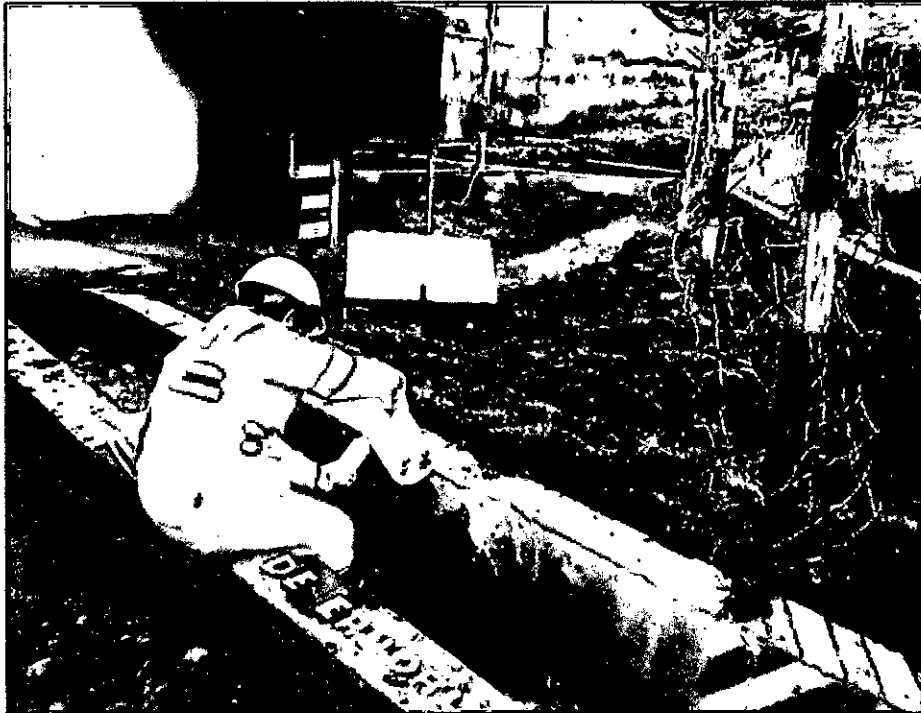
Fuente: Elaboración propia

Figura 10.2: Toma de muestra de agua, previo al tratamiento en la PTA



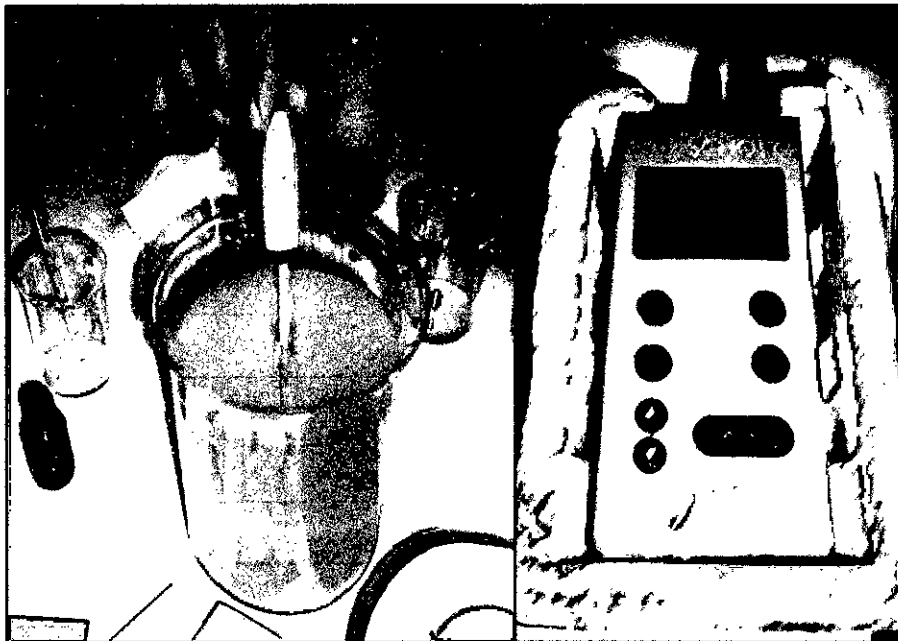
Fuente: Elaboración propia

Figura 10.3: Toma de muestra de agua, posterior al tratamiento en la PTA



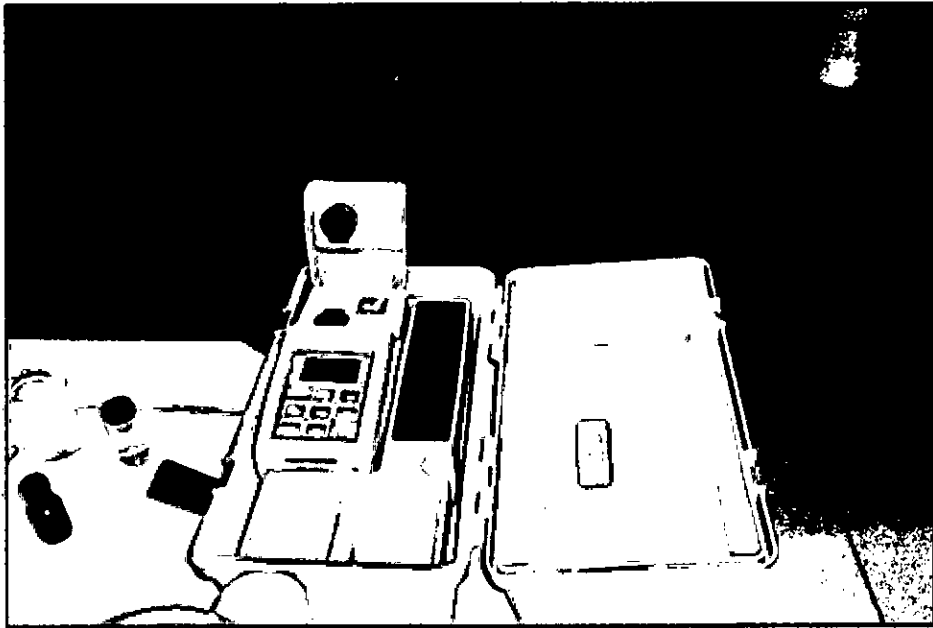
Fuente: Elaboración propia

Figura 10.4: Medición de pH



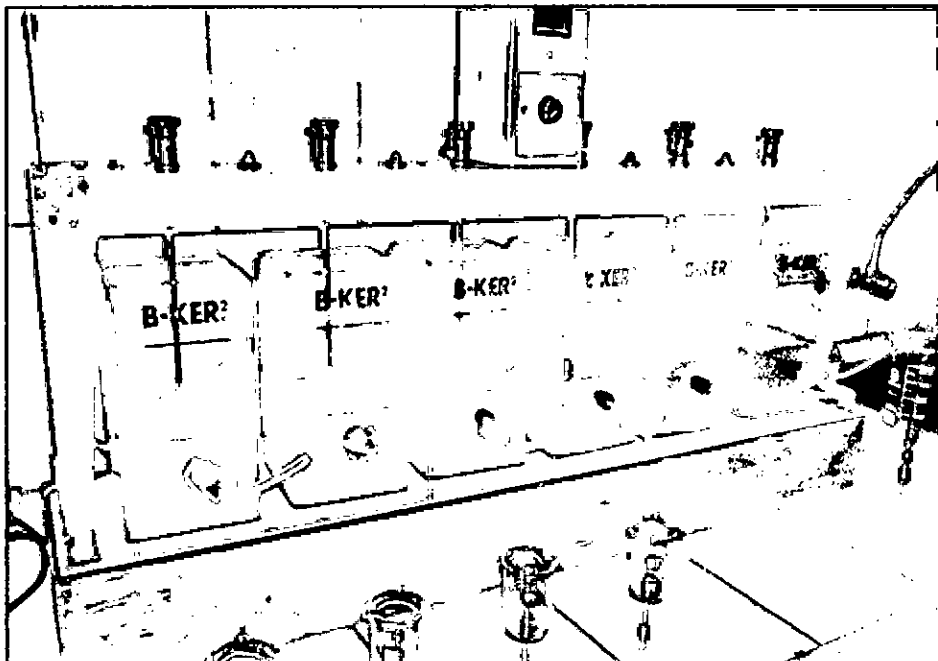
Fuente: Elaboración propia

Figura 10.5: Medición de turbiedad



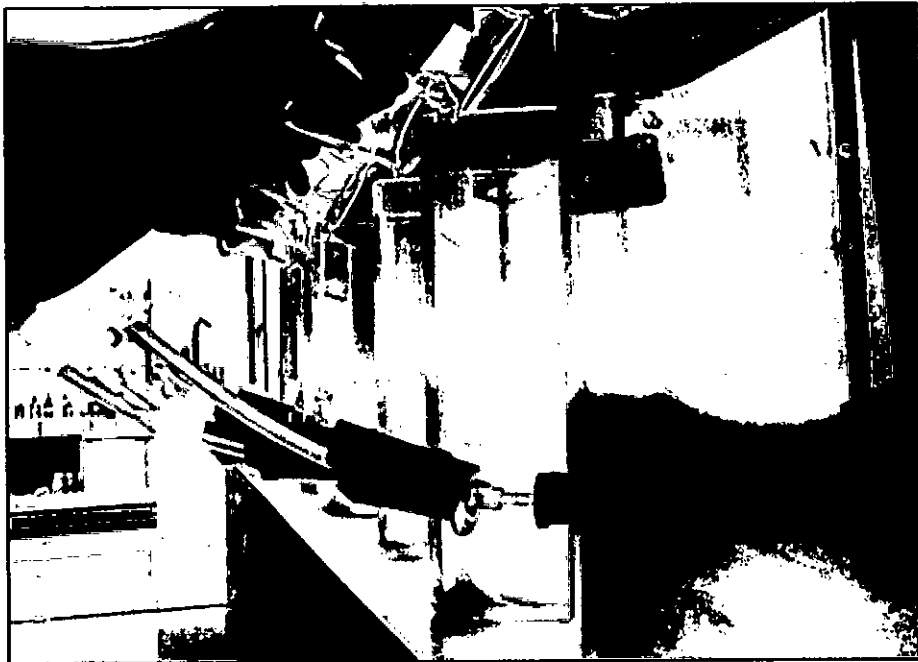
Fuente: Elaboración propia

Figura 10.6: Ensayo inicial del jar-test



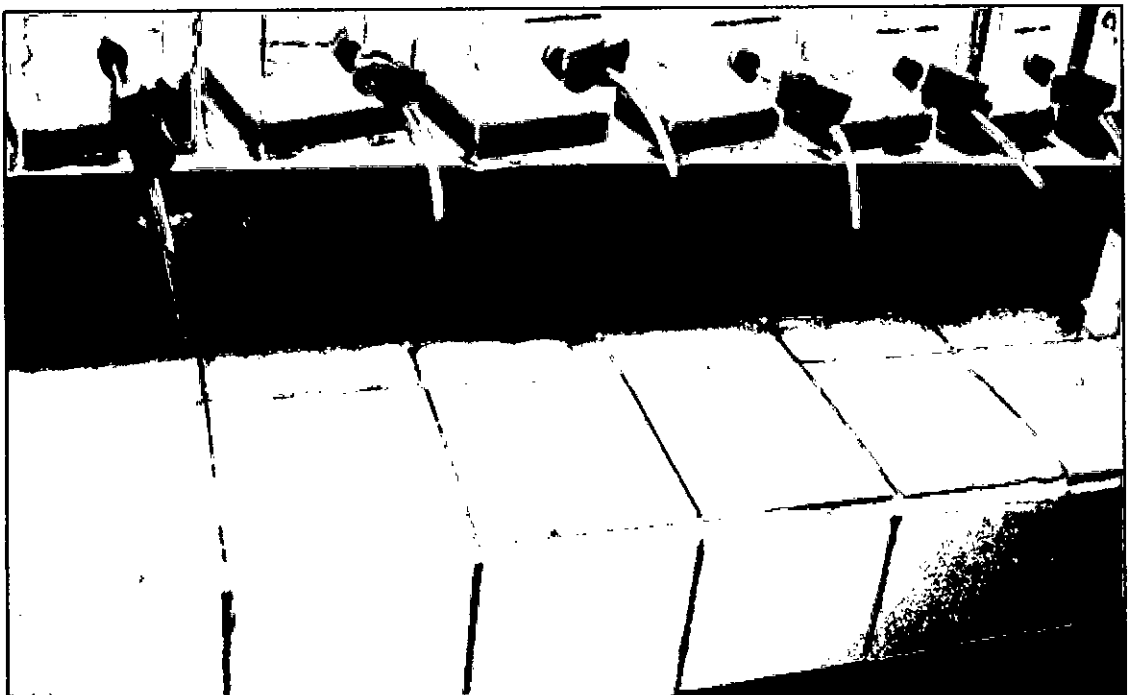
Fuente: Elaboración propia

Figura 10.7: Aplicación de hipoclorito de calcio



Fuente: Elaboración propia

Figura 10.8: Ensayo final del jar-test



Fuente: Elaboración propia

Figura 10.9: Vista frontal de la Planta de Tratamiento de Aguas Ácidas



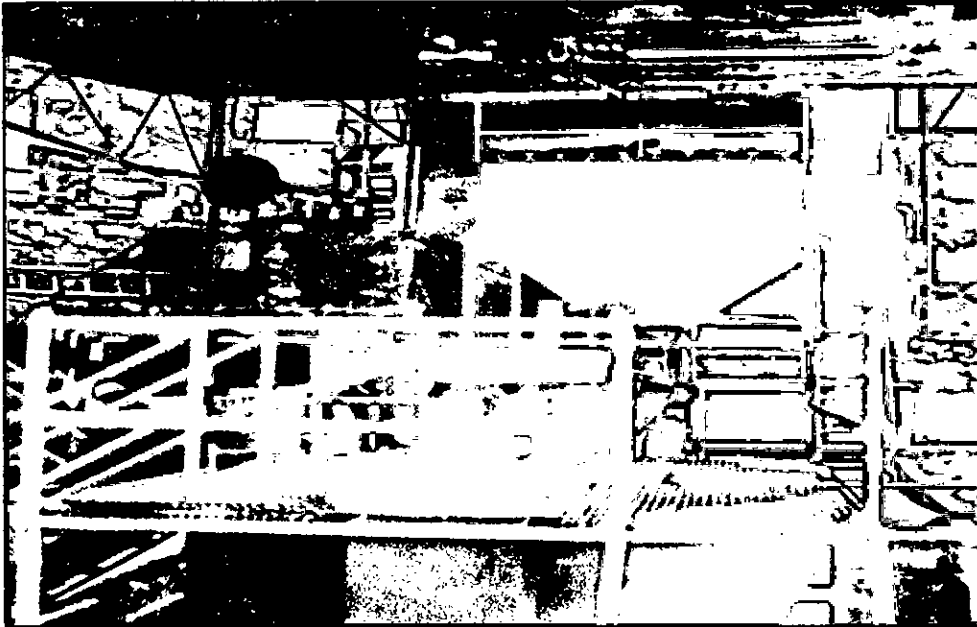
Fuente: Elaboración propia

Figura 10.10: Vista lateral de la Planta de Tratamiento de Aguas Ácidas



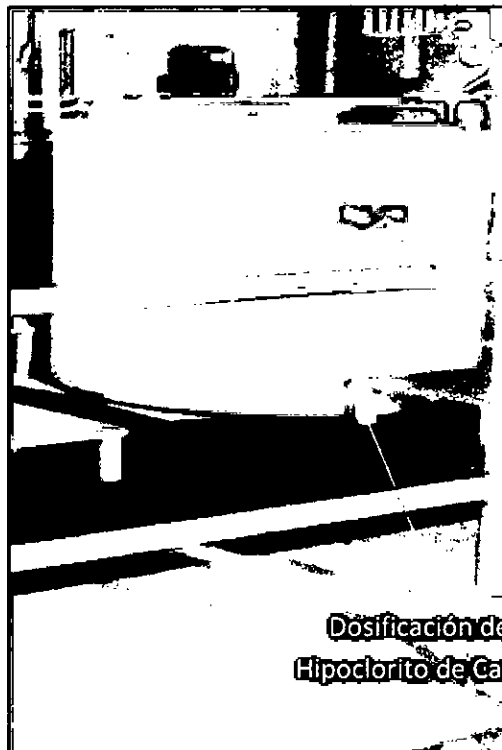
Fuente: Elaboración propia

Figura 10.11: Tanque de neutralización



Fuente: Elaboración propia

Figura 10.12: Dosificación de hipoclorito de calcio en la PTAA



Dosificación de
Hipoclorito de Cal

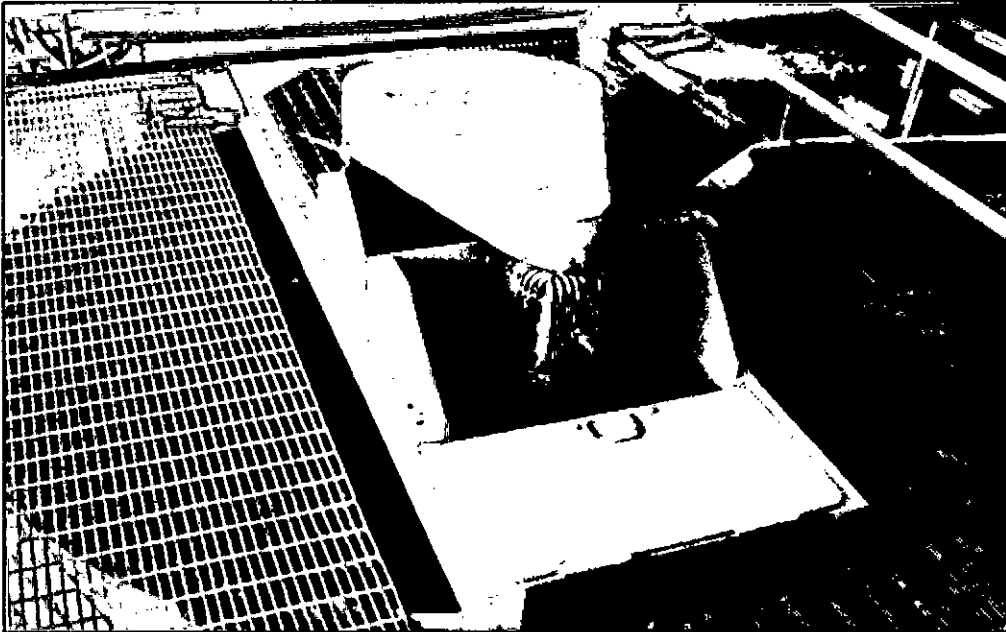
Fuente: Elaboración propia

Figura 10.13: Tanque de oxidación



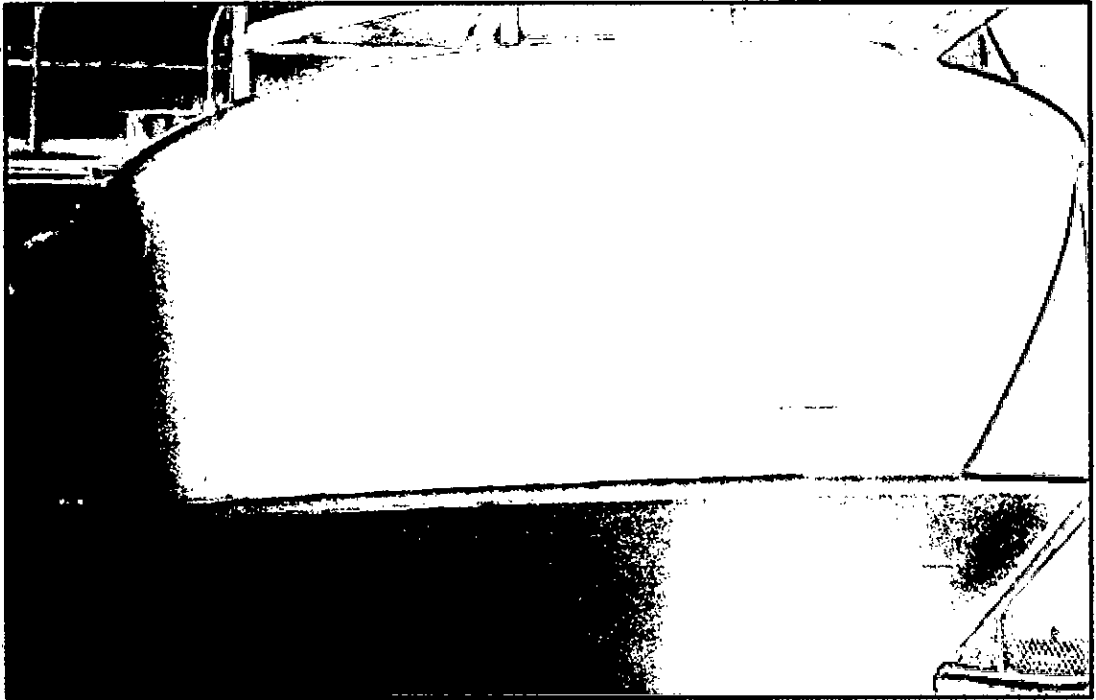
Fuente: Elaboración propia

Figura 10.14: Tanque de floculación



Fuente: Elaboración propia

Figura 10.15: Tanque clarificador para la sedimentación



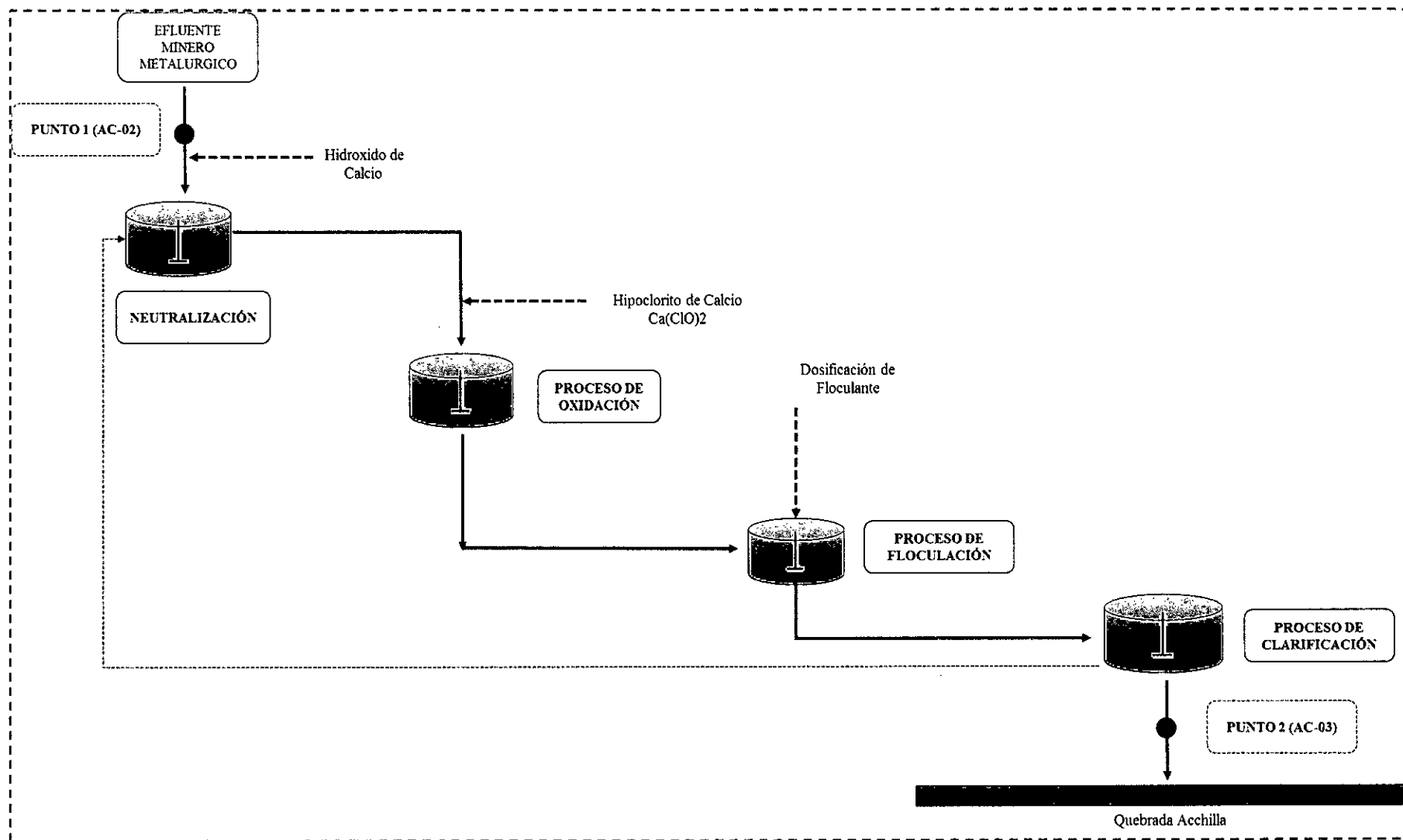
Fuente: Elaboración propia

Figura 10.16: Agua tratada proveniente de la PTAA



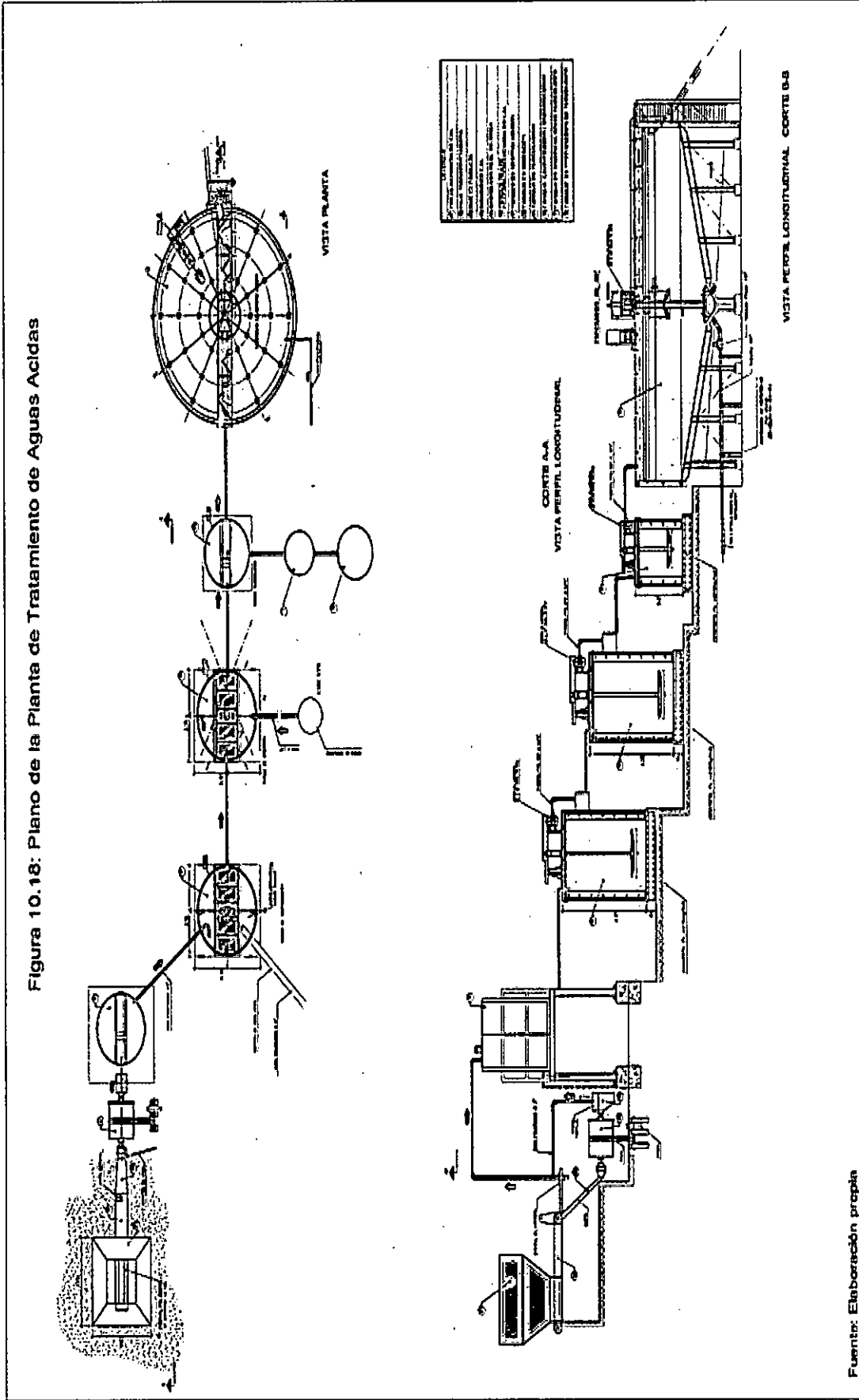
Fuente: Elaboración propia

Figura 10.17: Diagrama de flujo de la planta de tratamiento de aguas ácidas – efluente minero metalúrgico



Fuente: Elaboración propia

Figura 10.18: Plano de la planta de tratamiento de aguas ácidas



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO XI

ANEXOS

11.1. Reporte de análisis SPSS

GET

FILE- D:MENDOZA T.\TESIS\Análisis SPSS\Variables.sav´.

```
FREQUENCIES VARIABLES=Manganeso Arsénico Cobre Hierro Plomo Cadmio
Zinc
  /STATISTICS=STDDEV VARIANCE MINIMUM MAXIMUM MEAN MEDIAN
  /BARCHART PERCENT
  /ORDER=ANALYSIS.
```

Frecuencias

Notas	
Resultados creados	14-AUG-2018 19:57:06
Comentarios	
Conjunto de datos activo	Conjunto_de_datos0
Filtro	<ninguno>
Peso	<ninguno>
Entrada	<ninguno>
Dividir archivo	<ninguno>
Núm. de filas del archivo de trabajo	6
Definición de los perdidos	Los valores perdidos definidos por el usuario serán tratados como perdidos.
Manipulación de los valores perdidos	Los estadísticos se basan en todos los casos con datos válidos.
Casos utilizados	FREQUENCIES VARIABLES=Manganeso Arsénico Cobre Hierro Plomo Cadmio Zinc /STATISTICS=STDDEV VARIANCE MINIMUM MAXIMUM MEAN MEDIAN /BARCHART PERCENT /ORDER=ANALYSIS.
Sintaxis	
Tiempo de procesador	00:00:04.51
Recursos	Tiempo transcurrido 00:00:04.59

[Conjunto_de_datos0] D:MENDOZA T.\TESIS\Análisis
SPSS\Variables.sav

Estadísticos

		Manganeso	Arsénico	Cobre	Hierro	Plomo	Cadmio	Zinc
N	Válidos	6	6	6	6	6	6	6
	Perdidos	0	0	0	0	0	0	0
Media		,74833	,30833	,32133	,08000	,05167	,001850	,083967
Error tip. De la media		,466043	,253383	,244174	,024495	,009804	0001057	,0035312
Mediana		,07000	,01000	,05750	,05000	,04000	,001800	,078650
Desv. típ.		1,141568	,620658	,598101	,060000	,024014	,0002588	,0086495
Varianza		1,303	,385	,358	,004	,001	,000	,000
Mínimo		,020	,010	,020	,050	,040	,0016	,0785
Máximo		2,720	1,560	1,530	,200	,100	,0022	,0983

Tabla de frecuencia

Manganeso

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
,020	1	16,7	16,7	16,7
,040	1	16,7	16,7	33,3
,050	1	16,7	16,7	50,0
Válidos ,090	1	16,7	16,7	66,7
1,570	1	16,7	16,7	83,3
2,720	1	16,7	16,7	100,0
Total	6	100,0	100,0	

Arsénico

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos				
,010	4	66,7	66,7	66,7
,250	1	16,7	16,7	83,3
1,560	1	16,7	16,7	100,0
Total	6	100,0	100,0	

Cobre

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos				
,020	1	16,7	16,7	16,7
,023	1	16,7	16,7	33,3
,025	1	16,7	16,7	50,0
,090	1	16,7	16,7	66,7
,240	1	16,7	16,7	83,3
1,530	1	16,7	16,7	100,0
Total	6	100,0	100,0	

Hierro

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos				
,050	4	66,7	66,7	66,7
,080	1	16,7	16,7	83,3
,200	1	16,7	16,7	100,0
Total	6	100,0	100,0	

Plomo

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos				
,040	4	66,7	66,7	66,7
,050	1	16,7	16,7	83,3
,100	1	16,7	16,7	100,0
Total	6	100,0	100,0	

Cadmio

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
,0016	2	33,3	33,3	33,3
,0017	1	16,7	16,7	50,0
,0019	1	16,7	16,7	66,7
,0021	1	16,7	16,7	83,3
,0022	1	16,7	16,7	100,0
Total	6	100,0	100,0	

Zinc

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
,0785	2	33,3	33,3	33,3
,0786	1	16,7	16,7	50,0
,0787	1	16,7	16,7	66,7
,0912	1	16,7	16,7	83,3
,0983	1	16,7	16,7	100,0
Total	6	100,0	100,0	

11.2. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA
¿Es posible la remoción del manganeso (Mn), presente en los efluentes generados por una actividad minera metalúrgica por oxidación con hipoclorito de calcio en una planta de tratamiento de aguas ácidas (PTAA), ubicada en la región de Huancavelica y adecuarse al cumplimiento de la normativa ambiental?	<p>Objetivo General</p> <p>Determinar la remoción del manganeso presente en el efluente minero metalúrgico por oxidación con hipoclorito de calcio implementado en una PTAA ubicada en la región de Huancavelica.</p> <p>Objetivo Específico</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Caracterización del efluente minero metalúrgico a tratar. ✓ Determinar la dosis óptima del hipoclorito de calcio mediante pruebas de laboratorio para la remoción de manganeso. ✓ Evaluar la eficiencia de la PTAA con el proceso de oxidación implementado. ✓ Evaluar el agua tratada proveniente de la PTAA y compararla con los ECA para agua categoría 3 y los LMP. 	<p>Hipótesis General</p> <p>La aplicación del hipoclorito de calcio en una planta de tratamiento de aguas ácidas reduce la concentración del manganeso presente en el efluente minero metalúrgico.</p>	<p>Variable Independiente: X</p> <p>El hipoclorito de calcio en una PTAA.</p> <p>Variable dependiente: Y</p> <p>Remoción del Mn⁺² en el efluente minero metalúrgico.</p>	<p>De la Variable Independiente</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ X₁: Concentración y Dosificación de Hipoclorito de calcio. <p>De la Variable dependiente</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Y₁: Remoción del Manganeso (Mn) ✓ Y₂: Estabilización del pH en el agua tratada. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tipo de Investigación <p>Para el presente proyecto de investigación la metodología a desarrollarse es de tipo experimental, analítico y cuantitativo.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Diseño de la Investigación <p>Los pasos para la aplicación de este diseño son: aplicación de un pretest (O₁) para la medida de la variable dependiente (Y), aplicación del tratamiento o variable independiente (X) y por último aplicación de un de postest para la medida de la variable dependiente (O₂).</p> <div style="text-align: center; border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p>O₁ X O₂</p> <p>Medición V' Exp Medición</p> </div> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Población y Muestra <p>La población estará comprendida por el agua residual industrial proveniente de la unidad minera.</p> <p>La muestra estará representada por el agua residual industrial que ingresa a la Planta de Tratamiento de Aguas Ácidas (PTAA) con un caudal de 76.88 l/s</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Técnicas e instrumentos de recolección de datos. <p>Para las técnicas e instrumentos de recolección de datos a aplicar en el presente estudio serán mediante, informes de ensayos, memoria descriptivas y manual de operaciones de la PTAA, caracterización del efluente minero metalúrgico tratado respecto al Manganeso.</p>

11.3. Informe de ensayo

Página 1 de 5



INFORME DE ENSAYO N° MA14060722 CON VALOR OFICIAL

Nombre del Cliente : COMPAÑIA DE MINAS
Domicilio Legal : CAL. BEGONIAS 405, SAN ISIDRO - LIMA
Solicitado Por : U.P. COMPAÑIA DE MINAS
Referencia : MONITOREO PLANTA DE TRATAMIENTO ACCHILLA

DATOS DE LA MUESTRA

Procedencia : U.P. COMPAÑIA DE MINAS
Plan de Muestreo : Realizado por el Cliente
Cantidad de Muestras : 7
Condición de la Muestra : Frascos de plástico y/o vidrio, preservados y refrigerados

Fecha de Muestreo : 21/06/2014
Fecha de Recepción : 23/06/2014
Fecha Inicio Ensayo : 23/06/2014

MÉTODOS DE ENSAYO

Parámetros	Normas
Metales Disueltos (ICP)	EPA 200.7(1994)
Metales Totales (ICP)	EPA 200.7(1994)

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INDECOPI-SNA

SIGLAS: "EPA": U.S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes



Oficina Administrativa: Paseo de la República 3760, San Martín
Laboratorio Av. Los Evallistas, Sector Santa Otaviano, Pisco 3-4,5 Urb.

**INFORME DE ENSAYO N° MA14060722
CON VALOR OFICIAL**

	Parámetros	Unidad	L.D.	Cód. Cliente				
				AC-01	AC-02	AC-03	AC-04	AC-05
				Cod. Lab.	1410108	1410109	1410110	1410111	1410112
Tipo de Producto		Agua R Industrial	Agua R Industrial	Agua R Industrial	Agua R Industrial	Agua R Industrial		
		Unidad	L.D.	Resultados				
Metales Disueltos (ICP)	Aluminio	mg/L	0,0189	20,89	22,77	0,0808	0,1831	0,5951
	Antimonio	mg/L	0,008	<0,008	0,023	<0,008	0,097	<0,008
	Arsénico	mg/L	0,0092	0,2359	0,2998	0,0148	<0,0092	<0,0092
	Bario	mg/L	0,0013	0,0442	0,0501	0,0253	0,0179	0,0209
	Bromo	mg/L	0,0003	0,0153	0,0172	<0,0003	<0,0003	<0,0003
	Bismuto (*)	mg/L	0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008
	Cadmio	mg/L	0,0078	0,8991	1,179	0,1658	0,3259	0,1820
	Cadmio	mg/L	0,0015	0,1441	0,1808	<0,0015	<0,0015	<0,0015
	Calcio	mg/L	0,048	221,8	235,0	612,8	589,5	582,6
	Cromo	mg/L	0,0044	0,0313	0,0445	<0,0044	<0,0044	<0,0044
	Cobalto	mg/L	0,0028	0,1388	0,1331	<0,0028	<0,0028	<0,0028
	Cobres	mg/L	0,0014	5,234	5,480	0,0158	0,0032	0,0133
	Cromo	mg/L	0,0018	0,0851	0,0888	<0,0018	<0,0018	<0,0018
	Estibio	mg/L	0,0138	<0,0138	<0,0138	<0,0138	0,0347	<0,0138
	Estroncio	mg/L	0,0012	1,704	1,730	1,880	1,852	1,524
	Fluoruro	mg/L	0,0043	0,2288	0,3427	<0,0043	0,0330	<0,0043
	Hierro	mg/L	0,0083	189,2	188,2	0,0262	0,0107	<0,0083
	Litio	mg/L	0,002	0,278	0,321	0,244	0,209	0,199
	Magnesio	mg/L	0,0134	>80,00	>80,00	0,0299	12,73	1,804
	Manganeso	mg/L	0,001	112,7	128,5	0,014	0,032	<0,001
	Níquel	mg/L	0,0034	<0,0034	<0,0034	<0,0034	0,0048	<0,0034
	Níquel	mg/L	0,0048	0,1912	0,2211	<0,0048	<0,0048	<0,0048
	Plata	mg/L	0,001	0,007	0,012	0,001	0,002	0,002
	Plomo	mg/L	0,004	0,492	0,408	0,038	0,004	<0,004
	Plata	mg/L	0,0090	8,133	8,586	8,268	18,02	10,45
	Selenio	mg/L	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	Silicio	mg/L	0,0022	19,09	>20,00	0,8882	0,5338	0,4048
	Sodio	mg/L	0,0284	80,88	73,15	38,41	40,57	31,48
	Talio	mg/L	0,0151	0,0428	0,0487	<0,0151	<0,0151	<0,0151
	Tiempo	mg/L	0,0009	<0,0009	<0,0009	<0,0009	<0,0009	<0,0009
Vanadio	mg/L	0,0018	<0,0018	<0,0018	0,0090	0,0056	0,0050	
Zinc	mg/L	0,0075	26,21	32,08	0,0731	<0,0075	<0,0075	

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INDECOPI-SHA.



**INFORME DE ENSAYO N° MA14060722
CON VALOR OFICIAL**

	Cód. Cliente	Cód. Lab.					
		AC-01	AC-02	AC-03	AC-04	AC-05	
		1410108	1410109	1410110	1410111	1410112	
	Tipo de Producto						
	Agua R. Industrial						
Parámetro	Unidad	L.D.	Resultados				
Aluminio	mg/L	0,0100	21,03	23,35	0,3005	0,2007	0,7894
Antimonio	mg/L	0,005	0,070	0,052	0,008	0,017	0,010
Arsénico	mg/L	0,0002	2,455	2,243	0,0172	<0,0002	0,0140
Bario	mg/L	0,0013	0,1261	0,0863	0,0253	0,0272	0,0221
Berilio	mg/L	0,0003	0,0154	0,0174	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Bismuto (*)	mg/L	0,008	<0,008	<0,008	0,010	0,012	<0,008
Boro	mg/L	0,0016	0,9834	1,213	0,1741	0,3345	0,2005
Cadmio	mg/L	0,0015	0,1488	0,1666	<0,0015	<0,0015	<0,0015
Cadmio	mg/L	0,040	225,3	242,1	830,6	630,9	817,5
Cerio	mg/L	0,0044	0,0376	0,0490	<0,0044	<0,0044	<0,0044
Cobalto	mg/L	0,0028	0,1426	0,1574	<0,0028	<0,0028	0,0104
Cobalto	mg/L	0,0014	5,304	5,714	0,0160	0,0080	0,0241
Cromo	mg/L	0,0010	0,0093	0,0131	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Estanio	mg/L	0,0138	0,0231	<0,0138	0,0293	0,0467	0,0215
Estroncio	mg/L	0,0012	1,780	1,780	1,686	1,660	1,667
Fósforo	mg/L	0,0243	1,650	1,8079	<0,0243	0,0776	<0,0243
Hierro	mg/L	0,0003	247,2	272,2	0,0001	0,1303	0,2325
Litio	mg/L	0,002	0,289	0,339	0,226	0,214	0,178
Magnesio	mg/L	0,0134	>50,00	>50,00	0,0343	13,02	1,867
Manganeso	mg/L	0,001	113,2	128,1	0,015	1,566	0,080
Molibdeno	mg/L	0,0034	<0,0034	<0,0034	0,0209	0,0222	<0,0034
Níquel	mg/L	0,0046	0,1980	0,2271	<0,0046	<0,0046	<0,0046
Plata	mg/L	0,001	0,011	0,013	0,003	0,003	0,003
Plomo	mg/L	0,004	0,657	0,588	0,009	0,014	<0,004
Platino	mg/L	0,0295	0,280	0,094	8,295	18,40	10,64
Selenio	mg/L	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Sodio	mg/L	0,0202	>20,00	>20,00	0,3657	0,6109	0,4315
Sodio	mg/L	0,0284	62,94	78,05	38,70	40,64	33,45
Talio	mg/L	0,0151	0,0517	0,0306	<0,0151	<0,0151	0,0293
Tiario	mg/L	0,0009	0,0031	0,0018	<0,0009	0,0031	<0,0009
Vanadio	mg/L	0,0018	0,0031	<0,0018	0,0093	0,0081	0,0081
Zinc	mg/L	0,0075	26,42	32,19	0,0780	0,0193	0,0488

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INDECOPI-SHA.



Oficina Administrativa: Paseo de la República 8700, San Mateo
Laboratorio: Av. Los Escorpiones, Sector Santa Olaya, Parcelas 3-4-5 Lurto

**INFORME DE ENSAYO N° MA14060722
CON VALOR OFICIAL**

		Cod. Cliente		AC-08	AC-07
		Cod. Lab.		1410113	1410114
		Tipo de Producto		Agua R. Industrial	Agua R. Industrial
Perímetros	Unidad	L.D.	Resultados		
	Aluminio	mg/L	0,0189	0,1075	0,0895
Antimonio	mg/L	0,008	0,082	<0,008	
Arsenico	mg/L	0,0092	0,1083	0,4830	
Bario	mg/L	0,0013	0,0315	0,0158	
Berilio	mg/L	0,0003	<0,0003	<0,0003	
Bismuto (*)	mg/L	0,008	<0,008	<0,008	
Boro	mg/L	0,0018	0,3298	0,2289	
Cadmio	mg/L	0,0015	<0,0015	0,0108	
Calcio	mg/L	0,048	535,3	368,0	
Cerio	mg/L	0,0044	<0,0044	<0,0044	
Cobalto	mg/L	0,0028	<0,0028	0,1368	
Cobro	mg/L	0,0014	<0,0014	<0,0014	
Cromo	mg/L	0,0018	<0,0018	<0,0018	
Estroncio	mg/L	0,0138	<0,0138	<0,0138	
Estroncio	mg/L	0,0012	2,885	1,445	
Fósforo	mg/L	0,0243	0,2831	<0,0243	
Hierro	mg/L	0,0083	0,0201	327,5	
Litio	mg/L	0,002	0,228	0,048	
Magnesio	mg/L	0,0134	35,13	>80,00	
Manganeso	mg/L	0,001	10,20	138,8	
Niobio	mg/L	0,0034	0,0038	<0,0034	
Niquel	mg/L	0,0048	<0,0048	0,2078	
Plata	mg/L	0,001	<0,001	0,009	
Plomo	mg/L	0,004	<0,004	<0,004	
Platino	mg/L	0,0298	40,48	21,80	
Selenio	mg/L	0,01	<0,01	<0,01	
Silicio	mg/L	0,0202	0,8589	13,30	
Sodio	mg/L	0,0284	45,93	34,08	
Talio	mg/L	0,0151	<0,0151	0,0628	
Titanio	mg/L	0,0009	<0,0009	<0,0009	
Vanadio	mg/L	0,0018	0,0044	<0,0018	
Zinc	mg/L	0,0075	0,0223	20,58	

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INDECOP-SNA.



INFORME DE ENSAYO N° MA14060722 CON VALOR OFICIAL


		Cod. Cliente	AC-05	AC-07
		Cód. Lab.	1410113	1410114
		Tipo de Producto	Agua R. Industrial	Agua R. Industrial
Parámetros	Unidad	L.D.	Resultados	
Aluminio	mg/L	0,0169	0,1473	0,2207
Antimonio	mg/L	0,006	0,106	0,018
Arsénico	mg/L	0,0082	0,1350	5,186
Bario	mg/L	0,0013	0,0322	0,0185
Berilio	mg/L	0,0003	<0,0003	<0,0003
Bismuto (*)	mg/L	0,008	<0,008	0,021
Boro	mg/L	0,0016	0,3398	0,2297
Cadmio	mg/L	0,0015	<0,0015	0,0142
Calcio	mg/L	0,046	549,7	372,0
Cerio	mg/L	0,0044	<0,0044	<0,0044
Cobalto	mg/L	0,0028	<0,0028	0,1489
Cobre	mg/L	0,0014	0,0017	<0,0014
Cromo	mg/L	0,0016	<0,0016	0,0024
Estañio	mg/L	0,0138	<0,0138	0,0194
Estroncio	mg/L	0,0012	2,731	1,467
Fósforo	mg/L	0,0243	0,7693	<0,0243
Hierro	mg/L	0,0063	0,0320	339,4
Litio	mg/L	0,002	0,236	0,048
Magnesio	mg/L	0,0134	35,79	>50,00
Manganeso	mg/L	0,001	10,50	145,7
Níquel	mg/L	0,0034	0,0094	<0,0034
Níquel	mg/L	0,0046	0,0090	0,2242
Plata	mg/L	0,001	0,001	0,009
Plomo	mg/L	0,004	<0,004	<0,004
Potasio	mg/L	0,0280	41,54	22,01
Selenio	mg/L	0,01	<0,01	<0,01
Silicio	mg/L	0,0202	0,6688	13,73
Sodio	mg/L	0,0284	47,80	34,78
Talio	mg/L	0,0131	<0,0131	0,0899
Tiario	mg/L	0,0009	<0,0009	<0,0009
Vanadio	mg/L	0,0018	0,0047	<0,0018
Zinc	mg/L	0,0075	0,0287	21,87

Legenda L.D = Límite de detección

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INDECOPI-SNA

Tiempo de Paralelidad de Muestras Muestra Tóxica y Disolvente por ICP : 25Seg
--

Lima, 3 de Julio del 2014


 Milagros Ramírez Arroyo
 Jefe de Operaciones Medio Ambiente
 COP 483



Oficinas Administrativas: Paseo de la República 3700, San Martín
 Laboratorio: Av. Los Escalfoles, Sector Santa Gertrudis, Periferia 3-4.5 Lurín

11.4. Certificado de verificación operacional

SVD Results Report



Report ID: Diagnostic Start Time: 20/10/2014 03:17:26 p.m. Diagnostic End Time: 20/10/2014 03:50:13 p.m.
Customer: U.P. Compañía de Minas Service Engineer: Henry Torres
Contact Details: htorres@gtp.com.pe

Instrument Configuration

Configuration:

Serial Number: MY12510004	Turret Type: Automatic
Instrument Model: Varian AA140/240/280	Number Of Lamps: 8
Flame Instrument: True	Mono Type: Automatic 0.333m
Furnace Instrument: True	Gasbox Type: Y Gas Box
Zeeman Present: False	Auto Burner Adjuster: True
Internal Zeeman: False	Mains Frequency: 60
Internal UltraAA: False	Firmware Version: 2.01
Optics Type: Double Beam	Photomultiplier Type: Normal(300nm)
D2 BG Correction Fitted: True	PWB Version: 1
Boot Block Version: 1.09	

EEPROM Data:

Instrument Run Hours: 681.593	D2 Run Hours: 92.633
Zero Wavelength Offset:	D2 Serial Number: not set 1
Mono Correction:	D2 Install Date: 01/01/1970
Flame Hours: 159.746	D2 Original Intensity: 1.000
	D2 Last Intensity: 394.000

Frequency:

	Averaging Period: 30.0	
	Datapoint Count: 20	
Upper Limit: 61.20	Average Frequency: 60.00	Highest Measured Frequency: 60.00
Lower Limit: 58.80		Lowest Measured Frequency: 60.00

Result: **Passed**

Power Supply:

Averaging Period: 30.0

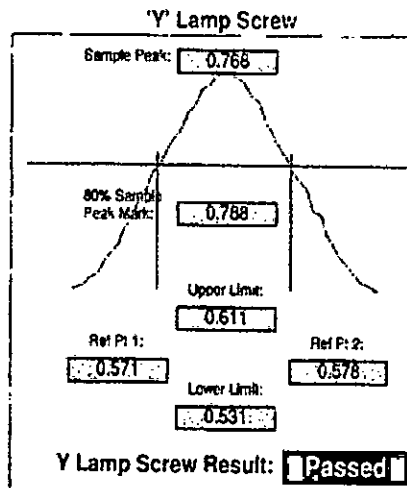
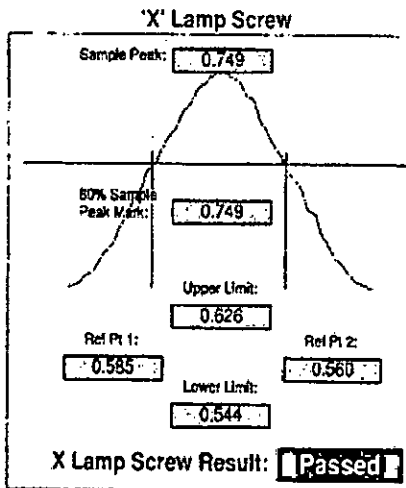
Datapoint Count: 20

	Lower Limit (V)	Actual (V)	Upper Limit (V)	Result:
12.00V Rail	10.80	12.16	13.20	Passed
-12.00V Rail	-13.20	-11.90	-10.80	Passed
5.00V Rail	4.50	5.05	5.50	Passed
310.00V Rail	279.00	320.00	341.00	Passed

Beam Balance:

Lamp Type:
Lamp Socket Used:

Peak Selected:
Lamp Alignment: **Performed**



Grating Squareness:

Lamp Element(s):
Lamp Turret Position:
Lamp Current(mA):
Slit Width(nm):
1st Order Wavelength(nm):
Lamp Alignment: **No: Performed**

	Lower Limit (nm)	Actual (nm)	Upper Limit (nm)	Result:
Zero Order				Untested
First Order				Untested
Second Order				Untested

Wavelength Repeatability:

Lamp Used: Copper **Lamp Current(mA):** 4
Peak Used(nm): 824.750 **Slit Width(nm):** 0.2
Connected to Socket: 4 **Slit Height:** Normal

Lamp Alignment: **Performed**

Lower Limit(nm) 324.857 324.977 **Upper Limit(nm)**

(Approach from Zero Order)

(Approach from end)

Sample 1: 324.917

Sample 2: 324.921

Sample 3: 324.921

Sample 4: 324.921

Sample 5: 324.921

Sample 6: 324.921

Sample 7: 324.921

Sample 8: 324.921

Sample 9: 324.921

Sample 10: 324.917

Mean: 324.921

Standard Deviation: 0.001

Result: **Passed**

Mechanical

Wavelength Drive:

Passed

Slit Drive:

Passed

Turret Drive:

Passed

Auto Burner Adjuster Drive:

Passed

Miscellaneous

Signal Processing Linearity:

Calculate Mode: New Calc Mode

	Lower Limit	Actual	Upper Limit	Result:
S0	114	205	297	Passed
S1	156	165	191	Passed
S2	271	298	332	Passed
S3	474	511	579	Passed
S4	825	920	1006	Passed
S5	1435	1534	1754	Passed
S6	2498	2774	3053	Passed
S7	4347	4762	5313	Passed

Interlocks:

Burner Fitted: **Working**
N2O Burner Fitted: **Working**
Flame Shield Closed: **Working**
Gas Control Fitted: **Untested**
Pressure Release Bung Fitted: **Working**
Liquid Trap Fitted: **Working**
Flame Detect: **Working**
GCU Active: **Working**
Oxidant Pressure: **Working**
Oxidant Changeover: **Working**
Ignition: **Working**

Auto Lamp Recognition:

Lamp 1: Uncoded Lamp/Not Connected
Lamp 2: Uncoded Lamp/Not Connected
Lamp 3: Uncoded Lamp/Not Connected
Lamp 4: Uncoded Lamp/Not Connected

Lamp 5: Uncoded Lamp/Not Connected
Lamp 6: Uncoded Lamp/Not Connected
Lamp 7: Uncoded Lamp/Not Connected
Lamp 8: Uncoded Lamp/Not Connected

Result: **Passed**


GTA Temperature Monitoring:

Not Performed

Notes:

El equipo pasa los de tes de verificación, por lo cual cumple los parametros establecidos de fabricano.

Signatures:


Henry Torres

21-11-2014
Date

11.5. Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM, Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero Metalúrgicas.

424114

NORMAS LEGALES

Lima, sábado 21 de agosto de 2010

la Ministra de Economía y Finanzas y por el Ministro de Transportes y Comunicaciones

Regístrese, comuníquese y publíquese.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

JAVIER VELÁSQUEZ QUESQUÉN
Presidente del Consejo de Ministros

MERCEDES ARÁOZ FERNÁNDEZ
Ministra de Economía y Finanzas

ENRIQUE CORNEJO RAMÍREZ
Ministro de Transportes y Comunicaciones

533964-6

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

**RESOLUCIÓN SUPREMA
N° 194-2010-PCM**

Lima, 20 de agosto de 2010

Vista, la Carta N° 818-GC-RJ/2010 del Gerente General del Consejo Directivo del Organismo Supervisor de la Inversión Privada en Telecomunicaciones - OSIPTEL; y,

CONSIDERANDO:

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 "I 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 y Comunicación - TIC en la Región Américas", a llevarse a cabo en la ciudad de Bogotá, República de Colombia, del 30 de agosto al 3 de septiembre de 2010.

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;

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;

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;

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;

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;

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;

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;

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;

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,

Estando a lo acordado;

SE RESUELVE.

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 septiembre de 2010, para los fines expuestos en la parte considerativa de la presente resolución.

Artículo 2°.- Los gastos que impongue el cumplimiento de la presente resolución se efectuarán con cargo al presupuesto del OSIPTEL, de acuerdo al siguiente detalle:

Tarifa Única por Uso de Aeropuerto	US\$ 31,00
Viáticos	US\$ 1 200,00

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.

Artículo 4°.- La presente Resolución no otorga derecho a exoneración o liberación de impuestos aduaneros de ninguna clase o denominación.

Artículo 5°.- La presente Resolución Suprema será refrendada por el Presidente del Consejo de Ministros.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

JAVIER VELÁSQUEZ QUESQUÉN
Presidente del Consejo de Ministros

533964-7



Aprueban Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas

**DECRETO SUPREMO
N° 010-2010-MINAM**

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA:

CONSIDERANDO:

Que, el artículo 3° de la Ley N° 28811, Ley General del Ambiente, dispone que al 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 Permissible - 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° 29158, 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, sinterización, 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 Permissible (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 ésta, 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 (6) 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 sesenta (60) 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 debe 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
- Fósforo
- 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° 011-99-EM/MMM, 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

FEDRO 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 Suspensión	mg/L	50	25
Aceites y Grasas	mg/L	20	15
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	1,3	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 de 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° 27780, de Organización y Funciones del

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

10

NORMAS LEGALES

Miércoles 7 de junio de 2017 /  El Peruano

Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias

DECRETO SUPREMO
N° 004-2017-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

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;

Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28611, 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;

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;

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;

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;

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;

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;

Que, asimismo, mediante Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM se modifican los ECA para Agua y se establecen disposiciones complementarias para su aplicación;

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;

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;

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,

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;

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;

DECRETA:

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.

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.

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:

3.1 Categoría 1: Poblacional y recreacional

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:

- 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.

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:

- 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, palabritas, 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 (°)	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) (d)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO ₂) (d)	mg/L	3	3	..
Amoníaco- N	mg/L	1,5	1,5	..
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	8,5 - 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
Moibdeno	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	**	**
Plomo	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 ₁₄)	mg/L	0,01	0,2	1,0
Trihalometanos (e)		1,0	1,0	1,0
Bromoformo	mg/L	0,1	**	**
Cloroformo	mg/L	0,3	**	**
Dibromodimetileno	mg/L	0,1	**	**
Bromodimetileno	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	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,009	0,009	**
Organofosforados				
Malatión	mg/L	0,19	0,0001	**
Organoclorados				
Aldrín - Dieldrín	mg/L	0,00003	0,00003	**
Clordano	mg/L	0,0002	0,0002	**
Dicloro Difnol Tricloroetano (DDT)	mg/L	0,001	0,001	**
Endosulfato	mg/L	0,0006	0,0006	**
Heptacloro - Heptacloro Epóxido	mg/L	0,00003	0,00003	**
Lindano	mg/L	0,002	0,002	**
Carbamato				
Aldicarb	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° Organismos/L	0	**	**
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	0	**	**
<i>Vibrio cholerae</i>	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Organismos de vida libre (algas, protozoos, copépodos, rotíferos, nemátodos, en todos sus estados evolutivos) (f)	N° Organismos/L	0	<5x10 ⁴	<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 Nitratos-N (NO₃-N), multiplicar el resultado por el factor 3.28 para expresarlo en unidades de Nitratos (NO₃).

(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:

$$\frac{C_{\text{Cloroformo}}}{ECA_{\text{Cloroformo}}} + \frac{C_{\text{Dibromoclorometano}}}{ECA_{\text{Dibromoclorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromodichlorometano}}}{ECA_{\text{Bromodichlorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromoformo}}}{ECA_{\text{Bromoformo}}} \leq 1$$

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.

Δ 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	0,08	**
Color	Color verdadero Escala PtCo	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 (NO ₃ -N)	mg/L	10	**
Nitratos (NO ₂ -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	0,005	**
Arsenico	mg/L	0,01	**
Bario	mg/L	0,7	**

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
Berilo	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
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	Ausencia	Ausencia
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**
<i>Giardia duodenalis</i>	N° Organismo/L	Ausencia	Ausencia
Enterococos intestinales	NMP/100 ml	200	**
<i>Salmonella spp</i>	Presencia/100 ml	0	0
<i>Vibrio cholerae</i>	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	0,052	0,052	**	0,025
Nitratos (NO ₃) (c)	mg/L	16	16	**	13
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4	≥ 3	≥ 2,5	≥ 5
Potencial de Hidrógeno (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 ₄)	mg/L	**	**	**	(1)
Arómomo	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
Plomo	mg/L	0,0081	0,0081	0,03	0,0025
Selenio	mg/L	0,071	0,071	**	0,005
Talio	mg/L	**	**	**	0,0008
Zinc	mg/L	0,081	0,081	0,12	1,0
ORGÁNICO					
Hydrocarburos 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					
Hydrocarburos 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	≤ 66 (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 Amoníaco 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	10,3	3,37	1,08	0,364	0,125	0,053	0,022
30	23,7	7,50	2,39	0,707	0,253	0,094	0,043	0,021

Nota:

(*)El estándar de calidad de Amoníaco 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 Amoníaco-N (NH₃-N), multiplicar el resultado por el factor 1,22 para expresarlo en las unidades de Amoníaco (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 (e)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Híd.	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala P.U. Co	100 (e)		100 (e)
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
Fosfatos	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitritos (NO ₂ -N) + Nitratos (NO ₃ -N)	mg/L	100		100
Nitratos (NO ₃ -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 (e)	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
ORGÁNICOS				
Bifenilos Policlorados				
Bifenilos Policlorados (PCB)	µg/L	0,04		0,045
PLAGUICIDAS				
Paratión	µg/L	35		35
Organoclorados				
Aldrin	µg/L	0,004		0,7
Clordano	µg/L	0,006		7
Dicloro Difend Tricloroetano (DDT)	µg/L	0,001		30
Dieldrin	µg/L	0,5		0,5
Endosulfán	µg/L	0,01		0,01
Endosín	µg/L	0,004		0,2
Hepcloruro y Hepcloruro Epóxido	µg/L	0,01		0,03
Lindano	µg/L	4		4
Carbamato				
Aldicarb	µg/L	1		11
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO				
Cócliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
Escherichia coli	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helmintos	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	(µS/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBQ)	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	0,052
Nitratos (NO ₃) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoníaco Total (NH)	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 Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ3	Δ3	Δ3	Δ2	Δ2
INORGÁNICOS						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,035	0,035
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	0,082	0,082
Piombo	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
Teluro	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
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						
Benz(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						
Aldrin	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
Dieldrin	mg/L	0,000058	0,000058	0,000058	0,0000019	0,0000019
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000087	0,0000087
Endrin	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,0000023	0,0000023
Heptacloro	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000035	0,0000035