



FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
OXIDACIÓN Y FLOCULACIÓN QUÍMICA PARA LA REMOCIÓN DE FIERRO Y
MANGANESO EN MUESTRAS SINTÉTICAS A NIVEL DE LABORATORIO, 2020

Línea de investigación:

Tecnología para residuos y pasivos ambientales. Biorremediación

Tesis para optar el título profesional Ingeniero Ambiental

Autor:

Campos Huamani, Michael Rober

Asesora:

Vega Ventosilla, Violeta
(ORCID: 0000-0002-7763-6993)

Jurado:

Mendoza García, José Tomas
Aparicio Ilazaca, Roxana Clara Yaquely
Vásquez Aranda, Ahuber Omar

Lima - Perú

2023

Document Information

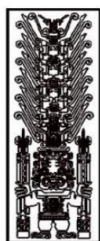
Analyzed document	Tesis para obtener titulo profesional - Michael Campos.docx (D135459409)
Submitted	2022-05-04 17:29:00 UTC+02:00
Submitted by	julio cesar leguia zamora
Submitter email	jleguia@unfv.edu.pe
Similarity	23%
Analysis address	jleguia.unfv@analysis.arkund.com

Sources included in the report

W	URL: http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/5062/Lopez_Rosello_Gabriel_Andre%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y Fetched: 2022-05-04 17:33:00
W	URL: http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/20469/1/401-1261%20pdf Fetched: 2022-05-04 17:31:00
SA	TESIS FINAL MANGANESO2018.docx Document TESIS FINAL MANGANESO2018.docx (D46395238)
W	URL: https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/7730/7720-0445517.pdf;jsessionid=28E19E353B9E98792A648C7EEF22FDD7?sequence=2 Fetched: 2022-05-04 17:30:00
W	URL: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-62302013000100003 Fetched: 2022-05-04 17:30:00
W	URL: http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/13518/1/13101638.pdf Fetched: 2022-05-04 17:32:00
W	URL: http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/7569/IQbaarlf.pdf?sequence=3&isAllowed=y Fetched: 2022-05-04 17:30:00
SA	Lizet Marlene Saavedra Sánchez.docx Document Lizet Marlene Saavedra Sánchez.docx (D113139342)
W	URL: http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4227/Delgado_Nina_Daniel_Angel_Santander_Pacoricona_Nancy_Edith.pdf?sequence=1&isAllowed=y Fetched: 2022-05-04 17:32:00
W	URL: http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/9476/UParopge.pdf?sequence=1&isAllowed=y Fetched: 2022-05-04 17:32:00
W	URL: http://eprints.uanl.mx/2728/1/1080237535.pdf Fetched: 2022-05-04 17:33:00
SA	Reduccion de colorantes en aguas residuales de la industria textil aplicando procesos de oxidacion avanzada.docx Document Reduccion de colorantes en aguas residuales de la industria textil aplicando procesos de oxidacion avanzada.docx (D24532841)
W	URL: http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/11155/Vilca_Cabana_Sebastian_Ramiro.pdf?sequence=1&isAllowed=y Fetched: 2022-05-04 17:33:00
SA	11595-Vilca Zegarra Andres Melquiades.pdf Document 11595-Vilca Zegarra Andres Melquiades.pdf (D39786372)
SA	DIAZ-NIETO.docx Document DIAZ-NIETO.docx (D27788752)
SA	9389 sotomayor_yg.pdf Document 9389 sotomayor_yg.pdf (D35754037)
SA	INFORME FINAL - CARLOS PEREYRA LEONARDO.pdf Document INFORME FINAL - CARLOS PEREYRA LEONARDO.pdf (D121298967)
SA	INFORME FINAL DE TESIS-ANDIA-CRISPIN-BAEZ.pdf Document INFORME FINAL DE TESIS-ANDIA-CRISPIN-BAEZ.pdf (D113722808)
W	URL: https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/3797/Hern%C3%A1ndezRodr%C3%ADguezCarolBrigitte2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y Fetched: 2022-05-04 17:33:00

Entire Document

Vicerrectorado de INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
"OXIDACIÓN Y FLOCULACIÓN QUÍMICA PARA LA REMOCIÓN DE FIERRO Y MANGANESO EN MUESTRAS SINTÉTICAS A NIVEL DE LABORATORIO, 2020"



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

OXIDACIÓN Y FLOCULACIÓN QUÍMICA PARA LA REMOCIÓN DE FIERRO Y
MANGANESO EN MUESTRAS SINTÉTICAS A NIVEL DE LABORATORIO, 2020

Línea de investigación:

Tecnología para residuos y pasivos ambientales. Biorremediación

Tesis para optar el Título Profesional Ingeniero Ambiental

Autor:

Campos Huamani, Michael Rober

Asesora:

Vega Ventosilla, Violeta
ORCID: 0000-0002-7763-6993

Jurado(a):

Mendoza García, José Tomas
Aparicio Ilazaca, Roxana Clara Yaquely
Vásquez Aranda, Ahuber Omar

Lima – Perú

2022

INDICE

RESUMEN.....	10
ABSTRACT	11
1. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1. Descripción y formulación del problema.....	13
1.1.1. Descripción del problema.....	13
1.1.2. Formulación del Problema.....	15
1.2. Antecedentes.....	15
1.2.1. Antecedentes Internacionales	15
1.2.2. Antecedentes Nacionales	20
1.3. Objetivos.....	24
1.3.1. Objetivo General.....	24
1.3.2. Objetivos Específicos	24
1.4. Justificación.....	24
1.5. Hipótesis.....	25
1.5.1. Hipótesis General.....	25
1.5.2. Hipótesis Específicas.....	25
II. MARCO TEÓRICO.....	26
2.1. Bases Teóricas sobre el Tema de Investigación	26
2.1.1. Calidad de Agua.....	26
2.1.2. Aguas Residuales: Origen, Composición e Importancia	26
2.1.3. Contaminantes del Agua	27
2.1.4. Metales Pesados.....	30
2.1.5. Remoción de Metales Pesados.....	30
2.1.6. Tecnologías para la Remoción de Metales Pesados	31
2.1.7. Procesos de Oxidación Avanzada	33
2.1.8. Eliminación de Contaminantes por Procesos de Oxidación Avanzada ..	34
2.1.9. Reacciones de Oxidación Avanzada	36
2.1.10. Fotólisis	37
2.1.11. Fotólisis Homogénea	39
2.1.12. Reacción Fenton	40
2.1.13. Factores que afectan el Proceso Fenton	41
2.1.14. Floculación.....	41
2.1.15. Factores que influyen en la Floculación.....	42
2.1.16. Tipo de Floculadores.....	43
2.1.17. Coagulación	46
2.1.18. Coagulantes Naturales.....	49
2.1.19. Electrocoagulación.....	50
2.1.20. Factores que Influyen en la coagulación.....	50
2.1.21. Manganeseo	51
2.1.22. Presencia del Manganeseo en el Agua	52
2.1.23. Hierro	52
2.2. Marco Conceptual.....	53
2.2.1. Definición de Términos.....	53

2.2.2.	Marco Legal Ambiental.....	55
III.	MÉTODO.....	61
3.1.	Tipo de investigación	61
3.2.	Ámbito temporal y espacial.....	61
3.2.1.	Ámbito temporal	61
3.2.2.	Ámbito espacial	62
3.3.	Variables	62
3.3.1.	Variable Independiente	62
3.3.2.	Variable Dependiente	62
3.4.	Población y muestra.....	64
3.4.1.	Población.....	64
3.4.2.	Muestra	64
3.5.	Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos	64
3.5.1.	Técnicas	64
3.5.2.	Instrumentos.....	65
3.5.3.	Fuentes	65
3.6.	Procedimiento.....	65
3.6.1.	Preparación de muestras, oxidantes y floculante químico.	65
3.6.2.	Ensayos de Prueba de Jarras.....	66
3.6.3.	Determinación de Hierro y Manganeseo	67
3.6.4.	Análisis Final	67
3.7.	Análisis de datos.....	68
IV.	RESULTADOS	69
4.1.	Resultados de la dosis óptima para la remoción de Manganeseo.....	69
4.1.1.	Primer ensayo.....	70
4.1.2.	Segundo ensayo	71
4.1.3.	Tercer ensayo	73
4.1.4.	Cuarto ensayo.....	74
4.1.5.	Quinto ensayo.....	76
4.1.6.	Sexto ensayo	78
4.2.	Resultados de la dosis óptima para la remoción de Hierro.....	79
4.2.1.	Primer ensayo.....	80
4.2.2.	Segundo ensayo:	82
4.2.3.	Tercer ensayo:	84
4.2.4.	Cuarto ensayo.....	85
4.2.5.	Quinto ensayo.....	87
4.2.6.	Sexto ensayo	89
4.3.	Resultados de la eficiencia en la remoción de Manganeseo	90
4.3.1.	Primer ensayo.....	91
4.3.2.	Segundo ensayo	91
4.3.3.	Tercer ensayo	92
4.3.4.	Cuarto ensayo.....	92
4.3.5.	Quinto ensayo.....	92
4.3.6.	Sexto ensayo	93
4.4.	Resultados de la eficiencia en la remoción de Hierro	93
4.4.1.	Primer ensayo.....	93
4.4.2.	Segundo ensayo	94
4.4.3.	Tercer ensayo	94

4.4.4.	<i>Cuarto ensayo</i>	95
4.4.5.	<i>Quinto ensayo</i>	95
4.4.6.	<i>Sexto ensayo</i>	96
4.5.	Análisis Inferencial	96
V.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	104
VI.	CONCLUSIONES	107
VII.	RECOMENDACIONES	108
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
IX.	ANEXOS	112
	Anexo A	112
	Anexo B	112

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales Contaminantes en Aguas Residuales Municipales, origen y relevancia ..	29
Tabla 2. Procesos de Oxidación Avanzada	34
Tabla 3. Procesos de Oxidación Avanzada y su eficiencia	35
Tabla 4. Poder Coagulante relativo de distintos Reactivos	48
Tabla 5. Efectos de la coagulación sobre sustancias contenidas en el agua	49
Tabla 6. Operacionalización de variables de Investigación	63
Tabla 7. Dosis óptima para 160 mg/l de Mn	70
Tabla 8. Dosis óptima para 150 mg/l de Mn	72
Tabla 9. Dosis óptima para 140 mg/l de Mn	73
Tabla 10. Dosis óptima para 130 mg/l de Mn	75
Tabla 11. Dosis óptima para 120 mg/l de Mn	77
Tabla 12. Dosis óptima para 110 mg/l de Mn	78
Tabla 13. Dosis óptima para 300 mg/l de Fe	81
Tabla 14. Dosis óptima para 290 mg/l de Fe	83
Tabla 15. Dosis óptima para 280 mg/l de Fe	84
Tabla 16. Dosis óptima para 270 mg/l de Fe	86
Tabla 17. Dosis óptima para 260 mg/l de Fe	88
Tabla 18. Dosis óptima para 250 mg/l de Fe	89
Tabla 19. Eficiencias del primer ensayo para Mn de 160 mg/l	91
Tabla 20. Eficiencias del segundo ensayo para Mn de 1560 mg/l	91
Tabla 21. Eficiencias del tercer ensayo para Mn de 140 mg/l	92
Tabla 22. Eficiencias del cuarto ensayo para Mn de 130 mg/l	92
Tabla 23. Eficiencias del quinto ensayo para Mn de 120 mg/l	93
Tabla 24. Eficiencias del sexto ensayo para Mn de 110 mg/l	93

Tabla 25. Eficiencias del primer ensayo para Fe de 300 mg/l	94
Tabla 26. Eficiencias del segundo ensayo para Fe de 290 mg/l	94
Tabla 27. Eficiencias del tercer ensayo para Fe de 280 mg/l.....	95
Tabla 28. Eficiencias del cuarto ensayo para Fe de 270 mg/l.....	95
Tabla 29. Eficiencias del quinto ensayo para Fe de 260 mg/l.....	96
Tabla 30. Eficiencias del sexto ensayo para Fe de 250 mg/l	96
Tabla 31. Aplicación de Dosis de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ para la Remoción de Mn	97
Tabla 32. Porcentaje de Remoción de Mn aplicando $\text{Ca}(\text{ClO})_2$	98
Tabla 33. Aplicación de Dosis de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ para la Remoción de Fe.....	100
Tabla 34. Porcentaje de Remoción de Fe aplicando $\text{Ca}(\text{ClO})_2$	102

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Reacción de Oxidación Avanzada.....	37
Figura 2 Mecanismo de Floculación mediante Creación de Puentes	46
Figura 3 Coagulación.....	47
Figura 4 Dosis Vs. Concentración para 160 mg/l de Mn.....	71
Figura 5 Dosis Vs. Concentración para 150 mg/l de Mn.....	72
Figura 6 Dosis Vs. Concentración para 140 mg/l de Mn.....	74
Figura 7 Dosis Vs. Concentración para 130 mg/l de Mn.....	75
Figura 8 Dosis Vs. Concentración para 120 mg/l de Mn.....	77
Figura 9 Dosis Vs. Concentración para 110 mg/l de Mn.....	79
Figura 10 Dosis Vs. Concentración para 300 mg/l de Fe	81
Figura 11 Dosis Vs. Concentración para 290 mg/l de Fe	83
Figura 12 Dosis Vs. Concentración para 280 mg/l de Fe	85
Figura 13 Dosis Vs. Concentración para 270 mg/l de Fe	86
Figura 14 Dosis Vs. Concentración para 260 mg/l de Fe	88
Figura 15 Dosis Vs. Concentración para 250 mg/l de Fe	90
Figura 16 Resultados de la prueba ANOVA para la oxidación con $CA(CLO)_2$ para remover Mn.....	98
Figura 17 Resultados de la prueba ANOVA para analizar la eficiencia de remoción de Mn	99
Figura 18 Resultados de la prueba ANOVA para la oxidación con $CA(CLO)_2$ para remover Fe.....	101
Figura 19 Resultados de la prueba ANOVA para analizar la eficiencia de remoción de Fe.....	103

DEDICATORIA

Dedico de todo corazón a mis padres Demetrio y Victoria que gracias a Dios los tengo en vida, ellos son quienes me forjaron como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este.

Así mismo a mi hijita Camila Luana quien es la más importante de mi vida. Ella es la que me dio motivos y más fuerzas para poder retomar y concluir esta etapa de mi formación profesional.

AGRADECIMIENTO

A Dios por permitir tener a toda mi familia en vida, gracias a mi familia en cada decisión y proyecto, sobre todo por creer y confiar en mí. No ha sido sencillo el camino hasta ahora, pero gracias a sus aportes, el amor y apoyo incondicional, lo complicado de lograr esta meta se ha notado menos. Les agradezco y hago presente mi gran afecto hacia ustedes, mi hermosa familia.

Agradecer a Dios por permitirme el día a día y me demuestre lo hermoso que es la vida de cada momento y lo justa que puede llegar a ser.

RESUMEN

Desde hace tiempo se sabe que la calidad de las aguas residuales industriales no reúne las condiciones para ser vertidos a los cuerpos receptores o ser rehusadas, motivo por el cual se aplica diferentes métodos de tratamiento para remover los contaminantes, con el fin de que se pueda cumplir con las normativas vigentes. Dentro del grupo de metales tenemos que los niveles de Fe y Mn contenidos en los efluentes industriales resultan muchas veces difíciles de tratar, sobre todo para el caso del Mn, quien requiere para su remoción niveles de pH elevados, excediendo los LMP en muchos casos. En la presente investigación se propone el uso de un agente oxidante y floculante químico en un trabajo experimental a nivel de laboratorio, a fin de alcanzar mayores eficiencias de remoción, en tal sentido se formuló la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo es la capacidad de oxidación y floculación química para la remoción de Fe y Mn en muestras sintéticas a nivel de laboratorio?, pregunta que nos llevó a plantearnos como objetivo general, evaluar la capacidad de oxidación y floculación química para la remoción de Fe y Mn en muestras sintéticas a nivel de laboratorio. Para alcanzar el objetivo propuesto se trabajó con un agente neutralizante de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ al 5%, con la finalidad de incrementar el pH de la muestra y remover inicialmente un porcentaje determinado de Fe y Mn, para luego pasar a la adición del oxidante en base a $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ al 0.1% 1%, complementado con el floculante de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ al 0.1%, a fin de obtener la mayor eficiencia de remoción. Los resultados obtenidos en la investigación indicaron que, para remover el Mn y Fe considerablemente se necesitó una dosis de 2.5 ml de oxidante para ambos casos. Así mismo, las eficiencias máximas de remoción de Mn y Fe fueron del 99.5 y 99.9%, concluyéndose que el tratamiento de oxidación y floculación química poseen una elevada eficiencia, pudiendo ser aplicado para la remoción de dichos metales presentes en diferentes efluentes industriales o en aguas naturales que contengan niveles elevados de Fe y Mn.

Palabras Clave: Floculación, Metal Pesado, Concentración

ABSTRACT

It has been known for a long time that the quality of industrial wastewater does not meet the conditions to be discharged into receiving bodies or to be rejected, which is why different treatment methods are applied to remove contaminants, in order to be able to comply with current regulations. Within the group of metals, we have that the levels of Fe and Mn contained in industrial effluents are often difficult to treat, especially in the case of Mn, which requires high pH levels for its removal, exceeding the PML in many cases. In the present investigation, the use of an oxidizing agent and chemical flocculant is proposed in an experimental work at the laboratory level, in order to achieve higher removal efficiencies, in this sense, the following research question was formulated: How is the capacity of oxidation and chemical flocculation for the removal of Fe and Mn in synthetic samples at the laboratory level?, a question that led us to consider ourselves as a general objective, to evaluate the oxidation and chemical flocculation capacity for the removal of Fe and Mn in synthetic samples at the laboratory level. from laboratory. To achieve the proposed objective, a 5% Ca (OH)₂ neutralizing agent was used, in order to increase the pH of the sample and initially remove a certain percentage of Fe and Mn, to then proceed to the addition of the oxidant. based on 0.1% 1% Ca (ClO)₂, supplemented with 0.1% Al₂(SO₄)₃ flocculant, in order to obtain the highest removal efficiency. The results obtained in the investigation indicated that, to remove Mn and Fe considerably, a dose of 2.5 ml of oxidant was needed for both cases. Likewise, the maximum removal efficiencies of Mn and Fe were 99.5 and 99.9%, concluding that the oxidation treatment and chemical flocculation have a high efficiency, and can be applied for the removal of said metals present in different industrial effluents or in waters. that contain high levels of Fe and Mn.

Keywords: Flocculation, Heavy Metal, Concentration.

INTRODUCCIÓN

Las concentraciones de Manganeseo en el agua potable que superan el actual valor máximo recomendado de 0.05 mg Mn/l, según la Unión Europea y USEPA (Máximo Nivel de Contaminante) pueden traer problemas para los consumidores y en accesorios de plomería, manchas de ropa, agua descolorida y sabor y olor. También la exposición al manganeso produce la degeneración y anomalías en el movimiento de las neuronas dopaminérgicas. Se sabe que hay altos niveles de manganeso en las aguas subterráneas y aguas superficiales ricas en materia orgánica, como el río Bajiang (distrito de Huadu, Guangzhou, China), donde la concentración de manganeso suele ser de 0,2 a 0,3 mg/l y, en ocasiones, superior (Yu et al., 2015).

Según el Informe de 2006 sobre la Medio ambiente en Eslovaquia, la concentración de hierro superó el límite de $0,2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ en más del 36,5 % de las muestras, y la concentración de manganeso superó el límite de $0,05 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ en más del 40,1 % de las muestras de aguas subterráneas. Los valores límite se definen en el Reglamento del Gobierno de la República Eslovaca No. 354/2006 que especifica los requisitos sobre el agua destinada al consumo humano y la calidad del agua destinada al consumo humano (Barloková y Ilavsky, 2009).

La forma del Manganeseo en dichas aguas ya sea inorgánico u orgánico, depende de su origen y de la calidad general del agua, así, en aguas superficiales con un alto concentración de materia orgánica, el Manganeseo puede ser orgánicamente complejo y su el comportamiento depende del tipo y la concentración de las sustancias orgánicas asociadas. El manganeso complejo orgánicamente es muy estable y difícil de eliminar durante tratamiento convencional de agua potable. La alta concentración de Mn en el río Bajiang con un pH cercano a 8 es un buen ejemplo, que es la base del estudio de reportado en la investigación (Yu et al., 2015).

1.1 Descripción y formulación del problema

1.1.1 Descripción del problema

Las aguas naturales presentan muchos elementos y sustancias en pequeñas cantidades o trazas, las cuales se generan principalmente por el lavado de materiales geológicos, sin embargo, dependiendo del uso que se le vaya a destinar a estos cuerpos de agua, deberán reunir ciertos requisitos de calidad. Asimismo, muchos procesos industriales dentro de sus propias etapas productivas generan efluentes con diversas sustancias contaminantes, las cuales requieren ser tratadas adecuadamente para evitar su impacto al medio ambiente, sobre todo cuando éstas van a ser descargadas a un cuerpo receptor. Dentro de la gran variedad de elementos y compuestos que existen en la naturaleza tenemos algunos aniones como cloruros, carbonatos, sulfatos, nitratos, silicatos etc., y cationes como el magnesio, potasio, calcio, sodio, azufre, fierro, manganeso, cobre, plomo, cadmio, mercurio etc., donde éstos últimos corresponden a los denominados metales pesados, los cuales por su propia naturaleza presentan en muchos casos un alto grado de toxicidad. Los metales pesados tienen efectos teratogénicos, mutagénicos y carcinogénicos en el ser humano, así también en otros organismos, debido a que éstos presentan cierta capacidad de bioacumulación y biomagnificación, características principales de los metales en general, motivo por el cual deben ser siempre removidos de los efluentes antes de ser vertidos.

Dentro del grupo de metales pesados tenemos al Hierro y Manganeso, que si bien es cierto no están considerados como aquellos que presentan un alto grado de toxicidad, éstos en altas concentraciones pueden ocasionar el mismo daño como otro metal pesado cualquiera, así sabemos por ejemplo que la intoxicación con Hierro menos de 40 mg/kg se considera como leve, entre 40-60 mg/kg como moderada y más 60 mg/kg es potencialmente letal en el ser humano, así mismo, la acumulación excesiva de Hierro en los tejidos de muchas plantas

produce un oscurecimiento de las hojas o les da un tono bronceado. Cuando se acumula una concentración elevada de Hierro en la rizosfera, esta se afecta en su metabolismo y la capacidad de absorción de nutrientes se ve disminuida considerablemente.

El Manganeseo es otro elemento muy común que puede ser encontrado en muchos lugares en la tierra, es uno de los tres elementos trazas considerados tóxicos esenciales, lo cual significa que no es sólo necesario para la supervivencia del hombre, sino que también es tóxico cuando está presente en elevadas concentraciones en humanos, cuando los hombres se exponen al manganeseo por largos periodos de tiempo el daño puede llegar a ser grave. El Manganeseo que deriva de las fuentes antropogénicas puede también ingresar en los cuerpos de agua superficial y subterránea por vertidos de aguas residuales de tipo industrial generalmente.

La industria minera es una de las principales actividades generadora de efluentes con contenido de metales pesados, siendo el Manganeseo uno de los metales más complejos de remover por su dificultad de precipitar por completo en pH alcalino a diferencia de los demás metales. En este sentido es importante desarrollar métodos que permitan remover dichos metales de los efluentes antes de que estos sean vertidos a los diferentes cuerpos receptores. Dentro de las técnicas de remoción tenemos diferentes métodos, como la oxidación, reducción, precipitación química, adsorción, filtración, osmosis inversa, etc., los cuales permiten obtener resultados bastante aceptables como solución al problema, sin embargo, estos métodos utilizan muchas veces elevadas cargas de energía, no haciéndolo ecoeficiente ni amigable con el ambiente.

El método que se propone en la presente investigación es el de combinar la oxidación con floculación química, a fin de obtener mayores eficiencias y hacerlo a su vez menos impactante al ambiente.

1.1.2 Formulación del Problema

1.1.2.1 Problema general

¿Cómo será la capacidad de Oxidación y Floculación Química para la remoción de Hierro y Manganeseo en muestras sintéticas a nivel de laboratorio, 2020?

1.1.2.2 Problemas específicos

- a) ¿Cuál es la dosis óptima del oxidante y el floculante químico para la remoción de Manganeseo en muestras sintéticas a nivel de laboratorio?
- b) ¿Cuál es la dosis óptima del oxidante y el floculante químico para la remoción de Hierro en muestras sintéticas a nivel de laboratorio?
- c) ¿Cuál es la eficiencia del oxidante y el floculante químico para la remoción de Manganeseo en muestras sintéticas a nivel de laboratorio?
- d) ¿Cuál es la eficiencia del oxidante y el floculante químico para la remoción de Hierro en muestras sintéticas a nivel de laboratorio?

1.2 Antecedentes

1.2.1 Antecedentes Internacionales

Román y Martínez (2017), en su investigación, plantearon como objetivo general: Estudiar el proceso de oxidación avanzada por medio de la reacción Fenton en aguas residuales provenientes de plantas extractoras de oro en condiciones de pH básico. Esta investigación se desarrolló reconociendo que en las ciudades de Zaruma y Portovelo - provincia de El Oro, diversas plantas extractoras de oro han ocasionado daños severos en los ríos Calera y Amarillo, ya que estas se desarrollan cerca a estos ríos, y realizando sus descargas de aguas residuales sin tratamiento previo. Dentro de la metodología, se realizó un muestreo en una planta extractora de oro, la toma de muestras se tomó en un punto final del proceso de extracción de oro, luego se realizó el análisis del agua para determinar las concentraciones de los

contaminantes, así como la determinación de las características del efluente y se aplicó el método y determinación para la dosificación más eficiente. Es así como se encontró que la muestra presenta 3365 mg/Lt de la DQO y 46 mg/Lt de cianuro, por lo que se sometió a un proceso de sedimentación y para alcanzar una DQO de 800 mg/Lt, se aplicó la reacción Fenton, y se alcanzó una remoción de la DQO de 42,11% y del cianuro del 99,91%. Concluyéndose que al aplicar la reacción Fenton en el tratamiento de aguas residuales provenientes de procesos extractivos de Oro en empresas mineras, se pueden obtener remociones de cianuro 99,99%, Cu 58,70%, Cr^{+6} , 97,02%, Fe 97,53%, color 98,18%, turbidez 99,99%, de la DQO 94,62% y sólidos suspendidos 99,99%, cumpliendo con la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua.

Marín (2011), en su investigación realizada sobre *“Remoción de Hierro y Manganese por Oxidación con Cloro y Filtración en Grava”* planteó como objetivo general: Evaluar a escala piloto la remoción de Hierro y Manganese por oxidación con cloro seguido de filtración en gravas de flujo ascendente en múltiples etapas. En esta investigación se estudió la remoción del Hierro y el Manganese empleando como oxidante el cloro, y posteriormente un sistema de filtración en gravas de flujo ascendente FGA, el cual consistió en tres etapas, contando con velocidades de filtración de 2 m/h, 3.5 m/h y 5.0 m/h para las concentraciones afluentes de hierro total de 9.7 mg/L, 5.9 mg/L y 4.2 mg/L, respectivamente. Se identificó los requisitos económicos y operativos para implementar el sistema de tratamiento y así mismo se propuso la matriz de selección de tecnología para la remoción de hierro y manganeso basado en diversas etapas de FGA con oxidación con cloro. Se obtuvo que para una velocidad de filtración de 5m/h, y con 3 etapas de FGA, y con una concentración afluente de Fe entre 3.9- 4.9 mg/L y de Mn entre 0.9-1.2 mg/L se tienen efluentes de Fe y Mn por debajo de los valores de la norma colombiana de calidad de agua. Para concentraciones de Fe entre 5.9 y 9.7 mg/l con una velocidad de filtración de 3.5 y 2.0 m/h, en 3 etapas de FGA, se alcanzaron eficiencias de

remoción de Fe de 87% y 83%, y Mn 90% y 86%, sin embargo, se necesitan barreras adicionales para justificar la remoción de estos parámetros por debajo de los valores (0.3 para Fe total y 0.1 para Mn). Mientras para los valores de pH del agua cruda de 6.9 -7.9, se alcanzó una óptima oxidación de Fe y Mn por procesos fisicoquímicos para facilitar la precipitación y remoción de Fe y Mn se empleó un tiempo de retención mayor a 30 minutos. Obteniéndose así que la máxima reducción de Fe y Mn del sistema piloto estudiado se lograron en la 1era etapa FGA, el cual indicó la mayor cantidad de depósitos específicos, con valores entre 400- 450 g/m³. El mecanismo de adherencia sobresale en función a los mecanismos de transporte, en los FGA, como resultado de la desestabilización de las partículas por la oxidación química. El mecanismo de transporte que más ha influenciado sobre la filtración fue la sedimentación. Las velocidades de filtración utilizadas para el tratamiento por oxidación con FGA (de 2 y 5m/h) logran que esta tecnología sea una alternativa para el tratamiento de aguas subterráneas con elevadas concentraciones de Fe. Con los resultados alcanzados se realizó una evaluación para cada concentración, teniendo en cuenta las etapas FGA en función a la calidad del agua cruda para Fe, Mn, color aparente y pH, en función a las velocidades de filtración con valores de 2 y 5 m/h, considerando el tamaño y espesor del medio filtrante y la dosificación de hipoclorito de sodio. Concluyéndose que la tecnología estudiada es eficiente para el 85% de sistemas con pozo de la región, que presente concentraciones de Fe de 5 mg/L y de Mn de 1 mg/L. La oxidación con cloro se emplea para aguas subterráneas o superficiales, pero para aguas con elevado contenido de materia orgánica no se recomienda por los riesgos de que se formen subproductos de la oxidación con el cloro.

Cuchimaque et al. (2013) en su artículo científico sobre “*Remoción de Fe y Mn en aguas naturales por adsorción-oxidación sobre clinoptilolita*”, demuestra la eficiencia en la remoción de Fe y Mn de aguas naturales utilizando un medio adsorbente: zeolita natural (clinoptilolita), recubierta con Fe₂O₃ y MnO₂ a partir de FeCl₃ y MnSO₄. La zeolita posee una

gran capacidad de intercambio catiónico. El proceso de remoción es por adsorción-oxidación de metales sobre la superficie de la capa de óxido que cubre el grano de zeolita. En los ensayos de remoción a través del uso de filtración se analizó el pH, concentraciones de Fe y Mn, caudal en el afluente y altura de la capa de la zeolita. Se empleó concentraciones de 1,0-7,0 mg/L de Fe y de 0,5-3,0 mg/L para Mn, con un pH de 6,0-8,0. Concluyéndose que la eficiencia de la remoción se reduce con el incremento de la concentración de Fe, con niveles de pH elevados ($> 7,5$), por la formación de precipitados de Fe_2O_3 provocando se sature el medio. La adsorción de Fe y Mn mejora al emplearse zeolita acoplada a capas de Fe_2O_3 y MnO_2 a partir de las sales FeCl_3 y MnSO_4 . La altura de la capa de zeolita y el caudal son los principales factores que determinan la remoción de Fe y Mn, principalmente cuando hay grandes concentraciones de estos metales para realizar la remoción. Las pruebas se trabajaron en 8 series con concentraciones diferentes de Hierro (1.46, 1.009, 3.47, 3.14, 1.009, 1.14, 4.75 y 1.528 mg/l) y Manganeseo (0.207, 0.232, 0.546, 0.472, 2.317, 2.499, 2.82 y 0.634 mg/l), obteniéndose resultados de remoción de Hierro en el orden del 96.4% para la serie 7 con MnO_2 y 86.5% para la serie 3 trabajados con Fe_2O_3 , así mismo, para la remoción de Manganeseo, se obtuvo resultados de eficiencias en el orden del 100% para las series 1 y 2 con MnO_2 ; y también 100% de eficiencias para las series 1, 2, 6 y 8 trabajados con Fe_2O_3 .

Bracho et al. (2012) en su estudio que realizaron sobre: *“Evaluación de la cinética de precipitación del Hierro y Manganeseo disueltos en agua subterránea utilizando aire o hipoclorito de sodio como oxidante”*, establecen como objetivo: Determinar las mejores condiciones para la eliminación de hierro y manganeseo disueltos en agua subterránea de uso industrial, utilizando como oxidantes aire e hipoclorito de sodio a varias concentraciones y cal hidratada para amortiguar el descenso del pH. Dentro de la metodología de esta investigación se realizaron ensayos, denominado Método de jarras, se calculó el pH y tiempo de decantación en las muestras de agua tratada por 5, 10 y 20 min. Finalmente se procedió a analizar la

concentración de los metales disueltos por ICP. Obteniéndose que el Mn es más difícil de oxidar que el Fe, y que el hipoclorito es mejor agente oxidante que el aire bajo las condiciones del ensayo y que la cal disminuye significativamente el tiempo de decantación del precipitado; el tratamiento que alcanzó mayor efectividad para la reducción de Fe y Mn incluyó con la adición de 0,3 ml de una solución de hipoclorito de sodio al 3,5% y 0,3 g de cal, por litro de agua. Concluyéndose que el máximo porcentaje de reducción de Fe disuelto fue de 99% mientras que para el Mn fue de 54%.

Alfaro (2017), en su investigación que realizó sobre: *“Evaluación del sistema de tratamiento para la remoción de Hierro y Manganeso en agua de abastecimiento de la Colonia Guadalupe, Municipio de Tejutla departamento de Chalatenango”*, Planteó como objetivo: Evaluar la eficiencia en la remoción de Hierro y Manganeso del sistema de abastecimiento de agua, con que cuenta la con unidad para satisfacer la demanda de sus usuarios. Dentro de la metodología de la investigación se establecieron diversos puntos de muestreo, considerando cada proceso unitario de tratamiento, para obtener datos del comportamiento de las concentraciones de Hierro y Manganeso durante el tratamiento. El sistema se evaluó en 2 momentos: en 1er momento muestra al sistema funcionando sin mejoras, indicando que los valores de Fe y Mn fluctúan en función al LMP ya que en algunos registros se cumple con la normativa y en otros registros no cumple; y en el 2do momento el sistema funciona con mejoras, ya que con la determinación de dosis de hipoclorito de Calcio, se elaboraron filtros para remover solidos fabricados con esponjas, también se instaló un depósito que sirvió de barrera para optimizar la retención de Fe y Mn, estas mejoras hicieron que los valores de las concentraciones de Fe y Mn se encuentren por debajo de 0.3 mg/l y 0.1 mg/l respectivamente, cumpliendo con la normativa Salvadoreña establecida para agua potable. Se concluye que el sistema de agua el cual presenta mejoras puede remover de 79.83 a 94.5% de Fe y de 85.1 a 88.94% de Mn; y que la dosificación de hipoclorito de calcio al 70% que se empleó en el

sistema se pierde en el proceso de oxidación de Fe y Mn, registrándose sólo presencia de cloro residual luego del clorador y de la aireación.

1.2.2 Antecedentes Nacionales

Belizario y Del Carpio (2018), en su estudio sobre “*Evaluación de parámetros para la remoción de Arsénico y Manganeseo de agua subterránea de la Punta de bombón usando zeolita natural (Clinoptilolita)*”, plantearon como objetivo general: Evaluar los parámetros de remoción propuestos para reducir la concentración de Arsénico y Manganeseo del agua subterránea del distrito de la Punta de Bombón, usando zeolita clinoptilolita como medio adsorbente. En este estudio se tiene que el agua potable que se sirve a la población del distrito de la Punta de Bombón tiene pozos subterráneos como fuente; estas aguas son sometidas a tratamientos fisicoquímico (desinfección) previamente, a fin de disminuir la concentración de los contaminantes que alteran la salud de los pobladores. Cuando se analizó el agua que llega a la red domiciliaria se encontró concentraciones altas de As y Mn las cuales superan los LMP. Es así que esta investigación propone disminuir las concentraciones de estos metales desde la fuente, para lo cual dentro de la metodología se analiza la caracterización del agua subterránea la cual es bombeada desde el Pozo 02 donde se encontró valores de As de 0.10 mg/L y Mn de 0.86 mg/L, para los dos casos los valores de caracterización superan los LMP establecidos por el Ministerio del Ambiente en la normativa legal “ECA para Agua y Establecen Disposiciones Complementarias” D.S. N° 004-2017- MINAN. Se analizó la problemática y se implementó un tratamiento convencional para la remoción As y Mn basándose en el siguiente proceso: Oxidación → Adsorción/Floculación → Decantación → Filtración y la aplicación de reactivos como Permanganato de Potasio KMnO_4 (oxidante), Zeolita Natural del Tipo Clinoptilolita (Adsorbente) y Cloruro Férrico FeCl_3 (Coagulante). Los análisis se llevaron a cabo en el laboratorio de la Planta de Tratamiento de Agua Potable PTAP Hernán Perochena bajo la

jurisdicción de la EPS SEDAPAR S.A. Zona Sur; donde se simularon procesos de remoción (según matriz experimental), mediante el equipo de jarras. Con los resultados obtenidos de los ensayos se empleó el software STATISTICA 8.0 para obtener y concluir los parámetros de remoción apropiado como la dosis de reactivos, tiempos de residencias y gradientes de velocidad para cada etapa de este proceso. Se concluye que demostró que el proceso de tratamiento propuesto: Oxidación → Adsorción/Floculación → Decantación → Filtración. Es un sistema eficiente para la remoción de metales, puesto que se alcanzó una reducción de las concentraciones de As entre 0.002– 0.004 mg/L y de Mn entre 0.15 – 0.20 mg/L.

Delgado y Santander (2017), en su investigación que realizaron sobre, “Remoción de Coloración de tintes de teñido en aguas residuales de la industria textil, utilizando procesos de Oxidación Avanzada (POA)” plantearon como objetivo determinar la capacidad de degradación de materia orgánica genérica recalcitrante evaluados como concentraciones de la remoción de la DQO y la decoloración de tintes de teñido (% de remoción), en soluciones estándar y en aguas residuales de la industria textil, mediante Procesos de Oxidación Avanzada (POA) de: $(\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2)$, $(\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV})$, $(\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}/\text{O}_3)$, $(\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2)$, $(\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV})$ y $(\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}/\text{O}_3)$ analizando el pH y temperatura; llegándose a la conclusión que la remoción más eficiente para el DQO con 75.68 % fue con el POA $(\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV})$ a un pH de 6.8 y una temperatura de 12 °C, mientras que la remoción más eficiente para la decoloración de tinte textil Azul Blue (R-19) fue del 95.44 % en soluciones estándar y del 89.06 % en la muestra de agua residual de la industria textil de tintes de teñido, con el POA $(\text{TiO}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}/\text{O}_3)$ a pH 7.8 y a una temperatura de 12 °C para los dos casos.

Farfán (2017), en la investigación que desarrolló sobre: “*Tratamiento de aguas Residuales Industriales de una Empresa Farmacéutica por Oxidación Avanzada-Lima 2017*” planteó como objetivo general: Evaluar la eficiencia de la oxidación avanzada en el tratamiento

de aguas residuales industriales de una empresa farmacéutica, utilizando Peróxido de Hidrógeno (H_2O_2) y Ozono (O_3) aplicado de forma consecutiva (en serie). dentro de la metodología de estudio, para la obtención de resultados y corroborar la eficiencia del método empleado, se realizó el análisis de la DBO5, DQO, AyG, SST, pH y Temperatura en 5 muestras diferentes con una dosis de 10 ml de H_2O_2 primero; a una concentración del 50%, posteriormente se agregó O_3 a 0,2 g/min luego del Peróxido de Hidrógeno en las 5 muestras, se dejó actuar cada reactivo por 5, 10, 15, 20 y 25 minutos respectivamente para después compararlos con los Valores Máximos Admisibles. Finalmente obteniéndose como resultados: DBO5=450 mg/L, DQO=980 mg/L, AyG = 80 mg/L y SST=65 mg/L después del tratamiento con H_2O_2 y O_3 . Concluyéndose que la muestra 4 es la que mejor resultado presentó en un tiempo de 20 minutos, el cual es óptimo para la remoción de contaminantes de esta industria farmacéutica aproximándose más a los valores máximos admisibles para verter al alcantarillado de aguas domésticas. Cabe resaltar que si sólo se emplea un compuesto químico ya sea H_2O_2 y O_3 no se alcanzarían a obtener los Valores Máximos admisibles

Arenas (2018), en la investigación que desarrollo sobre: “*Evaluación de la Eficiencia en la Degradación del Cianuro por Fotocatálisis homogénea UV-C/ H_2O_2 a nivel de laboratorio*”, la cual tiene como Evaluar la eficiencia de los procesos de oxidación avanzada empleando el sistema H_2O_2 /UV-C en la degradación de CN en medio acuoso (muestra simulada de 1000 mg/L de cianuro). Dentro de la metodología se evaluó el proceso que consiste en el uso de radiación UV-C, con lo que se logró obtener un porcentaje de eficiencia del 1.73 % para un tiempo de tratamiento de 50 minutos. Posteriormente se utilizó H_2O_2 como oxidante (generador de radicales hidroxilos), con un tiempo de 110 minutos de exposición y con un volumen de 10 mL de oxidante, aquí se alcanzó un porcentaje de eficiencia del 75.70 %. Finalmente se procedió con el 3er proceso empleando un sistema combinado H_2O_2 /UV-C, obteniendo una eficiencia del 98.90 % en un tiempo de 110 minutos y la adición de 10 mL de

H₂O₂ como oxidante, para la degradación del cianuro. Concluyéndose que, en el 1er proceso, con exposición a radiación UV-C se alcanzó un máximo de 17,30 mg/L de CN-, en el segundo proceso alcanzó 755 mg/L de CN, f y en el tercer proceso 987 mg/L de CN respectivamente.

Ayzanoa y Mendoza (2008), en un estudio que realizaron sobre *“Remoción del Manganese del efluente minero metalúrgico utilizado en el Proceso de Oxidación con Hipoclorito de Calcio en una planta de tratamiento de aguas ácidas-ubicada en la región Huancavelica”*, plantearon 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. Dentro de la metodología en la investigación se procedió a ubicar el punto de muestreo del efluente antes del tratamiento, para determinar las características de los parámetros regidos en la normativa ambiental, para luego poder determinar la dosis optima de hipoclorito de calcio para la remoción del Mn y otros metales pesados, empleando el método de jarras en el laboratorio (ensayo jar-test) y su posterior aplicación en la PTAA. Se obtuvo como resultados luego del ensayo jar-test, una remoción del manganeso en promedio de 99.4%, estando dentro de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, categoría 3. Con este ensayo se obtuvo la dosis óptima, utilizando 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. En el análisis del efluente antes del tratamiento en la PTAA se obtuvo para el Manganese una concentración de 129.1 mg/L, mientras que luego del tratamiento del efluente en la PTAA, se obtuvo 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. Concluyéndose 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.

1.3 Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Evaluar la capacidad de oxidación y floculación química para la remoción de Hierro y Manganeseo en muestras sintéticas a nivel de laboratorio, 2020.

1.3.2. Objetivos Específicos

- a. Determinar la dosis óptima del oxidante y floculante químico para la remoción de Manganeseo en muestras sintéticas a nivel de laboratorio.
- b. Determinar la dosis óptima del oxidante y floculante químico para la remoción de Hierro en muestras sintéticas a nivel de laboratorio.
- c. Determinar la eficiencia del oxidante y floculante químico para la remoción de Manganeseo en muestras sintéticas a nivel de laboratorio.
- d. Determinar la eficiencia del oxidante y floculante químico para la remoción de Hierro en muestras sintéticas a nivel de laboratorio.

1.4 Justificación

Por la naturaleza de la investigación a nivel experimental el presente estudio permitirá dar a conocer la capacidad que tienen los oxidantes y floculantes químicos en la remoción del Hierro y Manganeseo sin necesidad de un consumo de energía. Por ejemplo, el uso de oxidantes como el Cloro pueden ayudar a solucionar en gran medida el problema de remoción de metales pesados presente en los efluentes de origen industrial minero. La presente investigación pretende reemplazar el uso de energía como los sistemas de nanoltrafiltración y osmosis inversa, donde el alto consumo energético no lo hace amigable con el medio ambiente, en tal sentido, los usos de un oxidante químico complementado por un coagulante permitirán alcanzar altas eficiencias sin la necesidad de recurrir a consumos energéticos ya conocidos. Los

efluentes generados por las industrias que contienen Hierro y Manganese podrán ser removidos con un oxidante químico como el Cloro, el cual formará un precipitado metálico conjuntamente con el Hierro y Manganese, y a su vez será complementado con un coagulante para su tratamiento final, alcanzando mayores eficiencias, sin la necesidad de recurrir al uso energético, así mismo, permitirá reducir los costos operativos de manera significativa, apostando por el uso de alternativas combinadas como la oxidación y la floculación.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis General

El uso combinado de la oxidación y floculación química permitirá conocer el nivel de remoción de Hierro y Manganese en muestras sintéticas a nivel de laboratorio, 2020.

1.5.2 Hipótesis Específicas

- a. La oxidación con Hipoclorito alcanza su dosis óptima entre 1.5 y 2.5 ml. para la remoción de Manganese en muestras sintéticas a nivel de laboratorio.
- b. La oxidación con Hipoclorito alcanza su dosis óptima entre 2 y 2.5 ml. para la remoción de Hierro en muestras sintéticas a nivel de laboratorio.
- c. La oxidación con Hipoclorito tiene una eficiencia del 90 al 95 % en la remoción de Manganese en muestras sintéticas a nivel de laboratorio.
- d. La oxidación con Hipoclorito tiene una eficiencia del 85 al 90 % en la remoción de Hierro en muestras sintéticas a nivel de laboratorio.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Bases Teóricas sobre el Tema de Investigación

2.1.1. *Calidad de Agua*

La calidad de agua es el cumplimiento de las características microbiológicas y fisicoquímicas, en función a la Normativa decretada para los valores máximos admisibles, justificada en la determinación de sustancias físicas, químicas y biológicas. Es importante para el proceso de valoración del medio ambiente físico químico y biológico del recurso Hídrico (agua), en función a calidad natural a las actividades humanas y a su uso racional, de forma que no ocasionen daños a la salud humana y a los ecosistemas acuáticos en general (Farfán, 2017)

2.1.2. *Aguas Residuales: Origen, Composición e Importancia*

Las aguas Residuales componen principalmente las aguas domésticas, industriales y de escorrentías. Las aguas domésticas presentan diversas procedencias, tanto en zonas residenciales, comerciales, institucionales y recreativas. En las zonas residenciales, pueden contener aguas industriales, que se generan en industrias de pequeña escala, pero en zonas rurales las aguas residuales presentan problemáticas asociadas a patógenos fecales. Cuando son aguas de alcantarillados las cuales se combinan con redes unitarias, la contaminación es urbana difusa, es decir, se genera por aguas de escorrentía de las calles; sin embargo, en zonas rurales se da por los campos de cultivo arrastrando con ella fertilizantes, pesticidas y materia en suspensión.

En cuanto a los hogares el agua se utiliza para diversos fines: lavado, baño, cocina y transporte de desechos. Las aguas de desechos pueden ser: aguas negras, procedentes de váteres y las grises procedentes de cocinas y baños. Las aguas residuales se expresan en litros por

persona y día.

En el ámbito industrial la demanda de agua y la producción que se asocia al agua residual, están en función a cada proceso. Es así como algunas industrias necesitan volúmenes grandes de agua para los procesos de refrigeración (plantas de energía, destilación o siderúrgicas), procesos (cerveceras, papeleras), limpieza (plantas textiles, mataderos), transporte de productos (plantas de remolacha o azúcar) o eliminación de desechos.

Es así como según sea la industria, la composición de los efluentes de descarga varía. Las aguas residuales industriales presentan una diversidad de contaminantes que imposibilitan los tratamientos urbanos de éstas; lo cual produce que la eficiencia de depuración no sea óptima.

Las aguas residuales pueden sufrir variaciones y fluctuaciones en cuanto a los caudales (horario, diario, semanal o temporal) y carga; lo que realmente ocasiona dificultades en las plantas de tratamiento y reducción de su eficiencia.

2.1.3. Contaminantes del Agua

Diversas actividades que se desarrollan por el ser humano, o el contacto del agua con el aire, suelo y otros, generan flujos de aguas contaminadas; las cuales ocasionan enfermedades y daños a los seres vivos. Por tales motivos diversas instituciones públicas y empresas privadas han construido instalaciones para realizar un tratamiento a estas aguas residuales, con la finalidad de reducir los contaminantes.

Los principales contaminantes del agua basada en la calidad o a su caracterización se clasifica en:

- Físicos
- Químicos

➤ Biológicos

Cuando se necesita realizar un tratamiento de aguas residuales, la alternativa principal es la de un proceso biológico, ya que es uno de los tratamientos completos y económicos; y la generación de residuos es relativamente baja.

Los contaminantes inorgánicos ocasionan la disminución del oxígeno, como consecuencia de la degradación biológica de los compuestos, y tienen como resultado efectos tóxicos, generando ácidos grasos, aminoácidos e hidrocarburos; metales tóxicos y microorganismos como bacterias y protozoos. Es por ello, que se necesita identificar los contaminantes presentes en agua para poder brindarle un tratamiento ideal y que evite la degradación y contaminación de los cauces.

Para la identificación de los contaminantes se necesita realizar una caracterización del agua residual, para conocer las concentraciones de los contaminantes.

Los parámetros que serán analizados independiente del pH y su conductividad, son aquellos que tengan contenido de materia orgánica, nutrientes, sólidos en suspensión en relación a los microorganismos, además de los parámetros relacionados con el tipo de actividad que genera el efluente; metales, tensoactivos, sulfatos, cianuros, etc.

Los contaminantes que están en el agua residual están en función a la actividad utilizada, ya sea de acuerdo con el origen o por su composición, tanto en agua residual urbana o agua residual industrial. Los contaminantes que resultan de las actividades humanas están los microbios patógenos, nutrientes, sustancias responsables de consumir el oxígeno del agua, metales pesados, materia orgánica, sedimentos en suspensión y pesticidas, los cuales provienen de fuentes no localizadas.

El calor genera también que la temperatura de las aguas receptoras de vertidos incremente y se ocasione contaminación.

Las empresas industriales producen presión sobre los recursos hídricos mediante los

diversos impactos producto de las descargas de aguas residuales y sus potenciales contaminantes. Las industrias de petróleo, minería y acero son las que generan más riesgos con la liberación de metales pesados.

La mayoría de los efluentes industriales se vierten sin previo tratamiento en los cuerpos receptores de aguas, reduciendo la calidad del agua, infiltrándose en acuíferos y contaminando los recursos hídricos subterráneos (Román y Martínez, 2017).

El agua residual se caracteriza por sus contaminantes principales. En la **Tabla 1.** Se muestran algunos contaminantes y sus efectos que ocasionan en los sistemas de descargas:

Tabla 1.

Principales contaminantes en aguas residuales municipales, origen y relevancia.

Contaminante	Importancia	Origen
Sólidos Sedimentables	Pueden generar depósitos de fangos o condiciones anaeróbicas en los sistemas de alcantarillado, instalaciones de tratamiento o en entornos acuáticos.	Doméstico, escorrentías
Materia Orgánica (DBO): Nitrógeno - Kjeddahl	Consume oxígeno y puede distorsionar el equilibrio en aguas superficiales: cuando el oxígeno se agota, aparecen condiciones anaeróbicas, malos olores, mueren los peces y se produce desajuste ecológico.	Doméstico, Industrial
Microorganismos patógenos	Riesgos severos para la salud de las poblaciones a través de enfermedades transportadas a través del agua como el cólera	Doméstico
Nutrientes (N Y P)	Excesivas cantidades de nitrógeno y fósforo en aguas superficiales provocan el crecimiento desmesurado de algas(eutrofización). La muerte de estas algas además contribuye l aumento de materia orgánica	Doméstico, rural, escorrentías, industrial
Micro contaminantes (metales pesados y compuestos orgánicos)	Los compuestos orgánicos no biodegradables pueden ser tóxicos, carcinógenos o mutógenos a muy bajas concentraciones (para plantas, animales o personas). Algunas pueden bioacumularse en las cadenas trófica (Cr VI, Cd, Pb, pesticidas, herbicidas o PCBs)	Industrial, rural, escorrentías (pesticidas)
Sólidos Totales Disueltos (sales)	A altos niveles pueden ser restringidas las aguas para uso en agricultura, irrigación o acuacultura.	Industrial (Intrusiones de agua salada)

Nota: (De la Cruz, 2013)

2.1.4. Metales Pesados

Los metales pesados representan un grupo de elementos químicos que poseen un elevado peso atómico y una densidad cinco veces mayor que el agua. Gracias a su variedad de aplicaciones: Industriales, domésticas, médicas, agrícolas y tecnológicas, hoy en día están distribuidos de diversas formas en el medio ambiente; lo que produce una gran preocupación por los efectos que causa en la salud humana y en los ecosistemas. Dentro de los metales pesados más relevantes se encuentra: Pb, As, Cd, Cr y Hg los cuales son considerados como altamente tóxicos, ya que generan daños irreversibles en los órganos, incluso con bajos niveles de exposición.

La toxicidad de los metales pesados depende de varios factores: Dosis, tiempo de exposición, edad, género, estado de salud y nutricional de los individuos expuestos.

El aumento en la concentración de estos metales en el agua se produce fundamentalmente por la contaminación puntual de origen industrial o minero. Cabe resaltar que en algunos casos existen aguas sufren un proceso de enriquecimiento natural en metales pesados al pasar por los acuíferos formados por rocas que los contienen en su composición (Román y Martínez, 2017).

2.1.5. Remoción de Metales Pesados

Los metales pesados como el Cd, Hg, Cu, Cr y Pb se encuentran en las aguas residuales, como resultado de diversos procesos industriales y por la toxicidad que pueden ocasionar sus concentraciones deben reducirse a niveles bajos antes de ser descargados.

La mayoría de los tratamientos de aguas remueven grandes cantidades de metales pesados, los cuales no se degradan, sino que se transforman o se remueven del medio.

Existen variedad de métodos para la remoción de metales pesados en los efluentes

como: electrodiálisis, intercambio iónico y ultrafiltración-, siendo éstos sólo algunos de los procesos que se emplean para la remoción o recuperación de elevadas concentraciones de metales pesados en efluentes y por lo general son procedimientos económicamente elevados (Kuyucak, 1990).

2.1.6. Tecnologías para la Remoción de Metales Pesados

Los métodos fisicoquímicos, como: precipitación química, intercambio iónico, oxidación o reducción, tratamientos electroquímicos y filtración son empleados en la remoción de metales pesados de las descargas de diversos desechos industriales. La precipitación química se emplea como un modelo de tratamiento para extraer metales pesados a partir de soluciones acuosas en casi un 75% de las industrias de galvanoplastia. La precipitación de metales a partir de agua contaminada significa convertir las sales solubles de los metales pesados en sales insolubles que tienden a precipitar. Los métodos físicos, como es la sedimentación y/o filtración, son aplicados para la remoción del precipitado del agua tratada. Este proceso necesita: que el pH se regule, se adicione un precipitante químico y floculación. Los métodos más utilizados de precipitación química en las industrias son la precipitación de sulfuros, hidróxidos y de borohidruros de sodio. Estos métodos son muy accesibles, baratos y muy útiles para la remoción de metales pesados en concentraciones elevadas. Pero también pueden ser inadecuados si se requiere tratar aguas de desecho con concentraciones bajas de metal. La mayoría de los lodos con compuestos tóxicos que resultan de este proceso es la primordial desventaja.

Por otro lado, las tecnologías de intercambio iónico se utilizan en industrias de acabados metálicos, el sistema que más es utilizado presenta resinas de intercambio iónico, las cuales son polímeros insolubles que interactúan con iones de carga opuesta de la solución externa. Las resinas de intercambio iónico realizan el intercambio de iones hidrógeno (H^+) por cationes

que están en las corrientes de desecho, mientras que, para las resinas aniónicas, se realiza el intercambio de iones hidroxilo (OH^-).

También se tiene a la electrodialisis, que es un proceso de separación, en el cual los componentes iónicos (metales pesados) se separan a través de membranas semipermeables selectivas de iones. La membrana que realiza el intercambio catiónico presenta carga negativa y es permeable a cationes, a diferencia de la membrana de intercambio aniónico que se carga positivamente y es permeable para aniones. Una serie de celdas hechas con membranas ion-selectivas son utilizadas en el agua a tratar, de modo que al colocar un par de electrodos y aplicar una corriente eléctrica, los aniones y cationes que están como solutos se desplazarán hacia el ánodo y cátodo, equitativamente, traspasando las membranas catiónica y aniónica, según pertenezca. Así se obtiene un electrolito con mayor concentración, resultando así agua libre de minerales. Pero la desventaja será la formación de hidróxidos de metales que atascen la membrana, lo cual produce un elevado costo en la operación.

Otro método tradicional que se emplea para la remoción de metales pesados de soluciones acuosas es la adsorción, este proceso comprende la separación de una sustancia que está en fase fluida, en la superficie de un adsorbente sólido. El carbón activado granular, es el adsorbente más utilizado, el cual se basa en una forma amorfa de carbón que ha sido tratado con la finalidad de aumentar el área superficial. Los procesos de adsorción son inestables, y producen un método parcialmente simple en cuanto a la remoción de contaminantes o impurezas de líquidos o gases. Los adsorbentes más utilizados a nivel industrial son: carbón activado, gel de sílice, alúmina, y aquellos que tengan una estructura superficial porosa y por ende, una considerable área superficial. La biosorción cumple ciertos requisitos para emplear materiales naturales y residuos industriales, con diversos rendimientos que pueden compararse con el competidor comercial más importante: las resinas sintéticas de intercambio iónico (Dávila, 2012).

2.1.7. Procesos de Oxidación Avanzada

Los Procesos de Oxidación avanzada son técnicas que realizan la eliminación parcial o total de compuestos resistentes a los tratamientos, reducen la toxicidad y erradican a los microorganismos patógenos.

Los procesos de oxidación avanzada son procesos fisicoquímicos capaces de modificar la estructura química de los contaminantes. Estos procesos de Oxidación avanzada implican el uso y producción de especies transitorias, fundamentalmente el radical hidroxilo (HO), el cual se produce por medios fotoquímicos o por otras formas de energía, produciendo gran eficiencia para la oxidación de materia orgánica.

Algunos Procesos de Oxidación Avanzada POAs, como es el caso de la fotocatálisis heterogénea, radiolisis u otras técnicas avanzadas, acogen a reductores químicos que tienen como fin transformar los contaminantes tóxicos vulnerables a la oxidación, como son los iones metálicos o compuestos halogenados. Es así como los POAs son procesos fisicoquímicos que desarrollan especies sumamente oxidantes. Por otro lado, existen también otras especies oxidantes reactivas EOR, como el O_2^- / H_2O^* o el H_2O_2 , que también se generan en estos procesos y contribuyen a la eliminación de contaminantes.

Según el proceso fisicoquímico utilizado para la generación de estas especies oxidantes, lo Procesos de Oxidación Avanzada pueden clasificarse en procesos no fotoquímicos o fotoquímicos.

Tabla 2.*Procesos de Oxidación Avanzada*

Procesos no fotoquímicos		Procesos Fotoquímicos
Tipo de Proceso		Rango de longitudes de onda de radiación
Ozonización en medio alcalino (O ₃ /HO ⁻)	Fotólisis del agua con UV de vacío	<190
Ozonización con peróxido de hidrógeno (O ₃ /H ₂ O ₂)	UV/peróxido de hidrógeno (UV/H ₂ O ₂)	<280
Fenton y procesos relacionados (Fe ²⁺ /H ₂ O ₂)	UV/OZONO (UV/O ₃)	280-315
Oxidación electroquímica	Foto fenton y procesos relacionados	UV- Visible hasta 450
Radiólisis γ y tratamiento con haces de electrones	Hierro Cero - valiente y UV	UV
Plasma no térmico (descarga corona)	Fotocatálisis heterogénea con TiO ₂	UV hasta 380 - 400
Ultrasonido, descarga electrohidráulica		
Oxidación con aire húmedo		
Oxidación con agua sub/y supercrítica		
Hierro cero-valencia		
Ferrato		

Nota: (De la Cruz, 2013)

2.1.8. Eliminación de Contaminantes por Procesos de Oxidación Avanzada

Los contaminantes una vez que están en el medio pueden sufrir diversos procesos:

- El compuesto se puede mineralizar a dióxido de carbono y agua
- El compuesto no se degrada por su carácter lipofílico y se queda parcialmente retenido en los lodos de sedimentación
- El compuesto se metaboliza en una molécula más hidrofílica y mediante la ETAR llega a las aguas superficiales, siendo estos compuestos los que abundan en el medio.

Las existencias de estos compuestos en las aguas ocasionan problemas ya que no son biodegradables y en muchos casos producen toxicidad en los organismos vivos.

Tabla 3.*Procesos de Oxidación Avanzada y su eficiencia*

Proceso	Eficiencia	Estado de Desarrollo
H ₂ O ₂	baja	-----
H ₂ O ₂ /hv	alta	Producción
H ₂ O ₂ /catalizador	alta	Producción
H ₂ O ₂ /catalizador/hv	alta	Piloto
O ₃	media	Producción
O ₃ /Ph	media	Producción
O ₃ /HV	media	Piloto
H ₂ O ₂ /O ₃	alta	Piloto
H ₂ O ₂ /O ₃ /hv	alta	Piloto
TiO ₂ /hv	baja-media	Piloto
VUV fotólisis	media	Investigación/Piloto

Nota: (De la Cruz, 2013)

Seleccionar el proceso óptimo para el tratamiento de aguas residuales es difícil, esto dependerá de los Estándares de Calidad que deba cumplir el agua y la relación de eficiencia y menor costo.

- Para lo cual se debe considerar:
- Calidad del Agua Residual Inicial
- Calidad Final del Agua que se desea obtener
- Opciones de tratamiento convencionales
- Eficiencias del tratamiento Avanzado
- Flexibilidad del Tratamiento
- Espacio Disponible para el Tratamiento
- Evaluación Económica
- Análisis de Ciclo de vida para saber el Impacto Ambiental
- Potencial del reúso del Agua Tratada

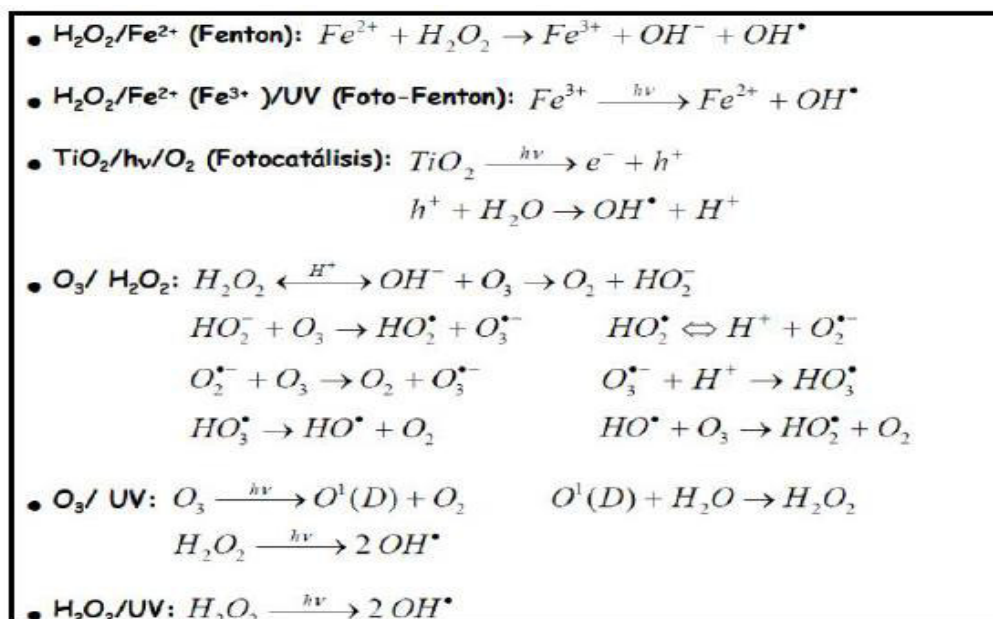
Para seleccionar el Tratamiento de depuración en aguas residuales, depende de las

regulaciones Nacionales e Internacionales, para esto se debe considerar el tipo de agua residual a tratar: Composición, Concentración, Biodegradabilidad y Toxicidad, así podría proponerse según Conninellis et al. (2008):

- Si el agua Residual es biodegradable, se elegiría un tratamiento biológico, siempre y cuando los límites de descarga en función al COT, Toxicidad y otros parámetros fisicoquímicos ya estén dentro de los niveles (caso imposible). Esto se debe a los tratamientos biológicos convencionales son más económicos ambientalmente compatibles.
- Si el agua es No Biodegradable y su COT > 0.1 g/L se debe emplear un POA como pretratamiento, antes de tratamiento biológico. Después ya se evaluará si con eso basta para el cumplimiento de la Normativa de Descarga de Efluentes.
- Si en agua en No Biodegradable, su COT < 0.1 g/L. y su toxicidad es elevada; se debe emplear un POA que tenga como fin reducir la toxicidad. Luego es posible que ya no se requiera un tratamiento biológico, puesto que el efluente ya puede presentar los valores óptimos de descarga según la normativa, o en todo caso se envía a una ETAR pública.
- Si el agua es No Biodegradable, su COT y toxicidad son bajas, pero presenta requerimientos fisicoquímicos, se debe utilizar un POA, para alcanzar las características y valores adecuados para su descarga.

2.1.9. Reacciones de Oxidación Avanzada

Los procesos de Oxidación Avanzada se emplean mucho por su gran eficiencia para eliminar y reducir diferentes componentes químicos peligrosos a límites permisibles, que a su vez no formen otros subproductos nocivos que necesiten más tratamientos.

Figura 1*Reacción de Oxidación Avanzada*

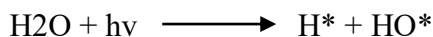
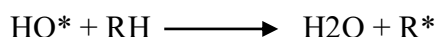
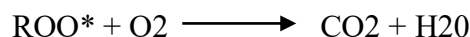
Nota: (Farfán, 2017)

2.1.10. Fotólisis

Los métodos de Fotólisis para degradar los contaminantes disueltos en el agua consisten en proporcionar energía a los compuestos químicos en forma de radiación, la cual se absorbe por las diversas moléculas para así poder alcanzar estados excitados en el tiempo necesario para experimentar reacciones.

Con la presencia de radiación UV se genera la fotólisis de un gran número de compuestos orgánicos, dicho proceso tiene lugar en el dominio del UV-C (210– 230nm) y consiste en la formación de radicales libres. La eficiencia del proceso depende de la capacidad de absorción de radiación y de la presencia de otros compuestos que absorben la misma longitud de onda. En los procesos de oxidación fotolíticos por lo general se emplean lámparas de mercurio de baja presión (254nm, 471 KJ/mol), usadas en la desinfección como en la depuración de las aguas. No obstante, necesitan ser llevadas a longitudes de onda más bajas

(170-200nm), porque se asocian a una mayor energía (704-598 KJ/mol) y son más eficientes en la ruptura de los enlaces de los compuestos orgánicos. Debe considerarse la presencia de oxígeno en el proceso de oxidación, en la fotólisis existen diferentes reacciones debido a la distancia que hay a la fuente de radiación, gracias al oxígeno presente. Durante el proceso de fotólisis de la materia orgánica se presentan las siguientes reacciones:



a) Fotooxidación

La luz produce reacciones de oxidación, a partir de la presencia de radicales libres. Para que estos se desarrollen se necesita agentes oxidantes, los cuales permiten la formación de dichos radicales, siendo los más reconocidos y utilizados son el peróxido de hidrógeno (H_2O_2), el ozono, etc. Dentro de los diferentes procesos de aplicación para el tratamiento de aguas, la combinación de radiación ultravioleta y el peróxido de hidrógeno es la mejor cuando se necesita alcanzar aguas con elevado grado de pureza. Este POAs conlleva la formación de radical hidroxilo. El H_2O_2 es un potente agente oxidante no selectivo y una excelente fuente de radicales libres, así mismo es un aditivo deseable ecológicamente puesto que para su descomposición solamente se obtiene agua y/u oxígeno. La eficiencia de este proceso se basa en la formación estequiometría de radical hidroxilo (OH^*) a partir de la descomposición fotocatalítica del H_2O_2 (Arenas, 2018).

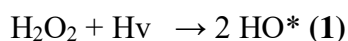
2.1.11. Fotólisis Homogénea

En el proceso de fotocatalisis homogénea el oxidante es el H₂O₂ al 30%, y el catalizador es un reactor foto-catalítico con una lámpara de mercurio de radiación UV-C de 254 nm.

a) Fotólisis UV-C/H₂O₂

La radiación UV-C en combinación con el peróxido de hidrogeno (UV-C/H₂O₂) representa uno de los procesos de oxidación avanzada más apropiada para la remoción de compuestos orgánicos tóxicos presentes en las aguas residuales, el cual tiene como característica acelerar la formación de radicales HO° los cuales tienen como finalidad la transformación de compuestos orgánicos del agua residual en productos biodegradables. Este tipo de oxidación avanzada se produce por la acción de la radiación emitida por lámparas UV-C, ya que la luz ultravioleta interactúa con las moléculas presentes en el medio líquido ocasionando la ruptura de los enlaces químicos, estas lámparas UV-C tienen longitudes de onda menores a 400 nm que son capaces de fotolizar las moléculas de H₂O₂.

La disociación de la molécula de H₂O₂ por fotones con energía produce un rendimiento que produce dos radicales HO* por cada molécula de H₂O₂. Este proceso de oxidación avanzada produce la formación del radical hidroxilo mediante la ruptura de la molécula de H₂O₂ cuando se aplica la radiación UV (fotólisis), como se muestra la reacción:

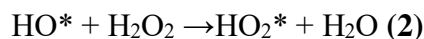
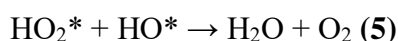


La fotólisis del H₂O₂ se lleva a cabo empleando lámparas de vapor de mercurio de baja o media presión. Por lo general se emplean lámparas de emisión máxima de 254 nm, ya que la absorción del H₂O₂ alcanza el máximo a los 220 nm.

El uso de la radiación combinada con peróxido de hidrogeno (UV-C/H₂O₂) posee

ventajas como costos bajos, fácil manejo, breve lapso de radiación, no se presentan dificultades de transferencia de masa asociados a gases.

Los HO* son susceptibles de recombinarse o de reaccionar de acuerdo con el siguiente esquema



En las reacciones (2) y (5) se produce un consumo del radical HO*, lo cual ocasiona una pérdida en el poder de oxidación. El H₂O₂ captura los radicales hidroxilos formando el radical HO₂*, el cual es menos reactivo.

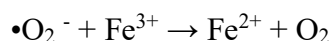
Por esto se debe calcular para cada caso la cantidad ideal de H₂O₂ para evitar efectos negativos en la degradación de los contaminantes presentes en el agua (Arenas, 2018).

2.1.12. Reacción Fenton

El proceso de oxidación Fenton consiste en la descomposición del Peróxido de Hidrógeno (H₂O₂) con la participación de un catalizador como el Hierro (II). luego reacciona para formar radicales hidroxilos. Este proceso se emplea últimamente gracias a sus diversas aplicaciones en aguas residuales.



La reacción Fenton puede darse en sistemas homogéneos con hierro ferroso disuelto o en sistemas heterogéneos con la presencia de hierro complejo tal como goetita (FeOOH). El subproducto, hierro férrico, a su vez reacciona con peróxido o superóxido radical (O₂⁻) para generar el hierro ferroso como se observa en la siguiente reacción:



Las tres reacciones mostradas anteriormente, hacen que el Fe pase de estado de oxidación ferrosa y férrica hasta que el H₂O₂ se consuma completamente, produciendo OH en el proceso. Al igual que en otros AOP (Proceso de Oxidación Avanzada), la eliminación de compuestos orgánicos se produce por las reacciones de oxidación que inicia el radical hidroxilo (Román y Martínez 2017).

2.1.13. Factores que afectan el Proceso Fenton

a) Producción de lodos:

Principal inconveniente, ya que se forma un precipitado coloidal de color rojizo que debe ser separado de la mezcla líquida, y este sedimento debe ser tratado como residuo sólido.

b) Control de pH:

Cualquier sistema que se trabaje con peróxido y haya presencia de metales, se debe trabajar con pH de 9 – 10, con el fin de evitar la liberación de gases.

c) Consumo de reactivo:

El consumo de H₂O₂ puede ser muy costoso para grandes caudales de aguas residuales, pero esto se puede optimizar empleando un catalizador de Hierro para acelerar la reacción.

2.1.14. Floculación

Proceso químico en el cual se adicionan sustancias floculantes, para aglutinar las sustancias coloidales que se encuentran presentes en el agua, para facilitar su decantación y posterior filtrado. La floculación es un paso del proceso para la potabilización de aguas de origen superficial y del tratamiento de aguas servidas domésticas, industriales y de la minería.

Las aguas pueden presentar compuestos como: Sólidos en Suspensión, partículas coloidales (menos de 1 μ m) y Sustancias Disueltas.

El proceso de floculación se realiza antes de la coagulación, por eso se trata siempre de los procesos de coagulación-floculación, siendo estos los que hacen fácil el retiro de las sustancias en suspensión y de las partículas coloidales.

La floculación no es más que la aglomeración de partículas desestabilizadas en microflóculos y luego en flóculos de mayor tamaño, los cuales serán depositados en el fondo de los recipientes contruidos para este fin, llamados sedimentadores. Los factores que promueven la floculación y coagulación son el gradiente de la velocidad, el tiempo y el pH. El tiempo y el gradiente de velocidad son importantes al aumentar la probabilidad de que las partículas se unan y da más tiempo para el descenso de las partículas, por efecto de la gravedad, y así se acumulen en el fondo. Mientras que el pH es un factor prominente en la acción desestabilizadora de las sustancias coagulantes y floculantes.

Para obtener aguas decantadas limpias y formar de lodos espesos, la solución floculante más eficiente para los materiales en suspensión se determina por pruebas, ya sea en laboratorio o en el campo. Es así como, en la industria minera, los floculantes utilizados son polímeros sintéticos de elevado peso molecular, cuyas moléculas son de cadena larga y con gran afinidad por las superficies sólidas. Estas macromoléculas son fijadas por adsorción a las partículas y producen así la floculación por formación de puentes interpartículas (Vilca, 2018).

2.1.15. Factores que influyen en la Floculación

Dentro de los principales factores tenemos:

- La naturaleza del agua
- Las variaciones de caudal

- La intensidad de agitación
- El tiempo de floculación
- El número de compartimentos de la unidad

2.1.16. Tipo de Floculadores

Los Floculadores se clasifican en lentos y rápidos, sin embargo, Cánepa (2000) los clasifica de la siguiente forma:

- De potencia, que se subdividen en hidráulicos y mecánicos
- Contacto de Sólidos, siendo el más conocido el de manto de lodos.

Cárdenas (2000), informa que los floculadores de potencia son los más empleados, y en nuestro país son los hidráulicos, por el bajo consumo energético y la facilidad de mantenimiento, mientras que en países industrializados es más empleado los floculadores mecanizados. Los Floculadores Hidráulicos, aprovechan la energía del agua para realizar las operaciones de coagulación y floculación.

Las dificultades que se dan en el proceso de coagulación son:

- Flóculos pequeños por coagulación a baja temperatura.
- Flóculos de coagulación lenta en aguas coloreadas.
- Flóculos de estructura frágil.
- Presencia de tensioactivos que dispersan los flóculos.

Los coadyuvantes de coagulación o floculantes no son coagulantes, pero ayudan al proceso de formación del flóculo, siendo estos los que ayudan a unir mecánicamente las partículas en suspensión.

La diferencia entre floculante y coagulante y floculante consiste en que el coagulante anula las fuerzas repulsivas entre las partículas coloidales, iniciando la formación de

microflóculos, y el floculante engloba estos microflóculos aumentando su tamaño y densidad de modo que sedimenten más fácil y rápidamente (Vilca, 2018).

Utilizar floculantes o Polielectrolitos ayuda a tratar mayores caudales de agua en estaciones depuradoras de aguas potables y residuales, también mejora la floculación cuando ésta es difícil por cambios de calidad, bajas temperaturas, etc. En la floculación, los polímeros reaccionan con los coágulos por medio de:

- Neutralización de cargas.
- Mecanismo de creación de puentes.

La neutralización de cargas se da de la misma forma que la neutralización por sales metálicas. El polímero tiene una carga opuesta a la de las partículas coloidales, de modo que la carga de los coloides es neutralizada por la carga del polímero (Vilca, 2018).

a) Dosis óptima de polímero:

Es la máxima cantidad de polímero que es adsorbido sobre el sólido para desarrollar un sistema floculado, sin rotura alguna de enlaces de la superficie luego de la formación de los flóculos.

b) Agitación:

Se necesita en el momento de dosificación del polímero como en el proceso de formación y engorde del flóculo. Ya que la dispersión del polímero en el agua requiere de una agitación rápida para beneficiar una floculación homogénea en todos los puntos y crear un tamaño de flóculo homogéneo. La agitación rápida favorece un número de colisiones mayor entre las partículas y las cadenas de polímeros, asegurando la floculación total de los coágulos. Una vez que empieza la floculación, se requiere disminuir la velocidad de agitación para prevenir la rotura mecánica de los flóculos. Es recomendable un estado óptimo de agitación para asegurar que las partículas formen puentes de enlace y finalmente formen agregados.

c) Peso molecular del polímero:

Es lo que caracteriza a los polímeros y determina la eficacia de la floculación. Con un polímero de gran peso molecular, se logra adsorber una gran cantidad de moléculas, se optimiza la dosis de polímero y se incrementa la velocidad de decantación.

d) Concentración de los sólidos:

La estabilidad de los flóculos se ve favorecida con una gran densidad de sólidos, ya que esto incrementa la probabilidad de unión de los fragmentos de flóculos rotos.

e) Superficie de los sólidos:

La dosis óptima de floculante es proporcional a la superficie específica del sólido; es decir, a mayor tamaño o superficie de la partícula menor es la dosis de floculante.

f) Efecto del pH:

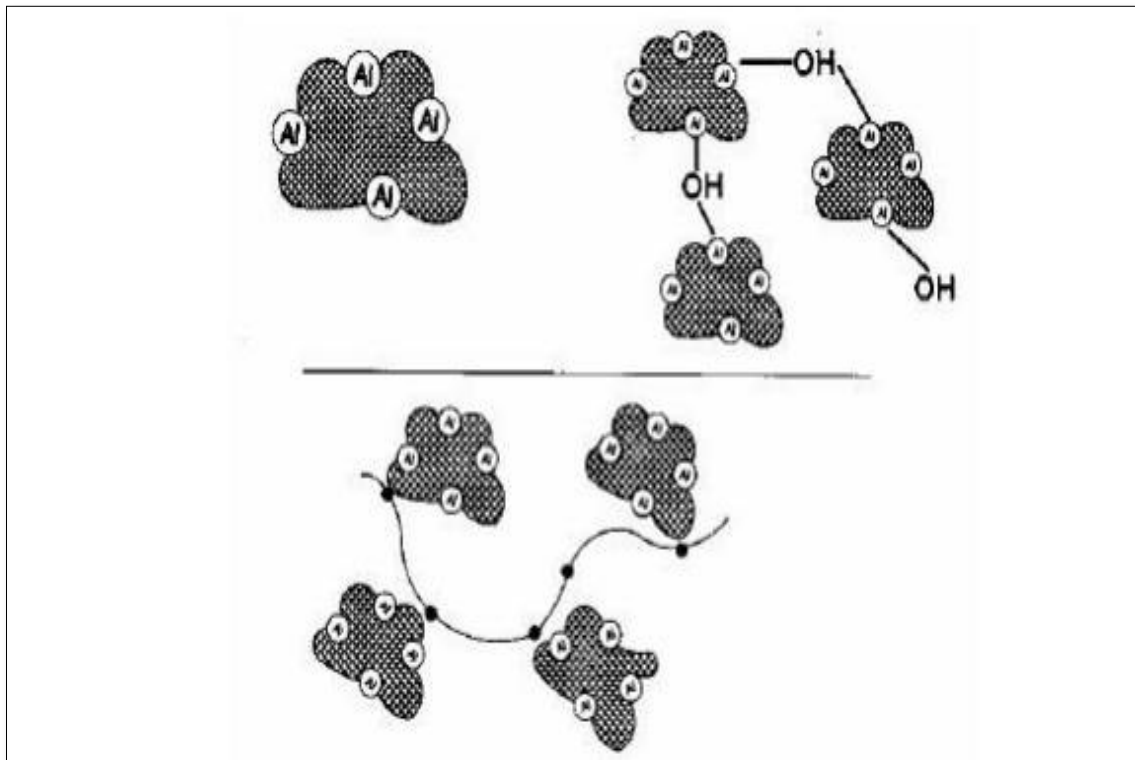
Afecta a la cantidad y tipo de cargas presentes en la superficie de los sólidos y a la cantidad de carga libre que caracteriza el polímero en disolución. Los polímeros aniónicos son más efectivos, a pHs entre 7 y 14; los no iónicos, capaces de adsorber las partículas positivas y negativas, son muy eficaces, en general, a pH 6; y por último, los catiónicos suelen actuar eficazmente a pH entre 4 y 8.

g) Efecto de la temperatura:

Una elevada temperatura no siempre favorece la floculación, puesto que a veces produce una mayor velocidad de difusión del floculante y de colisión de partículas, que no favorece la adsorción (Vilca, 2018).

Figura 2

Mecanismo de floculación mediante creación de puentes



Nota: (Vilca, 2018)

2.1.17. Coagulación

Es un proceso unitario cuya función es reducir metales, consiste en añadir cierta dosis de un químico llamado coagulante. La coagulación es un proceso donde un sistema puede convertirse de un estado estable a uno inestable, es decir, se refiere a desestabilizar el sistema (cambiar cargas eléctricas de las partículas suspendidas, de negativas a positivas y viceversa).

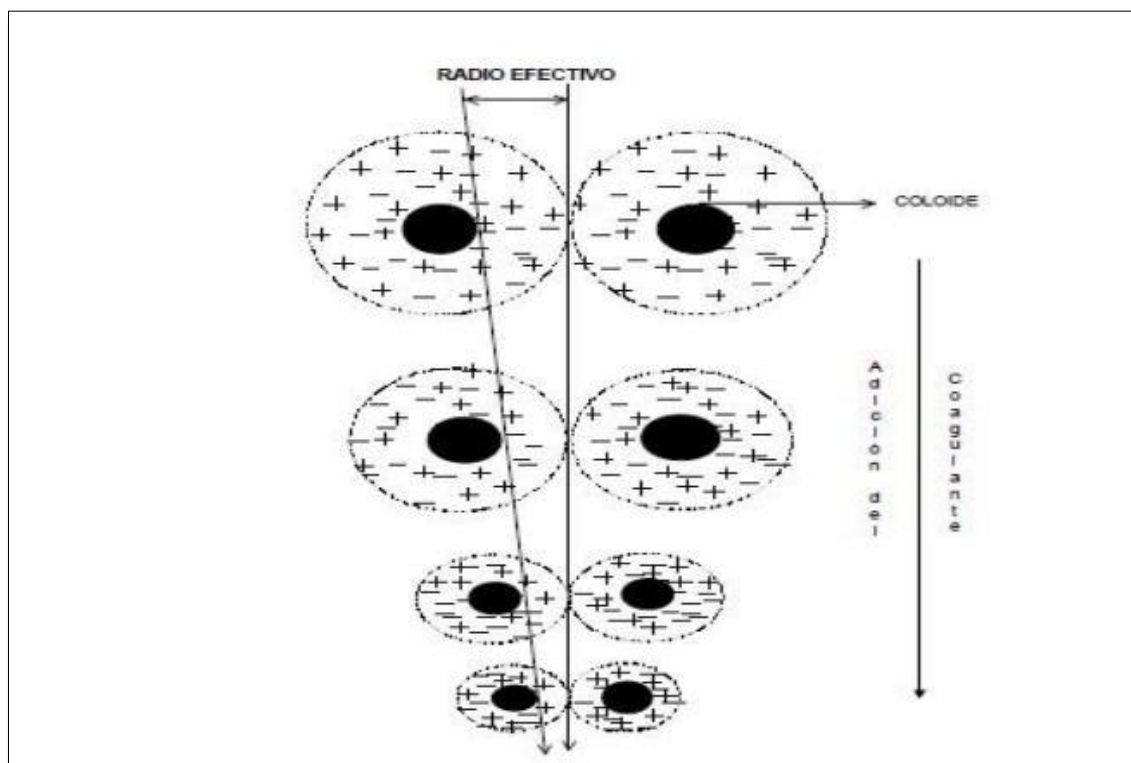
La coagulación es el proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se forman al neutralizar las fuerzas que los tienen separados, adicionando coagulantes químicos y empelando energía de mezclado.

Es considerado también un método universal ya que elimina una gran cantidad de sustancias de naturaleza diversa.

La coagulación es el tratamiento más eficiente, cuando no está bien realizado es costoso y puede producir una degradación rápida de la calidad del agua. Es así como la dosificación del coagulante condiciona el funcionamiento de las unidades de decantación; es imposible realizar una clarificación, si la cantidad de coagulante no es la adecuada (Vilca, 2018).

Figura 3

Coagulación



Nota: (Vilca, 2018)

Los coagulantes por lo general son productos químicos que en solución presentan carga eléctrica contraria a la del coloide. Generalmente se emplean sales de aluminio y hierro con cationes de alta relación carga/masa (Fe^{+3} , Al^{+3}) junto con polielectrolitos orgánicos, con la finalidad de favorecer la floculación:

a) Sales de Fe^{+3} :

Estos pueden ser: Cl_3Fe o $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, con una eficacia similar. Pueden utilizarse en estado sólido como en disolución. El emplear una de las dos depende del anión, y si no se desea la presencia de cloruros o sulfatos.

b) Sales de Al^{+3} :

Pueden ser $Al_2(SO_4)_3$ o policloruro de aluminio. El primero es más manejable en disolución, mientras que en el segundo tiene una ventaja de mayor porcentaje en peso de aluminio por kg dosificado.

c) Polielectrolitos:

Los cuales pueden ser polímeros naturales o sintéticos, no iónicos (poliacrilamidas) aniónicos (ácidos poliacrílicos) o catiónicos (polivinilaminas). La cantidad de dosis a utilizar son menores que para las sales, pero presenta mayor eficacia y mayor costo (Vilca, 2018).

Tabla 4

Poder coagulante relativo de distintos reactivos

Coagulante	Coloides Positivos	Coloides Negativos
NaCl	1	1
Na ₂ SO ₄	30	1
Na ₃ PO ₄	1000	1
MgSO ₄	30	30
AlCl ₃	1	1000
Al ₂ (SO ₄) ₃	30	>1000
ClFe ₃	1	1000
Fe ₂ (SO ₄) ₃	30	>1000

Nota: Cortesía de Vilca, 2018.

Los coagulantes más empelados son las sales de Hierro y Aluminio; al agregarlas al agua generan diversas reacciones muy complejas donde los productos de hidrólisis son más eficaces que los iones mismos; estas sales reaccionan con la alcalinidad del agua y producen los hidróxidos de aluminio o hierro (Vilca, 2018).

2.1.18. Coagulantes Naturales

Los coagulantes naturales presentan como desventaja el incremento de la concentración de carbono orgánico disuelto en el agua tratada, el cual al combinarse con cloro forma Trihalometanos, compuestos cancerígenos.

Algunas investigaciones afirman que el aluminio puede producir Alzheimer, es por eso por lo que se está investigando sobre el uso de la planta Moringa Oleífera, que es igual de efectiva que el sulfato de aluminio presenta beneficios económicos, ambientales y de salud. Se utiliza mediante la combinación de semillas y agua destilada. Presenta una efectividad de recuperación de 80% en aguas poco turbias (Vilca, 2018).

Tabla 5

Efectos de la coagulación sobre sustancias contenidas en el agua

Parámetros	Red. Max. Obtenida Mediante Coagulación	Parámetros	Red. Max. Obtenida Mediante Coagulación
Minerales		Orgánicos	
Turbidez		Color	+
Mat. En suspensión	+	Olor	0, +
Fosfatos	+	DQO	+
Nitratos	0	COT	+
Amonio	0	DBO	+
Cloruros	0	NJELDHAL	+
Sulfatos	0, +	Fenoles	0
Fluoruros	0, +	Hidrocarburos	
Hierro	+	Aromáticos	+
Aluminio	+	Policíclicos	
Manganeso	+	Pesticidas	+
Cobre	+		
Zinc	+	Detergentes	0, +
Cobalto	0		
Níquel	0		
Arsénico	As+5, +++ As+3	Microorganismos	
Cadmio	+	Virus	+
Cromo	Cr+6	Bacterias	+
Plomo	+	Algas	+
Mercurio	+		
Cianuro	0		

Nota: Cortesía de Vilca, 2018.

(*) Reducción máxima obtenida mediante coagulación: 0 nada de reducción, + 0 a 20 % de reducción, ++ 20 a 60 % de reducción, +++ más de 60 % de reducción.

2.1.19. Electrocoagulación

La electrocoagulación consiste en usar energía eléctrica continua para separar el catión activo del ánodo de sacrificio, el que reacciona con los iones hidroxilos que se forman en el cátodo, así los contaminantes son desestabilizados y los materiales coloidales se adhieren para ser eliminados por flotación o por decantación. Es útil para todo tipo de aguas residuales incluso sin metales pesados.

Este proceso se lleva a cabo en un componente denominado “Celda de Electrocoagulación”, la que está conformada por Electrodos Solubles (por lo general son de aluminio o hierro) inmersos en un dieléctrico y una fuente de poder de corriente continua. Dentro de la celda se desestabilizan y coagulan los coloides, esto se da por las diferencias de potenciales, todo este proceso se llama Electrolisis y son reacciones de óxido-reducción en sus ánodos y cátodos por acción de la energía externa.

La diferencia entre la coagulación química y la eléctrica es que los procesos de coagulación y floculación ocurren al mismo tiempo, mientras que en la química son continuos. El agua residual en la celda electrolítica está sometida a una electrolisis (Vilca, 2018).

2.1.20. Factores que Influyen en la coagulación

Los factores que influyen el proceso de coagulación son: el pH, tiempo de retención, la agitación del agua y la temperatura.

a) Influencia del pH:

El valor del pH depende del tipo de coagulante empleado y de la naturaleza del agua a tratar; si la coagulación se realiza fuera del valor adecuado de pH, entonces se debe adicionar

coagulante; entonces la dosis que requerida sería alta. Para sales de aluminio el rango ideal de pH varía entre 6,5 a 8,0. Cabe mencionar que mientras más ácida sea el agua, la coagulación será óptima.

b) Influencia de la Temperatura del Agua

La variación de 1°C en la temperatura del agua produce la formación de corrientes de densidad (variación de la densidad del agua) de diversos grados que afectan a la energía cinética de las partículas en suspensión, esto produce que la coagulación sea lenta; las altas temperaturas tampoco favorecen la coagulación, no existe un rango específico de temperatura óptima (Vilca, 2018).

2.1.21. Manganese

El manganeso es un elemento químico de número atómico 25 situado en el grupo 7 de la tabla periódica de los elementos y se simboliza como Mn. Es un metal duro y muy frágil, refractario y fácilmente oxidable. El manganeso metal puede ser ferro magnético, pero sólo después de sufrir un tratamiento especial.

El manganeso constituye el 0,095 % de la corteza terrestre. Su presencia no está asociada a la forma metálica libre sino a diferentes formas compuestas, encontrándose como óxidos, sulfuros, carbonatos y silicatos. El Mn es un elemento que se halla de forma natural en el ambiente. Es un mineral abundante en la corteza terrestre y forma parte de más de cien sales minerales incrustadas en piedras, suelos y en el fondo de los lagos y océanos. Se encuentra comúnmente en forma de óxido, aunque también puede encontrarse como un silicato de carbono.

Está presente en animales y plantas, por ende, se encuentra en los alimentos que ingerimos. Las concentraciones de Mn en el aire son de 5ng/m³ aprox. en zonas no

industrializadas y pueden variar y aumentar hasta 33ng/m³ en zonas industrializadas, y en áreas industriales cerradas, la relación Mn-aire puede ser de 0.13 µg/m³ o más.

2.1.22. Presencia del Manganeseo en el Agua

Las rocas y suelos aportan Mn naturalmente a las aguas, encontrándose en su forma disuelta o como material particulado. Las formas del Mn que predominan en los medios acuáticos a medida que aumenta el pH son Mn²⁺, MnCO₃(s), MnO₂(s) y MnS(s), siendo poco comunes en la forma de: carbonatos ácidos, sulfatos y cloruros.

En aguas oceánicas la proporción de Mn presente en el material particulado es baja a comparación del nivel de Mn disuelto.

La química del Mn en el agua es muy diversa, estando la movilidad de éste influenciada por el pH y por el potencial redox. El Mn no disuelto se encuentra asociado a materia orgánica o a otros metales. Cuando el potencial redox decrece lo suficiente el Mn en estado de oxidación +3 o +4 pasa a su estado de oxidación +2, de mayor solubilidad en agua los diversos estados de oxidación que presenta el Mn producen que éste sea uno de los pocos elementos predominantes en los procesos de óxido-reducción que acontecen en los sistemas acuáticos.

La actividad antrópica puede ocasionar aumento en las concentraciones del Mn, es así como las principales fuentes de contaminación ambiental están dadas por los humos, polvos y aerosoles provenientes de procesos metalúrgicos, operaciones mineras y otras actividades industriales, a esto se le suma la combustión de carbón, la producción de cemento portland y la incineración de residuos sólidos.

2.1.23. Hierro

El hierro es un elemento químico de número atómico 26 situado en el grupo 8, periodo 4 de la tabla periódica de los elementos. Su símbolo es Fe y tiene una masa atómica de 55.6

uma. Este metal de transición es el 4to elemento más abundante en la corteza terrestre, representando un 5%.

Así mismo, es uno de los elementos más importantes del Universo, y el núcleo de la Tierra está formado principalmente por hierro y níquel, generando al moverse un campo magnético. Se encuentra en las aguas corrientes naturales en concentraciones que varían de 0.5 a 50 mg/l. El hierro total puede encontrarse como:

- Hierro en suspensión (en estado férrico principalmente).
- Hierro disuelto: Hierro en estado férrico solubilizado. El hierro es un elemento indeseable en el agua desde el punto de vista estético, como generalmente se encuentra en estado férrico; le confiere al agua un sabor metálico y color rojizo desagradable provocando manchas en la ropa y los artefactos sanitarios (Alfaro, 2017).

2.2. Marco Conceptual

2.2.1. Definición de Términos

a) Floculación:

Es un proceso químico que consiste en añadir sustancias denominadas floculantes, con la finalidad de que se aglutinan las sustancias coloidales existentes en el agua, para hacer más fácil la decantación y posterior filtrado. Es un paso del proceso de potabilización de aguas de origen superficial y sirve para el tratamiento de aguas servidas domésticas, industriales y de la minería.

b) Floculantes:

Es una sustancia que se utiliza en el proceso de floculación para la potabilización del agua, se caracteriza porque existe tipos de floculantes como catiónicos, aniónicos y sintéticos.

c) Concentración:

Relación de una sustancia disuelta o contenida en una cantidad dada de otra sustancia (MINAM, 2010).

d) 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).

e) Eficiencia:

Es la capacidad de lograr lo deseado con el mínimo de recursos, es decir disponer de algo para conseguir lo que queremos.

f) Parámetros Fisicoquímicos:

Ayudan a poder determinar y a evidenciar la alteración del estado de la calidad de agua en la presencia de contaminantes orgánicos, industriales, entre otros (Zhen, 2009).

g) Procesos Fisicoquímicos:

Se caracterizan por los cambios que ocurren debido a la aplicación de fuerzas físicas que trabajan con reacciones químicas para obtener un efectivo tratamiento del agua residual cruda (Cerón, 2011).

h) Reacción Fenton:

Se conoce como Fenton a la reacción realizada con peróxido de hidrógeno, y sal de hierro (II) (Román y Martínez 2017).

i) Peróxido de Hidrogeno (H_2O_2):

Compuesto químico con características de un líquido altamente polar, asociado con el hidrógeno, se presenta como un líquido viscoso. Es conocido por ser un poderoso oxidante

(Delgado y Santander, 2017).

j) Metal Pesado:

Un metal pesado es un miembro de un grupo de elementos no muy bien definido que exhibe propiedades metálicas. Se incluyen principalmente metales de transición, algunos semimetales, lantánidos, y actínidos. Muchas definiciones diferentes han propuesto basarse en la densidad, otras en el número o peso atómicos, y algunas en sus propiedades químicas o de toxicidad.

k) Radiación UV:

Propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o de un medio material, la radiación transporta energía suficiente para generar ionización en el medio que atraviesa (Delgado y Santander, 2017).

l) Toxicidad:

La propiedad de una sustancia o mezcla de sustancias de provocar efectos adversos en la salud o en los ecosistemas (MINAM, 2010).

m) Tratamiento:

Métodos, técnicas o procesos diseñados para la remoción de sólidos y/o contaminantes de efluentes o emisiones (MINAM, 2010).

2.2.2. Marco Legal Ambiental

- **La Constitución Política del Perú – Título III, Capítulo II: Del Ambiente y los Recursos Naturales.** La Constitución Política del Perú de 1993, en su artículo 2º, inciso 22, establece que “Toda persona tiene derecho a la paz, la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida”. Asimismo, los artículos 66º, 67º, 68º y

69° establecen que los recursos naturales, renovables y no renovables son patrimonio de la Nación, siendo el Estado el promotor del uso sostenible de éstos.

- ***Decreto Legislativo N°635, Código Penal del año 1991;*** En el título XIII sobre delitos ambientales, menciona las penas privativas de libertad a las personas que descarguen, comercialicen o viertan desechos industriales o domésticos en zonas no autorizados, con mayor sanción si el causante es funcionario o servidor público.
- ***Ley General de Salud N° 26842, del año 1997.*** Se reconoce la responsabilidad del Estado frente al cuidado de la salud del ambiente. Así tenemos en el Artículo N° 96 del capítulo IV, se menciona que para la disposición de sustancias y productos peligrosos debe tener en cuenta todas las medidas y precauciones para evitar daños a la salud y el ambiente. Así también, los Arts. 99, 104 y 107 del Capítulo VIII, mencionan sobre los desechos y responsabilidad de las personas naturales o jurídicas a no realizar descargas de compuestos o sustancias contaminantes al aire, agua o suelo.
- ***La Ley General del Ambiente, Ley N° 28611,*** Conforme al artículo N°1. Toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y tiene el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente. así como a sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y desarrollo sostenible del país.

En su artículo N° 9, cuando se refiere a la Política Nacional del Ambiente que su objetivo es mejorar la calidad de vida de las personas y garantizar la permanencia de ecosistemas saludables, viables y funcionales a largo plazo; y el desarrollo

sustentable del país, mediante la preservación, cuidado y recuperación del ambiente y sus componentes, la conservación y el aprovechamiento racional y sostenible de los recursos naturales, de una forma responsable y congruente con el respeto a los derechos esenciales de la persona.

En su Artículo N° 31 trata sobre el Estándar de Calidad Ambiental, y lo define 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.

Acorde al artículo N° 114. Cita que el acceso al agua para consumo humano es un derecho de la población, y que le corresponde al Estado asegurar la vigilancia y protección de aguas que se utilizan para abastecimiento de la población, sin perjuicio de las responsabilidades que correspondan a los particulares. En caso de escasez del recurso hídrico, el Estado asegura el uso preferente del agua para abastecimiento de las necesidades poblacionales, frente a otros usos.

Acorde al artículo N° 120. Establece que el Estado, tiene el deber de la protección de la calidad del recurso hídrico del país. De esta manera el Estado promueve el tratamiento de las aguas residuales con fine de su reúso, considerando como antecedente la obtención de la calidad necesaria para su reutilización, sin afectar la salud humana, el ambiente o las actividades en las que se reutilizaran.

- ***Ley N° 29338. Ley de Recursos Hídricos, del 31 de marzo de 2009***, esta ley tiene por finalidad normalizar el uso y gestión integrada del agua, la participación del Estado y los privados en dicha gestión, basándose en los principios de valoración del agua, priorizar el acceso al agua, participación de los ciudadanos

y cultura del agua, seguridad jurídica, el respeto de los usos de agua por las comunidades campesinas y nativas, sustentabilidad, descentralización, prevención, eficiencia., gestión integrada y tutela jurídica; en este sentido se ha creado el Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos, siendo la Autoridad Nacional del Agua el ente rector y la máxima autoridad técnico normativa la cual está integrada por el Consejo Directivo, Jefatura, Tribunal de Resolución de Controversias Hídricas, Órganos Desconcentrados denominados Autoridades Administrativas del Agua y Administradores Locales del Agua; y Órganos de Apoyo.

Para el uso del agua y su vertimiento se ha fijado una retribución económica cuyas tarifas están de acuerdo con el uso de infraestructuras hidráulicas mayores y menores, por el servicio de monitoreo y por la gestión de las aguas subterráneas.

La presente ley deroga el Decreto Ley N° 17752, Ley General de Aguas y su reglamento el Decreto Supremo N° 261-69-AP.

- ***Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, D.S. N° 001-2010 - AG***, en su Artículo 103 trata sobre la protección del agua, indica que, la protección del agua tiene como finalidad la prevención y deterioro de su calidad; proteger y mejorar el estado de los cuerpos naturales y los ecosistemas acuáticos; implantar medidas; específicas para eliminar o minimizar progresivamente las causas que generan su contaminación y degradación.
- ***D.L N° 1083-2008-ANA***. El presente decreto legislativo establece el marco normativo para promover el aprovechamiento racional y la conservación de los recursos hídricos motivando el desarrollo de una cultura de uso responsable entre todos los usuarios y operadores de infraestructura hidráulica, pública o privada.

La Autoridad Nacional del Agua, fija los parámetros de eficiencia para el aprovechamiento de los recursos hídricos, los cuales son requisitos máximos y mínimos aplicables a cada tipo y forma de uso del recurso. La ANA brinda Certificados de Eficiencia en la cual consta el uso eficiente, así como Certificados de Creatividad, Innovación e Implementación para la Eficiencia del Uso del Agua. Los incentivos institucionales que promueve la Autoridad Nacional del Agua son cursos de buenas prácticas, pasantías, premios, divulgación de experiencias exitosas e impulso del uso de equipos y tecnologías innovadoras. Para los usuarios y operadores que incumplan con los parámetros de eficiencia tendrán que presentar un Plan de Adecuación para el uso eficiente de los recursos hídricos hasta cumplir en un tiempo no mayor de 5 años con los parámetros solicitados.

- ***Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias.*** Compila 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.

Las categorías establecidas para los estándares de calidad ambiental para agua son:

- ✓ Categoría 1: Poblacional y Recreacional.
- ✓ Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino-costeras y continentales.
- ✓ Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales.
- ✓ Categoría 4: Conservación del ambiente acuático.

- **Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA.** aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, dejando sin efecto el Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA donde se Aprobaron los Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.

III. MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

La presente investigación de acuerdo al enfoque propuesto y según el objetivo que se persigue es de tipo aplicada, debido a que se pretende generar nuevos conocimientos de tal manera que puedan coadyuvar en la resolución de problemas, para nuestro planteamiento se pretende encontrar la dosis óptima del oxidante químico complementado con un coagulante para remover las concentraciones ya conocidas de Hierro y Manganeseo hasta alcanzar una máxima eficiencia, dependiendo de las dosis del oxidante y floculante químico utilizado, el mismo será desarrollado en un sistema controlado donde la muestra será preparada a nivel de laboratorio. El diseño metodológico desde un enfoque cuantitativo es experimental, y debido a su grado de manipulación bajo un ambiente controlado de las variables se clasifica dentro de los experimentales puros, puesto que se manipula intencionalmente la variable independiente “Oxidante y floculante químico” las veces que sea necesario, con la finalidad de observar cambios en el comportamiento de la variable dependiente “Remoción de Hierro y Manganeseo”.

3.2. Ámbito temporal y espacial

3.2.1. Ámbito temporal

Por tratarse de una investigación de tipo aplicada y con un diseño experimental tiene un tiempo de desarrollo, desde la búsqueda de la información, desarrollo experimental e informe final, el mismo que se inicia con una búsqueda bibliográfica comprendida entre los años 2008 al 2018. La fase experimental o desarrollo de los ensayos se programaron entre diciembre del 2019 y marzo del año 2020; y concluyendo con el informe final para octubre del 2020.

3.2.2. *Ámbito espacial*

El desarrollo de la presente investigación se planea trabajarlo en un ambiente controlado a nivel de laboratorio por lo que no será necesario realizar un trabajo de campo, esto debido a que las particularidades del tipo y diseño considerado corresponden a un tipo de investigación pura, por tal motivo el ámbito espacial corresponde al área y lugar donde se desarrolló toda la fase experimental, siendo el ambiente de trabajo el laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo de la UNFV. Las muestras fueron preparadas y acondicionadas para ser trabajadas en un floculador programable, en el mismo laboratorio bajo un ambiente manejado y controlado por el investigador, donde el resultado de dicha preparación fueron las muestras sintéticas, que posteriormente sería la base principal para realizar todas las pruebas y ensayos experimentales. La ubicación geográfica del lugar de estudio corresponde al Laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería Ambiental y Ecoturismo-UNFV, el cual presenta las coordenadas siguientes UTM: 277097 E y 8 667 468 N.

3.3. Variables

3.3.1. *Variable Independiente*

Oxidación y Floculación Química.

3.3.2. *Variable Dependiente*

Remoción de Hierro y Manganeseo.

Tabla 6*Operacionalización de Variables de Investigación*

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
Variable Independiente Oxidación y Floculación Química.	En la oxidación se forma material floculado (flocs pequeños y débiles) que luego de la reacción entre los iones hidróxidos y el cloro, se produce cloruro férrico el cual es rápidamente hidrolizado como hidróxido férrico. En el caso de los iones de Manganese, la oxidación con el cloro permite la formación del dióxido de manganeso el cual tiene la propiedad de adherirse a la superficie, (Keller, 2004)	La oxidación y floculación química permitirán desarrollar un proceso de remoción de metales pesados en una muestra sintética, donde el hierro y manganeso reaccionarán con el oxidante hipoclorito para formar un precipitado y posteriormente ser clarificado mediante el coagulante de sulfato de aluminio.	PARAMETROS DE CONTROL	Dosis
				Tiempo
				Velocidad de Agitación
			PARAMETROS DE CONTROL	Eficiencia
				Dosis
				Tiempo
Variable Dependiente Remoción de Hierro y Manganese	Para la formación del precipitado de hidróxido de hierro se requiere 0.64 mg/l de Cloro para 1 mg/l de Hierro; y para la reacción del Manganese se requiere 1.3 mg/l de Cloro libre para oxidar 1 mg/l de Manganese (Petrusevsky, 2003)	El Hierro y Manganese son dos metales que pasaran por una reacción química oxidativa cambiando su especiación y hacerse insolubles y alcanzar un precipitado, ya que por su propia naturaleza los metales pesados no pueden degradarse, sino sólo removerlos.	PARAMETROS INORGANICOS (Fe y Mn)	Velocidad de Agitación
				Eficiencia
				Concentración Inicial
				Concentración Inicial
				Potencial de Hidrógenos

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

En nuestro estudio se está considerando trabajar con muestras sintéticas, las cuales serán preparadas en el laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo de la UNFV. La población total corresponde a las muestras preparadas bajo condiciones controladas y tendrán diferentes concentraciones de Hierro y Manganeseo, que corresponden a un volumen total de tratamiento de 180 litros para ambos metales, donde el volumen por cada metal será de 90 litros e incluye dos repeticiones.

3.4.2. Muestra

La muestra para el caso de nuestro trabajo de investigación y por tratarse de un trabajo experimental puro, será la misma que corresponde a la población, siendo un total de 180 litros. De acuerdo al planteamiento del estudio, éste se desarrollará con un primer tratamiento con Hierro de 90 litros, y un segundo tratamiento con Manganeseo también de 90 litros, haciendo un total de 180 litros. El volumen mínimo por trabajar es de 1 litro por muestra, donde cada ensayo será de 5 litros, el cual incluirá dos repeticiones adicionales, haciendo un total de 15 litros por tratamiento y 6 concentraciones de trabajo.

3.5. Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos

3.5.1. Técnicas

- Manual de laboratorio.
- Análisis de muestras.

3.5.2. Instrumentos

- Fichas de recolección de datos.
- Métodos Estandarizados.
- Fichas textuales, resúmenes de informes, trabajos anteriores, si hubiese,
- Estadísticas, etc.

3.5.3. Fuentes

- Informes, trabajos anteriores, estadísticas, etc.
- El propio investigador se encargará de realizar los ensayos de laboratorio.

3.6. Procedimiento

El procedimiento para el desarrollo de la presente investigación ha considerado cuatro etapas secuenciales: Preparación de muestras con el oxidante y floculante químico, corridas con el floculador programable, determinación de Hierro y Manganeseo por absorción atómica; y Análisis final de datos.

3.6.1. Preparación de muestras, oxidantes y floculante químico.

En el laboratorio de Geografía y Medio Ambiente (LAGEMA) de la FIGAE, se realizó la preparación de las muestras, el oxidante y floculante químico bajo un ambiente controlado por el investigador. El proceso se inició con la preparación del oxidante químico a partir del hipoclorito de Calcio de una concentración conocida, que sirvió como patrón o estándar de referencia para la preparación de las dosis que fueron utilizadas en cada una de las jarras a ensayar, de la misma forma se preparó una solución de floculante químico a partir de sulfato de aluminio, y para la neutralización de las muestras se preparó una solución de Hidróxido de calcio. Las dosis que se utilizaron de oxidante para los ensayos de floculación fueron de 0.5,

1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 ml, preparados a partir de una concentración de 1000 mg/l de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$.

Para la obtención de las concentraciones de las muestras sintéticas de Hierro y Manganeseo, éstas fueron preparadas a partir de un soluto de Nitrato de Hierro $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ y Nitrato de Manganeseo $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2$, los cuales sirvieron para la elaboración de una solución estándar o patrón de Fe y Mn de 1000 ppm en medio ácido al 5% con HNO_3 .

Las muestras para trabajar en los ensayos de oxidación y floculación química fueron preparadas a partir del patrón de Hierro y Manganeseo, quienes tuvieron una concentración inicial de 160, 150, 140, 130, 120 y 110 mg/l para el caso de Mn; y de 300, 290, 280, 270, 260 y 250 mg/l para el caso de Hierro, cabe indicar que todas las muestras fueron trabajadas con un volumen de 1000 ml.

3.6.2. Ensayos de Prueba de Jarras

Las pruebas para el tratamiento por oxidación y floculación química fueron desarrolladas mediante una prueba de jarras o Jar Test, donde se acondicionaron 5 jarras conteniendo las muestras de Manganeseo y Hierro con concentraciones iniciales ya conocidas de 160, 150, 140, 130, 120 y 110 mg/l; y 300, 290, 280, 270, 260 y 250 mg/l respectivamente, con un volumen de 1 litro cada uno.

Las pruebas se realizaron en el floculador programable, donde se consideró trabajar con una revolución rápida de 200 rpm, por un tiempo programado de 15 minutos hasta alcanzar una homogenización completa, para posteriormente dar un tiempo de sedimentación de 30 minutos en todos los casos, y proceder a la toma de muestra del sobrenadante.

Las jarras tuvieron concentraciones iniciales preparadas a partir de los patrones de Manganeseo (160, 150, 140, 130, 120 y 110 mg/l) y Hierro (300, 290, 280, 270, 260 y 250 mg/l) cada una y fueron sometidas a diferentes dosis de 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 ml de oxidante, con la

finalidad de encontrar la dosis ideal hasta alcanzar el límite máximo permisible para el caso de efluentes minero-metalúrgicos, así como también conocer la eficiencia de remoción para cada una de las pruebas.

Los ensayos fueron llevados a cabo en cinco jarras de un litro de capacidad y se hicieron adicionalmente dos repeticiones para cada corrida experimental, primero se trabajó con Manganese y se aplicó las 5 dosis antes indicadas de oxidante químico ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$), y luego de la misma forma con Manganese, de tal manera que obtuvimos dos tratamientos generales por cada metal (6 concentraciones para Mn y 6 concentraciones para Fe) con 5 Jarras de trabajo y dos repeticiones, haciendo un subtotal de 90 litros por metal y un total de 180 litros por ambos metales.

3.6.3. Determinación de Hierro y Manganese

Una vez terminado el tiempo de sedimentación de cada ensayo proyectado en 30 minutos, se procedió a tomar muestra del sobrenadante.

La muestra por tomar para la determinación de Hierro y Manganese fue de 100 ml, quien previamente antes de su determinación fue digestada con ácido nítrico al 5% en la plancha de calentamiento hasta alcanzar una evaporación aproximada del 75% del volumen de muestra, y posteriormente enrasada a 100 ml con agua destilada y llevado a lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica.

Antes de la lectura en el equipo de Absorción atómica, se procedió a la elaboración de la curva de calibrado con estándares de 0.0, 0.5, 1.0 y 2.0 mg/l, quienes fueron preparados a partir de soluciones patrones de Hierro y Manganese de 50 mg/l.

3.6.4. Análisis Final

La etapa final del procedimiento consistió en evaluar los resultados finales trabajados

en las pruebas de jarras luego de la determinación de Hierro y Manganeseo en el equipo de Absorción atómica, en esta etapa se procedió a analizar cuáles fueron las dosis óptimas en cada uno de los ensayos en relación a cada una de las concentraciones iniciales y finales de los metales en estudio. Así mismo, se evaluó las eficiencias obtenidas de acuerdo a las dosis del oxidante y floculante químico aplicado en cada una de las muestras, y con ello finalmente procedió a elaborar las tablas y graficas respectivas a fin de observar el comportamiento de cada dosis óptima registrada y sus respectivas eficiencias. Con los resultados finales obtenidos y analizados cuantitativamente se procedió a discutir de acuerdo con otras investigaciones, y de acuerdo con ello, proceder finalmente a obtener las conclusiones para nuestro trabajo de investigación y culminar con las recomendaciones según el caso.

3.7. Análisis de datos

En el análisis de datos cuantitativos se tomó en cuenta los niveles de medición de las variables y se aplicó la estadística que permitió describir las características principales de las variables dependientes e independientes, tomadas individualmente. Se llevó a cabo un análisis y descripción de cada una de las variables para lo cual se utilizó el programa Ms. Excel 2016; además se usó para presentar la estadística descriptiva tablas y gráficas de datos y para presentar la distribución de los datos se realizará empleando graficas lineales, todo esto con el propósito de conocer cuáles serán las dosis más óptimas y determinar las eficiencias en la oxidación y floculación química del Hierro y Manganeseo, y probar mediante la contratación de las hipótesis lo formulado en nuestra investigación.

IV. RESULTADOS

4.1. Resultados de la dosis óptima para la remoción de Manganeso

Para la determinación de la dosis óptima se consideró trabajar para todas las concentraciones (160, 150, 140, 130, 120 y 110 mg/l) con los siguientes parámetros y reactivos de ensayo:

- a) Parámetros de ensayo:
 - ✓ Volumen
 - ✓ Temperatura
 - ✓ Concentración inicial de la muestra de Mn
 - ✓ Concentración final de la muestra de Mn
 - ✓ pH inicial de la muestra
 - ✓ pH final de la muestra
- b) Reactivos de ensayo:
 - ✓ Neutralizante: $\text{Ca}(\text{OH})_2$: 5 %
 - ✓ Concentración de la dosis: 150 mg/l
 - ✓ Volumen añadido: 3 ml
 - ✓ Oxidante: $\text{Ca}(\text{ClO})_2$: 0.1%
 - ✓ Concentración de la dosis: 1000 mg/l
 - ✓ Coagulante: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$: 0.1%
 - ✓ Concentración de la dosis: 1000 mg/l
 - ✓ Volumen añadido: 5 ml

4.1.1. Primer ensayo

A continuación, en la siguiente tabla se muestran los resultados del primer ensayo, el cual pasó por tres procesos, el primero de neutralización con hidróxido de Calcio (Ca(OH)_2), el segundo de oxidación con hipoclorito de Calcio (Ca(ClO)_2) y el tercero de coagulación con Sulfato de Aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- ✓ Volumen de muestra: 1L
- ✓ Temperatura: 21.5
- ✓ Concentración de la dosis de Ca(ClO)_2 : 0.5 mg/l
- ✓ pH inicial: 4.0
- ✓ pH final: 8.05
- ✓ Concentración inicial de Mn: 160 mg/l

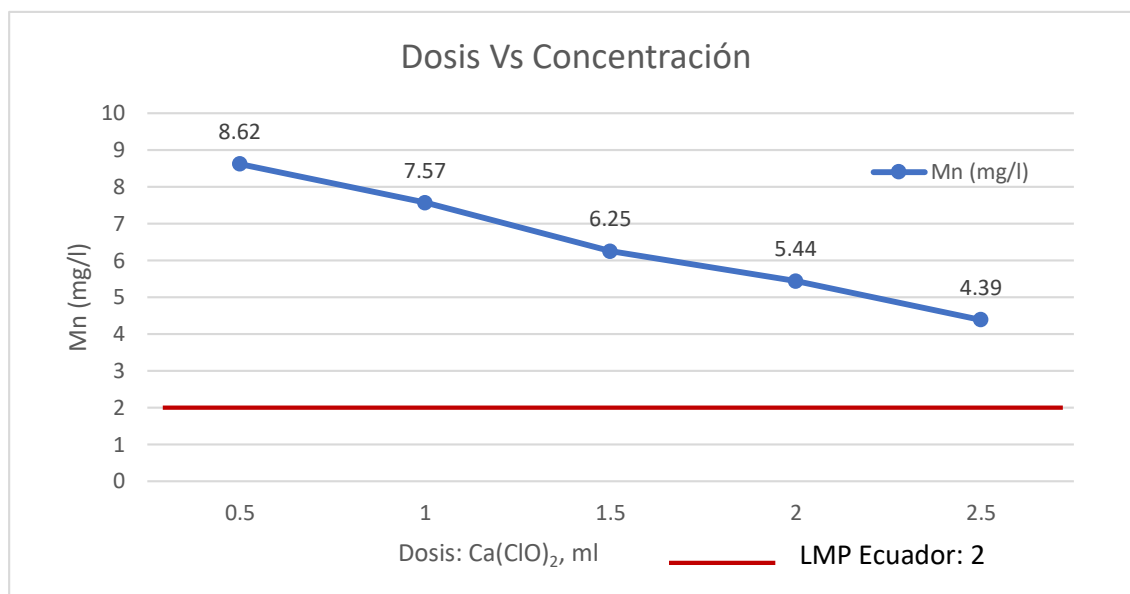
Tabla 7

Dosis óptima para 160 mg/l de Mn

Concentración Inicial Mn (mg/l)					
160					
Dosis Ca(OH)_2 (ml)	3				
Dosis Ca(ClO)_2 (ml)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Concentración parcial Mn (mg/l)	8.83	7.71	6.64	5.73	4.85
Dosis $\text{Al(SO}_4)_2$ (ml)	5				
Concentración final Mn (mg/l)	8.62	7.57	6.25	5.44	4.39

Figura 4

Dosis Vs Concentración para 160 mg/l de Mn



Finalizado el proceso de remoción de Manganese, que se inició con una concentración de 160 mg/l, se evidencia una disminución significativa después de la adición progresiva de las dosis del oxidante (0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 ml). El nivel más bajo alcanzado fue de 4.39 mg/l, el cual fue trabajado con la dosis de 2.5 ml., sin embargo, cabe indicar que, de acuerdo a lo proyectado, no se alcanza una optimización que pueda cumplir con el Límite Máximo Permissible de acuerdo a la norma ecuatoriana que indica un valor de 2 mg/l.

4.1.2. Segundo ensayo

A continuación, en la siguiente tabla se muestran los resultados del segundo ensayo, el cual pasó por tres procesos, el primero de neutralización con hidróxido de Calcio (Ca(OH)₂), el segundo de oxidación con hipoclorito de Calcio (Ca(ClO)₂) y el tercero de coagulación con Sulfato de Aluminio (Al₂(SO₄)₃). Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- ✓ Volumen de muestra: 1L

- ✓ Temperatura: 21.5
- ✓ Dosis $\text{Ca}(\text{ClO})_2$: 1.0 mg/l
- ✓ pH inicial: 4.0
- ✓ pH final: 8.15
- ✓ Concentración inicial de Mn: 150 mg/l

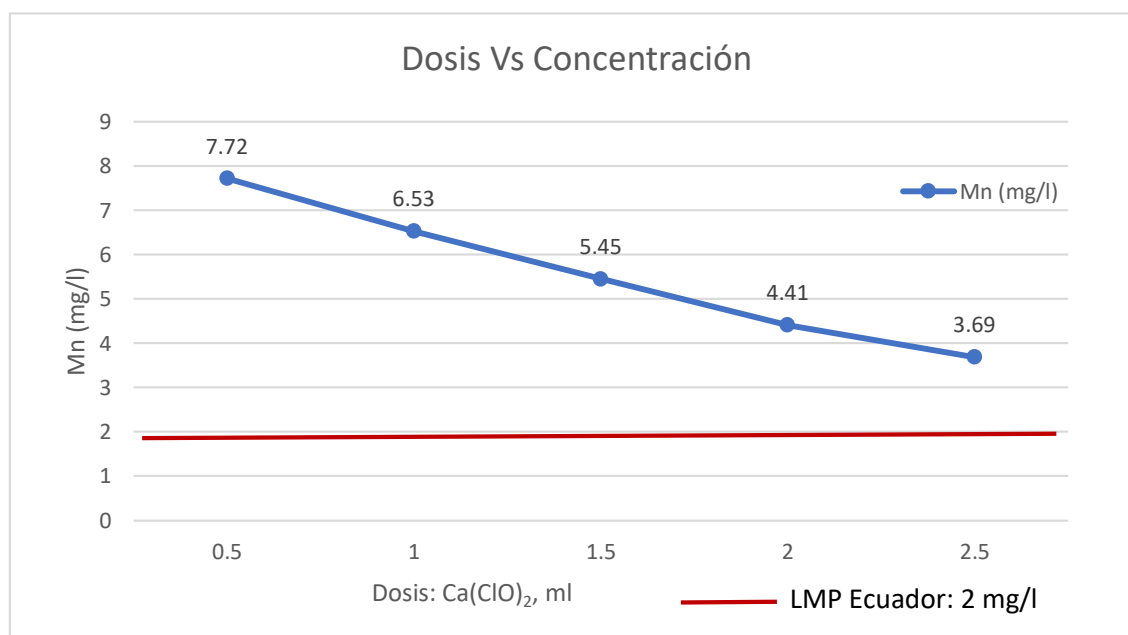
Tabla 8

Dosis óptima para 150 mg/l de Mn

Concentración Inicial Mn (mg/l)	150				
Dosis $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (ml)	3				
Dosis $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ (ml)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Concentración parcial Mn (mg/l)	7.91	6.81	5.54	4.63	3.85
Dosis $\text{Al}(\text{SO}_4)_2$ (ml)	5				
Concentración final Mn (mg/l)	7.72	6.53	5.45	4.41	3.69

Figura 5

Dosis Vs Concentración para 150 mg/l de Mn



Finalizado el proceso de remoción de Manganese, que se inició con una concentración de 150 mg/l, se evidencia una disminución significativa después de la adición progresiva de las dosis del oxidante (0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 ml). El nivel más bajo que alcanzó fue de 3.69 mg/l, el cual fue trabajado con la dosis de 2.5 ml., sin embargo, cabe indicar que, de acuerdo a lo proyectado, no se alcanza una optimización que pueda cumplir con el Límite Máximo Permisible de acuerdo a la norma ecuatoriana que indica un valor de 2 mg/l.

4.1.3. Tercer ensayo

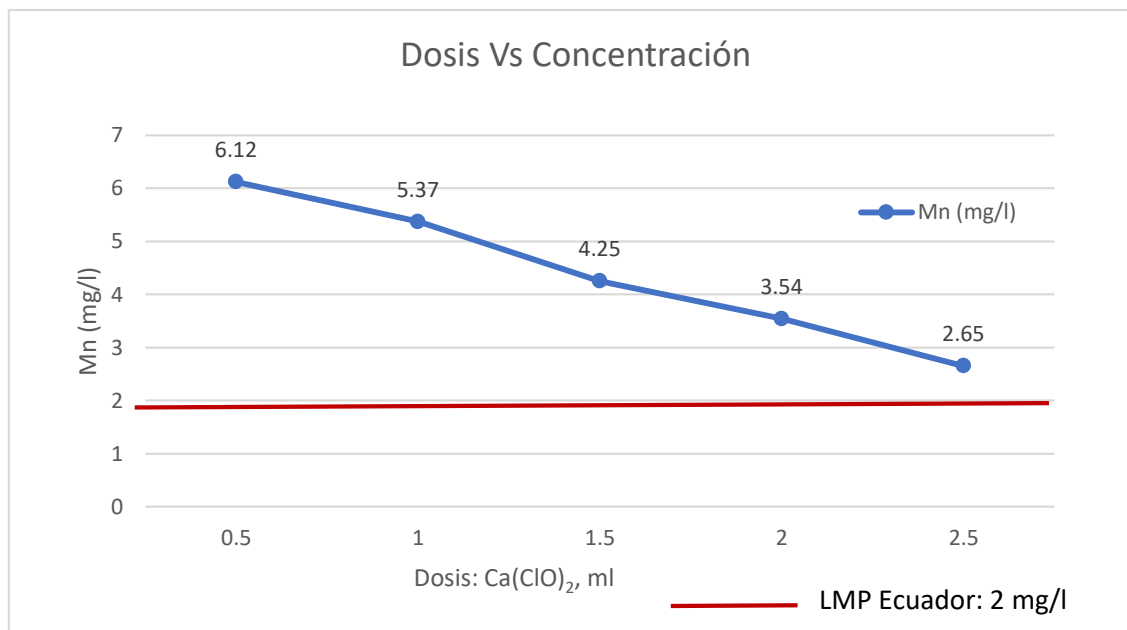
A continuación, en la siguiente tabla se muestran los resultados del tercer ensayo, el cual pasó por tres procesos, el primero de neutralización con hidróxido de Calcio (Ca(OH)_2), el segundo de oxidación con hipoclorito de Calcio (Ca(ClO)_2) y el tercero de coagulación con Sulfato de Aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron:

- ✓ Volumen de muestra: 1L
- ✓ Temperatura: 21.5
- ✓ Dosis Ca(ClO)_2 : 1.5 mg/l
- ✓ pH inicial: 4.0
- ✓ pH final: 8.28
- ✓ Concentración inicial de Mn: 140 mg/l

Tabla 9

Dosis óptima para 140 mg/l de Mn

Concentración Inicial Mn (mg/l)		140			
Dosis Ca(OH) ₂ (ml)		3			
Dosis Ca(ClO) ₂ (ml)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Concentración parcial Mn (mg/l)	6.34	5.61	4.55	3.73	2.85
Dosis Al(SO ₄) ₂ (ml)		5			
Concentración final Mn (mg/l)	6.12	5.37	4.25	3.54	2.65

Figura 6*Dosis Vs Concentración para 140 mg/l de Mn*

Finalizado el proceso de remoción de Manganese, que se inició con una concentración de 140 mg/l, se evidencia una disminución significativa después de la adición progresiva de las dosis del oxidante (0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 ml). El nivel más bajo alcanzado fue de 2.65 mg/l, el cual fue trabajado con la dosis de 2.5 ml., sin embargo, cabe indicar que, de acuerdo a lo proyectado, no se alcanza una optimización que pueda cumplir con el Límite Máximo Permisible de acuerdo a la norma ecuatoriana que indica un valor de 2 mg/l.

4.1.4. Cuarto ensayo

A continuación, en la siguiente tabla se muestran los resultados del cuarto ensayo, el cual pasó por tres procesos, el primero de neutralización con hidróxido de Calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), el segundo de oxidación con hipoclorito de Calcio ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) y el tercero de coagulación con Sulfato de Aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- ✓ Volumen de muestra: 1L
- ✓ Temperatura: 21.5
- ✓ Dosis $\text{Ca}(\text{ClO})_2$: 2.0 mg/l
- ✓ pH inicial: 4.0
- ✓ pH final: 8.47
- ✓ Concentración inicial de Mn: 130 mg/l

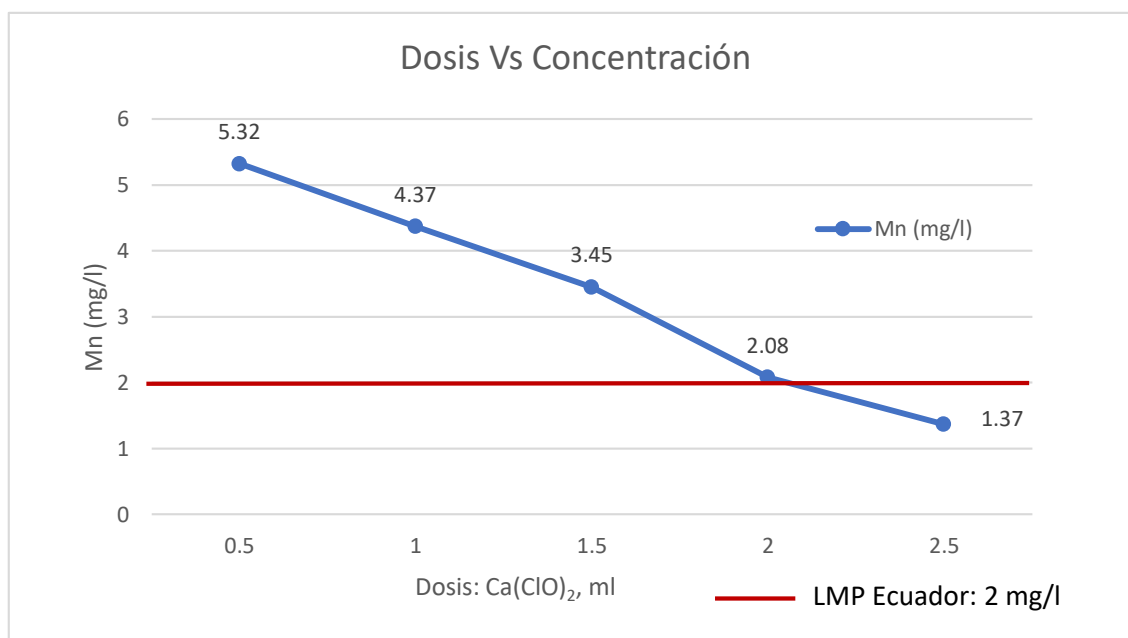
Tabla 10

Dosis óptima para 130 mg/l de Mn

Concentración Inicial Mn (mg/l)	130				
Dosis $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (ml)	3				
Dosis $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ (ml)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Concentración parcial Mn (mg/l)	5.48	4.56	3.74	2.39	1.52
Dosis $\text{Al}(\text{SO}_4)_2$ (ml)	5				
Concentración final Mn (mg/l)	5.32	4.37	3.45	2.08	1.37

Figura 7

Dosis Vs Concentración para 130 mg/l de Mn



Finalizado el proceso de remoción de Manganese, que se inició con una concentración de 130 mg/l, se evidencia una disminución significativa después de la adición progresiva de las dosis del oxidante (0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 ml). El nivel más bajo alcanzado fue de 1.37 mg/l, el cual fue trabajado con la dosis de 2.5 ml., cabe indicar que, de acuerdo a lo mostrado, en esta oportunidad podemos obtener un nivel óptimo que cumple con el Límite Máximo Permisible de acuerdo a la norma ecuatoriana que indica un valor de 2 mg/l. Los demás resultados finales de las otras dosis, si bien es cierto alcanzan una remoción importante no logran alcanzar los niveles establecidos en la norma.

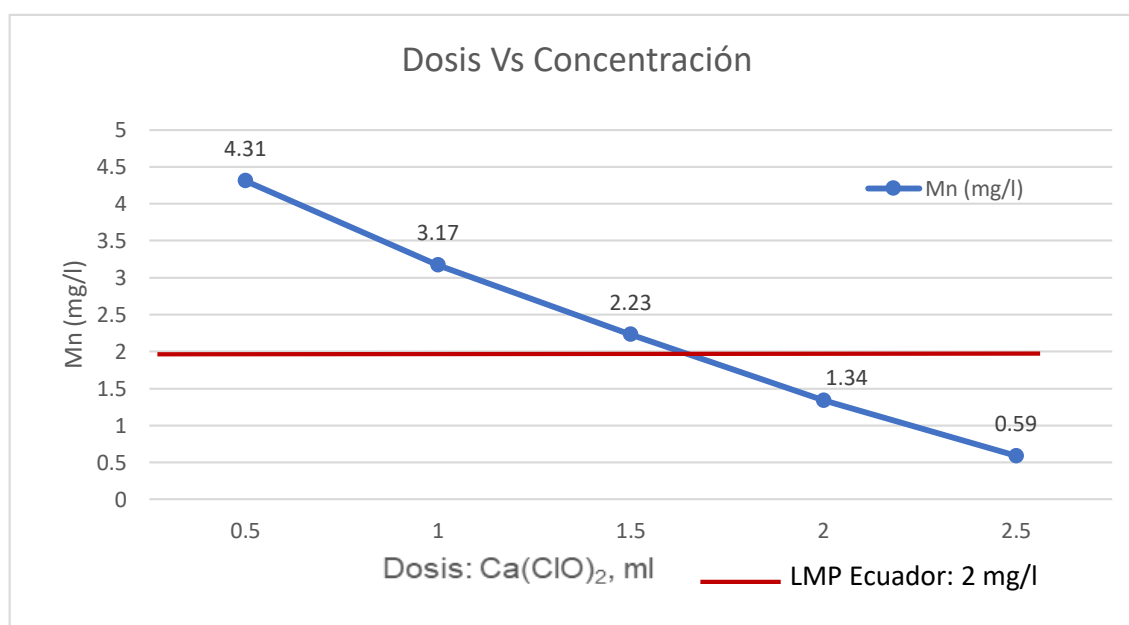
4.1.5. Quinto ensayo

A continuación, en la siguiente tabla se muestran los resultados del quinto ensayo, el cual pasó por tres procesos, el primero de neutralización con hidróxido de Calcio (Ca(OH)_2), el segundo de oxidación con hipoclorito de Calcio (Ca(ClO)_2) y el tercero de coagulación con Sulfato de Aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- ✓ Volumen de muestra: 1L
- ✓ Temperatura: 21.5
- ✓ Dosis Ca(ClO)_2 : 2.5 mg/l
- ✓ pH inicial: 4.0
- ✓ pH final: 8.68
- ✓ Concentración inicial de Mn: 120 mg/l

Tabla 11*Dosis óptima para 120 mg/l de Mn*

Concentración Inicial Mn (mg/l)					
120					
Dosis Ca(OH)₂ (ml)					
3					
Dosis Ca(ClO)₂ (ml)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Concentración parcial Mn (mg/l)	4.59	3.39	2.44	1.67	0.87
Dosis Al(SO₄)₂ (ml)					
5					
Concentración final Mn (mg/l)	4.31	3.17	2.23	1.34	0.59

Figura 8*Dosis Vs Concentración para 120 mg/l de Mn*

Finalizado el proceso de remoción de Manganeso, que se inició con una concentración de 120 mg/l, se evidencia una disminución significativa después de la adición progresiva de las dosis del oxidante (0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 ml). Los niveles más bajos alcanzados fueron de 1.34 y 0.59 mg/l, los cuales fueron trabajados con las dosis de 2.0 y 2.5 ml respectivamente, cabe indicar que, de acuerdo a lo mostrado, en esta oportunidad podemos obtener un nivel óptimo

que cumple con el Límite Máximo Permisible de acuerdo a la norma ecuatoriana que indica un valor de 2 mg/l. Los demás resultados finales de las otras dosis, si bien es cierto alcanzan una remoción importante no logran alcanzar los niveles establecidos en la norma.

4.1.6. Sexto ensayo

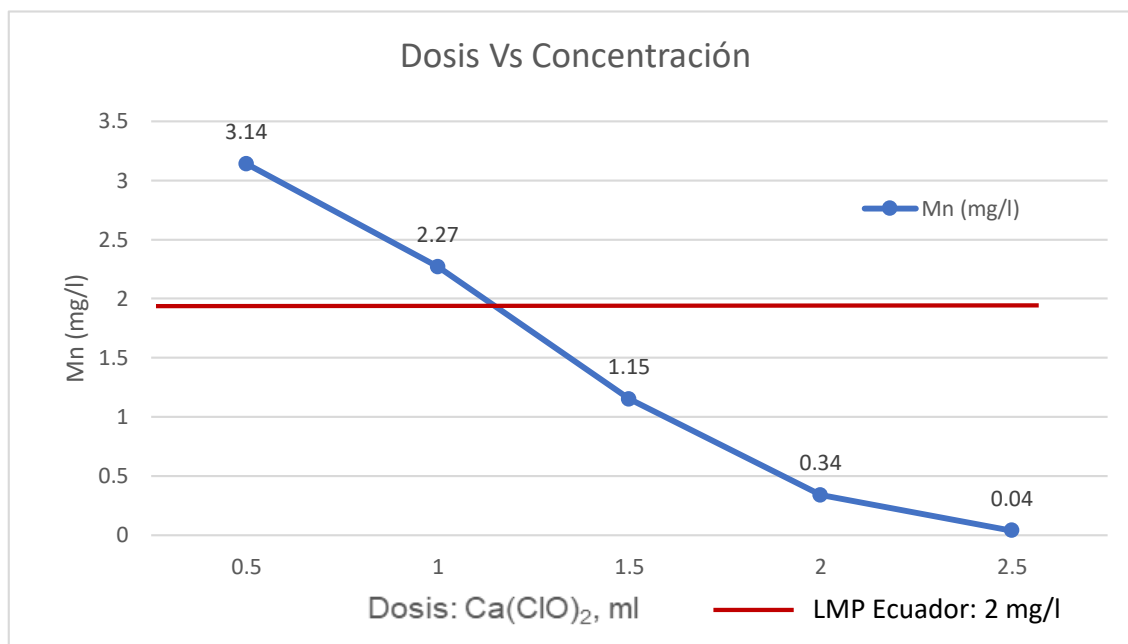
A continuación, en la siguiente tabla se muestran los resultados del sexto ensayo, el cual pasó por tres procesos, el primero de neutralización con hidróxido de Calcio (Ca(OH)_2), el segundo de oxidación con hipoclorito de Calcio (Ca(ClO)_2) y el tercero de coagulación con Sulfato de Aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- ✓ Volumen de muestra: 1L
- ✓ Temperatura: 21.5
- ✓ Dosis Ca(ClO)_2 : 3.0 mg/l
- ✓ pH inicial: 4.0
- ✓ pH final: 8.94
- ✓ Concentración inicial de Mn: 110 mg/l.

Tabla 12

Dosis óptima para 110 mg/l de Mn

Concentración Inicial Mn (mg/l)		110			
Dosis Ca(OH)2 (ml)		3			
Dosis Ca(ClO)2 (ml)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Concentración parcial Mn (mg/l)	3.38	2.42	1.39	0.53	0.08
Dosis Al(SO4)2 (ml)		5			
Concentración final Mn (mg/l)	3.14	2.27	1.15	0.34	0.04

Figura 9*Dosis Vs Concentración para 110 mg/l de Mn*

Finalizado el proceso de remoción de Manganeso, que se inició con una concentración de 110 mg/l, se evidencia una disminución significativa después de la adición progresiva de las dosis del oxidante (0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 ml). Los niveles más bajos alcanzados fueron de 1.15, 0.34 y 0.04 mg/l, los cuales fueron trabajados con las dosis de 1.5, 2.0 y 2.5 ml respectivamente, cabe indicar que, de acuerdo a lo mostrado, en esta oportunidad podemos obtener un nivel óptimo que cumple con el Límite Máximo Permisible de acuerdo a la norma ecuatoriana que indica un valor de 2 mg/l. Los demás resultados finales de las otras dosis, si bien es cierto alcanzan una remoción importante no logran alcanzar los niveles establecidos en la norma.

4.2. Resultados de la dosis óptima para la remoción de Hierro

Para la determinación de la dosis óptima se consideró trabajar para todas las concentraciones (300, 290, 280, 270, 260 y 250 mg/l) con los siguientes parámetros y reactivos

de ensayo:

- a) Parámetros de ensayo:
 - ✓ Volumen
 - ✓ Temperatura
 - ✓ Concentración inicial de la muestra de Mn
 - ✓ Concentración final de la muestra de Mn
 - ✓ pH inicial de la muestra
 - ✓ pH final de la muestra
- b) Reactivos de ensayo:
 - ✓ Neutralizante: Ca(OH)_2 : 5 %
 - ✓ Concentración de la dosis: 150 mg/l
 - ✓ Volumen añadido: 3 ml
 - ✓ Oxidante: Ca(ClO)_2 : 0.1%
 - ✓ Concentración de la dosis: 1000 mg/l
 - ✓ Coagulante: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$: 0.1%
 - ✓ Concentración de la dosis: 1000 mg/l
 - ✓ Volumen añadido: 5 ml

4.2.1. Primer ensayo

A continuación, en la siguiente tabla se muestran los resultados del primer ensayo, el cual pasó por tres procesos, el primero de neutralización con hidróxido de Calcio (Ca(OH)_2), el segundo de oxidación con hipoclorito de Calcio (Ca(ClO)_2) y el tercero de coagulación con Sulfato de Aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- ✓ Volumen de muestra: 1L

- ✓ Temperatura: 21.5
- ✓ Dosis $\text{Ca}(\text{ClO})_2$: 0.5 mg/l
- ✓ pH inicial: 4.0
- ✓ pH final: 8.05
- ✓ Concentración inicial de Fe^{3+} : 300 mg/l

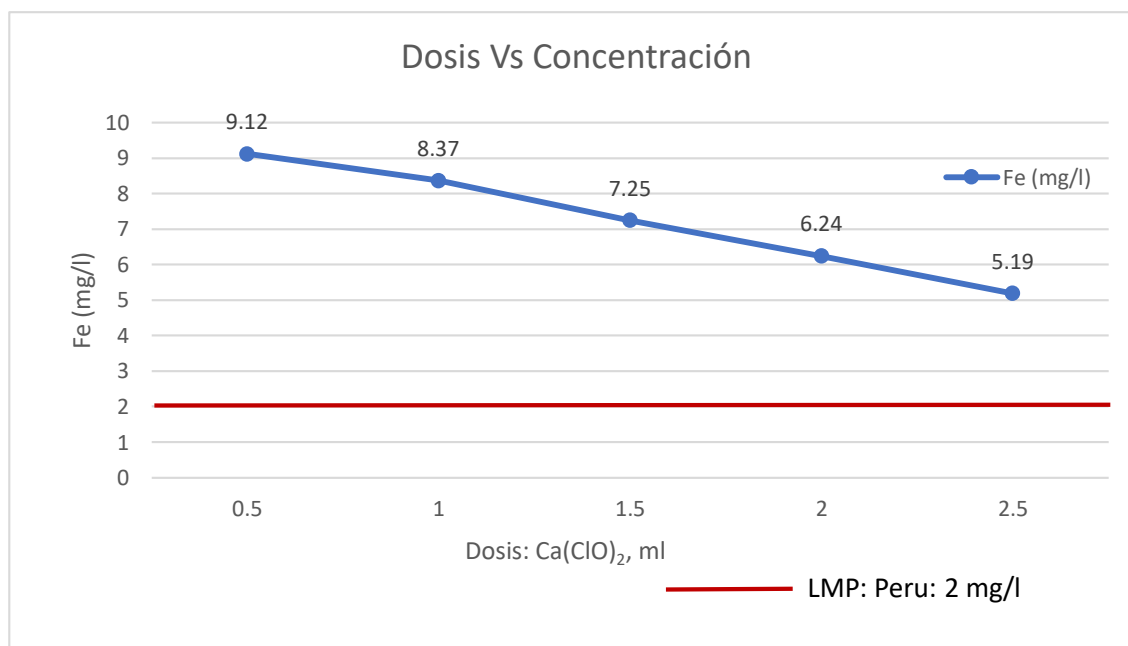
Tabla 13

Dosis óptima para 300 mg/l de Fe

Concentración Inicial Fe (mg/l)	300				
Dosis $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (ml)	3				
Dosis $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ (ml)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Concentración parcial Fe (mg/l)	9.53	8.81	7.94	6.83	5.75
Dosis $\text{Al}(\text{SO}_4)_3$ (ml)	5				
Concentración final Fe (mg/l)	9.12	8.37	7.25	6.24	5.19

Figura 10

Dosis Vs Concentración para 300 mg/l de Fe



Culminado el proceso de remoción de Hierro, que se inició con una concentración de 300 mg/l, se evidencia una disminución significativa después de la adición progresiva de las dosis del oxidante (0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 ml). El nivel más bajo que alcanzó fue de 5.19 mg/l, el cual fue trabajado con la dosis de 2.5 ml., sin embargo, cabe indicar que, de acuerdo a lo proyectado, no se alcanza una optimización que pueda cumplir con el Límite Máximo Permisible de acuerdo a la normativa nacional que indica un valor de 2 mg/l.

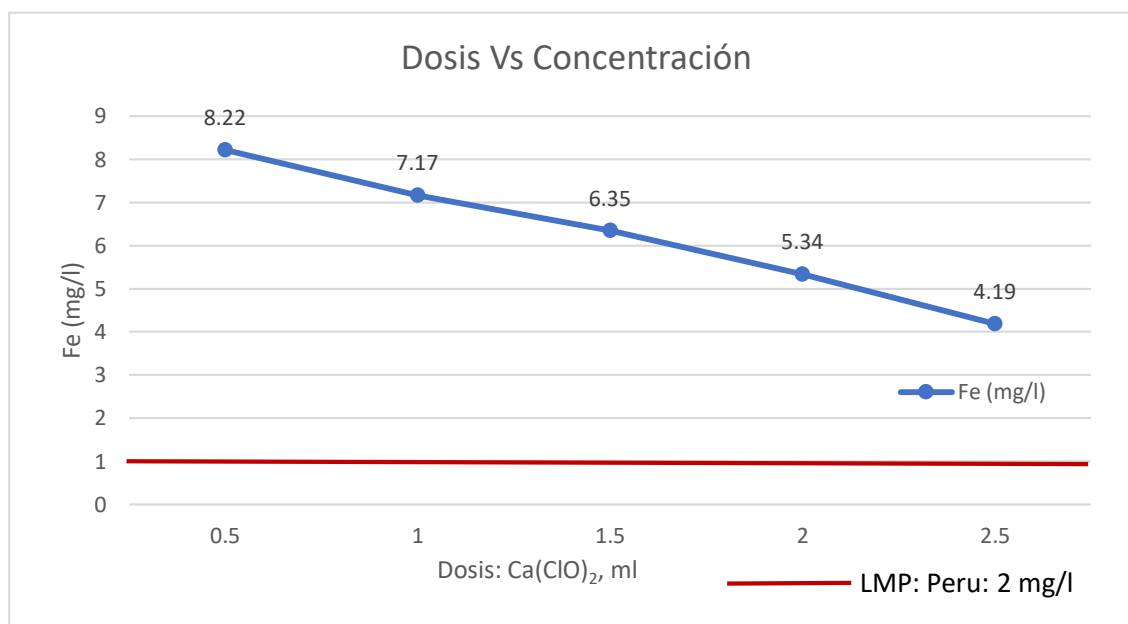
4.2.2. Segundo ensayo:

A continuación, en la siguiente tabla se muestran los resultados del segundo ensayo, el cual pasó por tres procesos, el primero de neutralización con hidróxido de Calcio (Ca(OH)_2), el segundo de oxidación con hipoclorito de Calcio (Ca(ClO)_2) y el tercero de coagulación con Sulfato de Aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- ✓ Volumen de muestra: 1L
- ✓ Temperatura: 21.5
- ✓ Dosis Ca(ClO)_2 : 1.0 mg/l
- ✓ pH inicial: 4.0
- ✓ pH final: 8.15
- ✓ Concentración inicial de Fe: 290 mg/l

Tabla 14*Dosis óptima para 290 mg/l de Fe*

Concentración Inicial Fe (mg/l)		290				
Dosis Ca(OH) ₂ (ml)		3				
Dosis Ca(ClO) ₂ (ml)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	
Concentración parcial Fe (mg/l)	8.73	7.61	6.84	5.93	4.55	
Dosis Al(SO ₄) ₂ (ml)		5				
Concentración final Fe (mg/l)	8.22	7.17	6.35	5.34	4.19	

Figura 11*Dosis Vs Concentración para 290 mg/l de Fe*

Culminado el proceso de remoción de Hierro, que se inició con una concentración de 290 mg/l, se evidencia una disminución significativa después de la adición progresiva de las dosis del oxidante (0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 ml). El nivel más bajo que alcanzó fue de 4.19 mg/l, el cual fue trabajado con la dosis de 2.5 ml., sin embargo, cabe indicar que, de acuerdo a lo proyectado, no se alcanza una optimización que pueda cumplir con el Límite Máximo

Permisible de acuerdo a la normativa nacional que indica un valor de 2 mg/l.

4.2.3. Tercer ensayo:

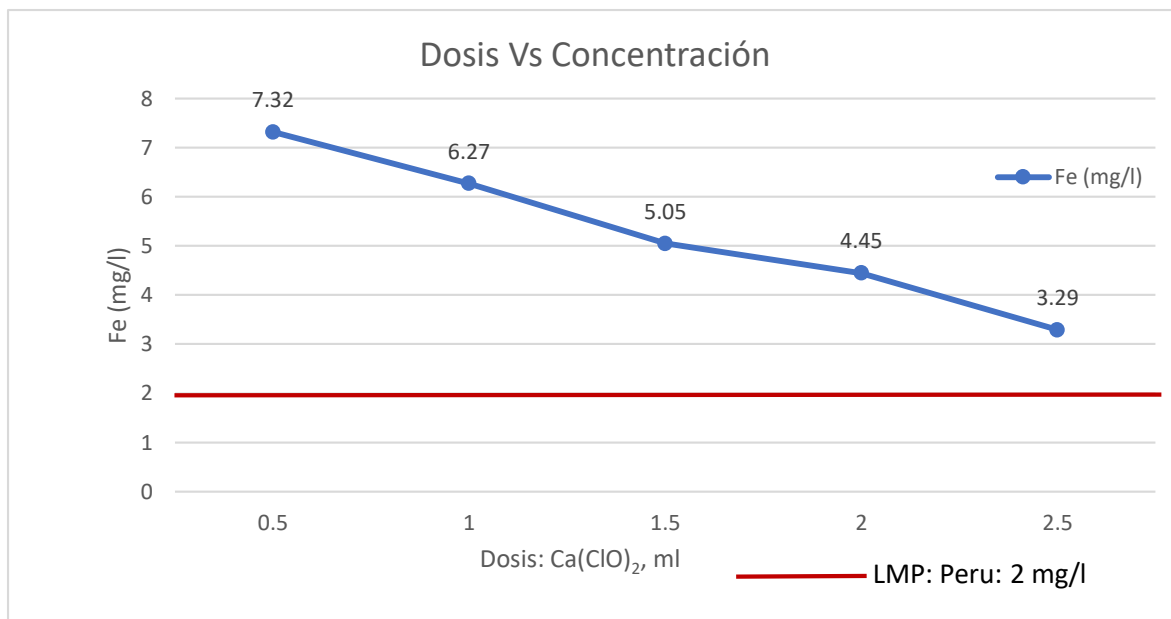
A continuación, en la siguiente tabla se muestran los resultados del tercer ensayo, el cual pasó por tres procesos, el primero de neutralización con hidróxido de Calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), el segundo de oxidación con hipoclorito de Calcio ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) y el tercero de coagulación con Sulfato de Aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- ✓ Volumen de muestra: 1L
- ✓ Temperatura: 21.5
- ✓ Dosis $\text{Ca}(\text{ClO})_2$: 1.5 mg/l
- ✓ pH inicial: 4.0
- ✓ pH final: 8.28
- ✓ Concentración inicial de Fe: 280 mg/l

Tabla 15

Dosis óptima para 280 mg/l de Fe

Concentración Inicial Fe (mg/l)		280				
Dosis $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (ml)		3				
Dosis $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ (ml)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	
Concentración parcial Fe (mg/l)	7.76	6.69	5.26	4.91	3.51	
Dosis $\text{Al}(\text{SO}_4)_2$ (ml)		5				
Concentración final Fe (mg/l)	7.32	6.27	5.05	4.45	3.29	

Figura 12*Dosis Vs Concentración para 280 mg/l de Fe*

Culminado el proceso de remoción de Hierro, que se inició con una concentración de 280 mg/l, se evidencia una disminución significativa después de la adición progresiva de las dosis del oxidante (0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 ml). El nivel más bajo que alcanzó fue de 3.29 mg/l, el cual fue trabajado con la dosis de 2.5 ml., sin embargo, cabe indicar que, de acuerdo a lo proyectado, no se alcanza una optimización que pueda cumplir con el Límite Máximo Permisible de acuerdo a la normativa nacional que indica un valor de 2 mg/l.

4.2.4. Cuarto ensayo

A continuación, en la siguiente tabla se muestran los resultados del cuarto ensayo, el cual pasó por tres procesos, el primero de neutralización con hidróxido de Calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), el segundo de oxidación con hipoclorito de Calcio ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) y el tercero de coagulación con Sulfato de Aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- ✓ Volumen de muestra: 1L

- ✓ Temperatura: 21.5
- ✓ Dosis $\text{Ca}(\text{ClO})_2$: 2.0 mg/l
- ✓ pH inicial: 4.0
- ✓ pH final: 8.47
- ✓ Concentración inicial de Fe: 270 mg/l

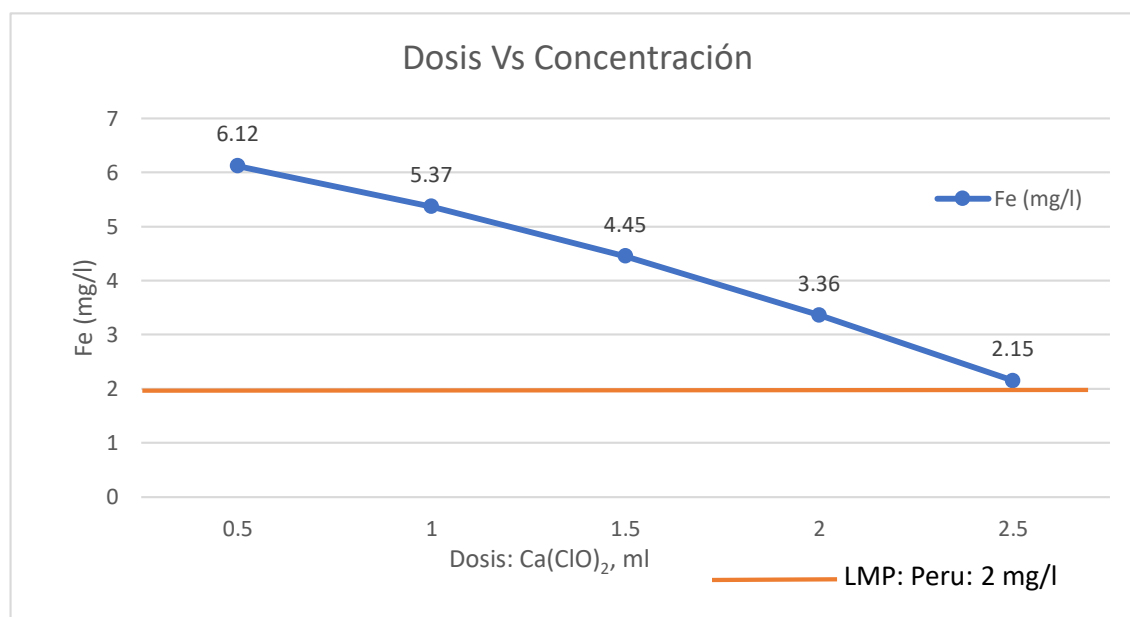
Tabla 16

Dosis óptima para 270 mg/l de Fe

Concentración Inicial Fe (mg/l)		270				
Dosis $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (ml)		3				
Dosis $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ (ml)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	
Concentración parcial Fe (mg/l)	6.63	5.71	4.94	3.63	2.27	
Dosis $\text{Al}(\text{SO}_4)_2$ (ml)		5				
Concentración final Fe (mg/l)	6.12	5.37	4.45	3.36	2.15	

Figura 13

Dosis Vs Concentración para 270 mg/l de Fe



Culminado el proceso de remoción de Hierro, que se inició con una concentración de 270 mg/l, se evidencia una disminución significativa después de la adición progresiva de las dosis del oxidante (0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 ml). El nivel más bajo que alcanzó fue de 2.15 mg/l, el cual fue trabajado con la dosis de 2.5 ml., sin embargo, cabe indicar que, de acuerdo a lo proyectado, no se alcanza una optimización que pueda cumplir con el Límite Máximo Permisible de acuerdo a la normativa nacional que indica un valor de 2 mg/l.

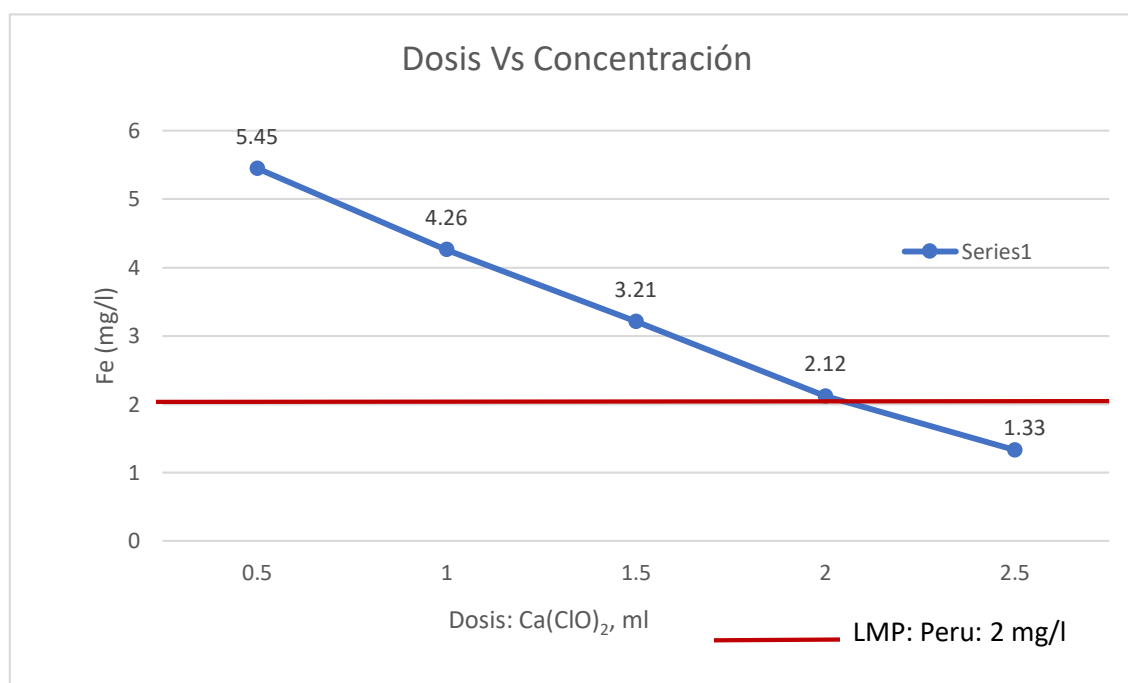
4.2.5. Quinto ensayo

A continuación, en la siguiente tabla se muestran los resultados del primer ensayo, el cual pasó por tres procesos, el primero de neutralización con hidróxido de Calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), el segundo de oxidación con hipoclorito de Calcio ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) y el tercero de coagulación con Sulfato de Aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- ✓ Volumen de muestra: 1L
- ✓ Temperatura: 21.5
- ✓ Dosis $\text{Ca}(\text{ClO})_2$: 2.5 mg/l
- ✓ pH inicial: 4.0
- ✓ pH final: 8.68
- ✓ Concentración inicial de Fe: 260 mg/l

Tabla 17*Dosis óptima para 260 mg/l de Fe*

Concentración Inicial Fe (mg/l)		260				
Dosis Ca(OH) ₂ (ml)		3				
Dosis Ca(ClO) ₂ (ml)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	
Concentración parcial Fe (mg/l)	5.93	4.71	3.94	2.73	1.95	
Dosis Al(SO ₄) ₂ (ml)		5				
Concentración final Fe (mg/l)	5.45	4.26	3.21	2.12	1.33	

Figura 14*Dosis Vs Concentración para 260 mg/l de Fe*

Culminado el proceso de remoción de Manganese, que se inició con una concentración de 260 mg/l, se evidencia una disminución significativa después de la adición progresiva de las dosis del oxidante (0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 ml). El nivel más bajo alcanzado fue de 1.33 mg/l, el cual fue trabajado con la dosis de 2.5 ml., cabe indicar que, de acuerdo a lo mostrado, en esta

oportunidad podemos obtener un nivel óptimo que cumple con el Límite Máximo Permisible de acuerdo a la normativa nacional que indica un valor de 2 mg/l. Los demás resultados finales de las otras dosis, si bien es cierto obtienen una remoción importante, no logran alcanzar los niveles establecidos en la norma.

4.2.6. Sexto ensayo

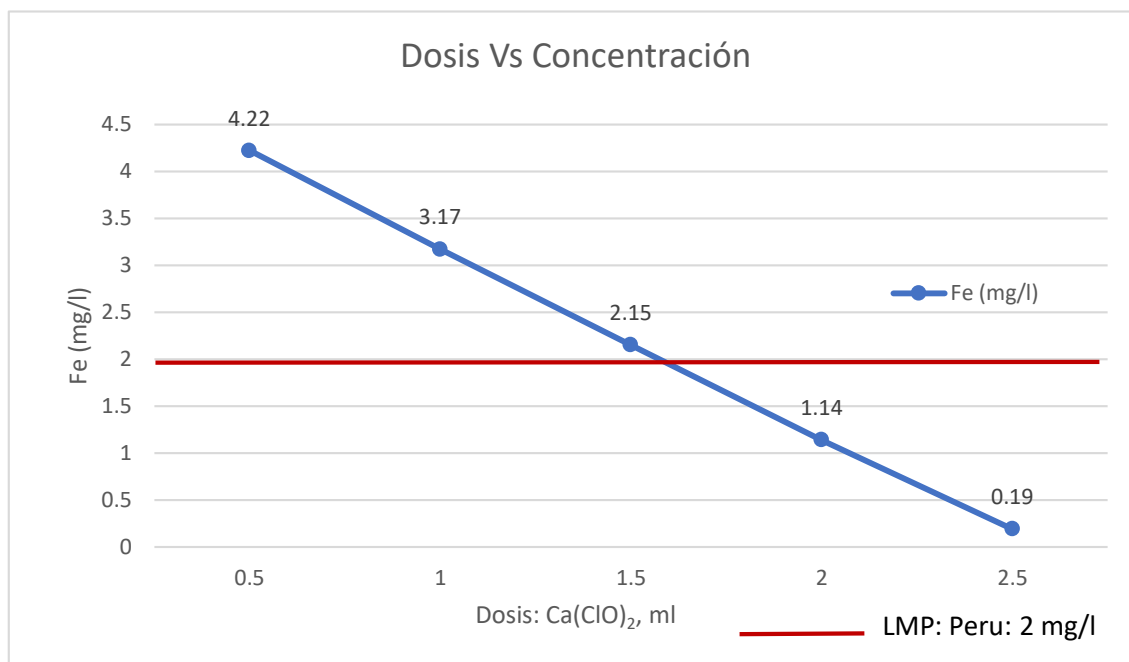
A continuación, en la siguiente tabla se muestran los resultados del sexto ensayo, el cual pasó por tres procesos, el primero de neutralización con hidróxido de Calcio (Ca(OH)_2), el segundo de oxidación con hipoclorito de Calcio (Ca(ClO)_2) y el tercero de coagulación con Sulfato de Aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- ✓ Volumen de muestra: 1L
- ✓ Temperatura: 21.5
- ✓ Dosis Ca(ClO)_2 : 3.0 mg/l
- ✓ pH inicial: 4.0
- ✓ pH final: 8.94
- ✓ Concentración inicial de Fe: 250 mg/l

Tabla 18

Dosis óptima para 250 mg/l de Fe

Concentración Inicial Fe (mg/l)		250				
Dosis Ca(OH)_2 (ml)		3				
Dosis Ca(ClO)_2 (ml)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	
Concentración parcial Fe (mg/l)	4.93	3.71	2.64	1.53	0.75	
Dosis $\text{Al(SO}_4)_3$ (ml)		5				
Concentración final Fe (mg/l)	4.22	3.17	2.15	1.14	0.19	

Figura 15*Dosis Vs Concentración para 250 mg/l de Fe*

Culminado el proceso de remoción de Hierro, que se inició con una concentración de 250 mg/l, se evidencia una disminución significativa después de la adición progresiva de las dosis del oxidante (0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 ml). Los niveles más bajos alcanzados fueron de 1.14 y 0.19 mg/l, los cuales fueron trabajados con las dosis de 2.0 y 2.5 ml respectivamente, cabe indicar que, de acuerdo con lo mostrado, en esta oportunidad podemos obtener un nivel óptimo que cumple con el Límite Máximo Permissible de acuerdo a la normativa nacional que indica un valor de 2 mg/l. Los demás resultados finales de las otras dosis, si bien es cierto obtienen una remoción importante, no logran alcanzar los niveles establecidos en la norma.

4.3. Resultados de la eficiencia en la remoción de Manganeseo

De acuerdo con el tercer objetivo propuesto se determinaron las eficiencias finales para cada una de las dosis del oxidante (hipoclorito de Calcio), para cada ensayo correspondiente. A continuación, se muestran los resultados de los seis ensayos correspondiente al tratamiento

de Manganeso con el neutralizante, oxidante y coagulante utilizado:

4.3.1. Primer ensayo

En la **Tabla 19**, se muestran los resultados obtenidos del primer ensayo, el cual presentó una concentración inicial de 160 mg/l y concentraciones finales de 8.62, 7.57, 6.25, 5.44 y 4.39 mg/l de Manganeso, de acuerdo con cada dosis utilizada de oxidante.

Tabla 19

Eficiencias del primer ensayo para Mn de 160 mg/l

VARIABLES	MUESTRAS				
Concentración Inicial de Mn (mg/l)	160				
Dosis de Oxidante (ml)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Concentraciones Finales de Mn (mg/l)	8.62	7.57	6.25	5.44	4.39
Eficiencia (%)	94.6	95.3	96.1	96.6	97.3

4.3.2. Segundo ensayo

En la

Tabla 20 se muestran los resultados obtenidos del segundo ensayo, el cual presentó una concentración inicial de 150 mg/l y concentraciones finales de 7.72, 6.53, 5.45, 4.41 y 3.69 mg/l de Manganeso, de acuerdo con cada dosis utilizada de oxidante.

Tabla 20

Eficiencias del segundo ensayo para Mn de 150 mg/l

VARIABLES	MUESTRAS				
Concentración Inicial de Mn (mg/l)	150				
Dosis de Oxidante (ml)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Concentraciones Finales de Mn (mg/l)	7.72	6.53	5.45	4.41	3.69
Eficiencia (%)	94.8	95.6	96.4	97.1	97.5

4.3.3. Tercer ensayo

En la **Tabla 21** se muestran los resultados obtenidos del tercer ensayo, el cual presentó una concentración inicial de 140 mg/l y concentraciones finales de 6.12, 5.37, 4.25, 3.54 y 2.65 mg/l de Manganeso, de acuerdo con cada dosis utilizada de oxidante.

Tabla 21

Eficiencias del tercer ensayo para Mn de 140 mg/l

VARIABLES	MUESTRAS				
Concentración Inicial de Mn (mg/l)	140				
Dosis de Oxidante (ml)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Concentraciones Finales de Mn (mg/l)	6.12	5.37	4.25	3.54	2.65
Eficiencia (%)	95.6	96.2	96.9	97.5	98.1

4.3.4. Cuarto ensayo

En la **Tabla 22** se muestran los resultados obtenidos del cuarto ensayo, el cual presentó una concentración inicial de 130 mg/l y concentraciones finales de 5.32, 4.37, 3.45, 2.08 y 1.37 mg/l de Manganeso, de acuerdo con cada dosis utilizada de oxidante.

Tabla 22

Eficiencias del cuarto ensayo para Mn de 130 mg/l

VARIABLES	MUESTRAS				
Concentración Inicial de Mn (mg/l)	130				
Dosis de Oxidante (ml)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Concentraciones Finales de Mn (mg/l)	5.32	4.37	3.45	2.08	1.37
Eficiencia (%)	95.9	96.6	97.3	98.4	98.9

4.3.5. Quinto ensayo

En la **Tabla 23**, se muestran los resultados obtenidos del quinto ensayo, el cual presentó una concentración inicial de 120 mg/l y concentraciones finales de 4.31, 3.17, 2.23, 1.34 y 0.59

mg/l de Manganese, de acuerdo con cada dosis utilizada de oxidante.

Tabla 23

Eficiencias del quinto ensayo para Mn de 120 mg/l

VARIABLES	MUESTRAS				
Concentración Inicial de Mn (mg/l)	120				
Dosis de Oxidante (ml)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Concentraciones Finales de Mn (mg/l)	4.31	3.17	2.23	1.34	0.59
Eficiencia (%)	96.4	97.4	98.1	98.8	99.5

4.3.6. Sexto ensayo

En la **Tabla 24** se muestran los resultados obtenidos del sexto ensayo, el cual presentó una concentración inicial de 110 mg/l y concentraciones finales de 3.14, 2.27, 1.15, 0.34 y 0.04 mg/l de Manganese, de acuerdo con cada dosis utilizada de oxidante.

Tabla 24

Eficiencias del sexto ensayo para Mn de 110 mg/l

VARIABLES	MUESTRAS				
Concentración Inicial de Mn (mg/l)	110				
Dosis de Oxidante (ml)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Concentraciones Finales de Mn (mg/l)	3.14	2.27	1.15	0.34	0.04
Eficiencia (%)	97.1	97.9	98.9	99.7	99.9

4.4. Resultados de la eficiencia en la remoción de Hierro

De acuerdo con el cuarto objetivo propuesto se determinaron las eficiencias finales para cada una de las dosis del oxidante (hipoclorito de Calcio), en cada ensayo correspondiente. A continuación, se muestran los resultados de los seis ensayos correspondiente al tratamiento de Hierro con el neutralizante, oxidante y coagulante utilizado:

4.4.1. Primer ensayo

En la **Tabla 25** se muestran los resultados obtenidos del primer ensayo, el cual presentó una concentración inicial de 300 mg/l y concentraciones finales de 9.12, 8.37, 7.25, 6.24 y 5.19 mg/l de Hierro, de acuerdo con cada dosis utilizada de oxidante.

Tabla 25

Eficiencias del primer ensayo para Fe de 300 mg/l

VARIABLES	MUESTRAS				
Concentración Inicial de Fe (mg/l)	300				
Dosis de Oxidante (ml)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Concentraciones Finales de Fe (mg/l)	9.12	8.37	7.25	6.24	5.19
Eficiencia (%)	96.9	97.2	97.6	97.9	98.3

4.4.2. Segundo ensayo

En la **Tabla 26**, se muestran los resultados obtenidos del segundo ensayo, el cual presentó una concentración inicial de 290 mg/l y concentraciones finales de 8.22, 7.17, 6.35, 5.34 y 4.19 mg/l de Hierro, de acuerdo con cada dosis utilizada de oxidante.

Tabla 26

Eficiencias del segundo ensayo para Fe de 290 mg/l

VARIABLES	MUESTRAS				
Concentración Inicial de Fe (mg/l)	290				
Dosis de Oxidante (ml)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Concentraciones Finales de Fe (mg/l)	8.22	7.17	6.35	5.34	4.19
Eficiencia (%)	97.2	97.5	97.8	98.2	98.6

4.4.3. Tercer ensayo

En la **Tabla 27**, se muestran los resultados obtenidos del tercer ensayo, el cual presentó una concentración inicial de 280 mg/l y concentraciones finales de 7.32, 6.27, 5.05, 4.45 y 3.29

mg/l de Hierro, de acuerdo con cada dosis utilizada de oxidante.

Tabla 27

Eficiencias del tercer ensayo para Fe de 280 mg/l

VARIABLES	MUESTRAS				
Concentración Inicial de Fe (mg/l)	280				
Dosis de Oxidante (ml)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Concentraciones Finales de Fe (mg/l)	7.32	6.27	5.05	4.45	3.29
Eficiencia (%)	97.4	97.8	98.2	98.4	98.8

4.4.4. Cuarto ensayo

En la Tabla 28 se muestran los resultados obtenidos del cuarto ensayo, el cual presentó una concentración inicial de 270 mg/l y concentraciones finales de 6.12, 5.37, 4.45, 3.36 y 2.15 mg/l de Hierro, de acuerdo con cada dosis utilizada de oxidante.

Tabla 28

Eficiencias del cuarto ensayo para Fe de 270 mg/l

VARIABLES	MUESTRAS				
Concentración Inicial de Fe (mg/l)	270				
Dosis de Oxidante (ml)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Concentraciones Finales de Fe (mg/l)	6.12	5.37	4.45	3.36	2.15
Eficiencia (%)	97.7	98.0	98.4	98.8	99.2

4.4.5. Quinto ensayo

En la Tabla 29, se muestran los resultados obtenidos del quinto ensayo, el cual presentó una concentración inicial de 260 mg/l y concentraciones finales de 5.45, 4.26, 3.21, 2.12 y 1.33 mg/l de Hierro, de acuerdo con cada dosis utilizada de oxidante.

Tabla 29*Eficiencias del quinto ensayo para Fe de 260 mg/l*

VARIABLES	MUESTRAS				
Concentración Inicial de Fe (mg/l)	260				
Dosis de Oxidante (ml)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Concentraciones Finales de Fe (mg/l)	5.45	4.26	3.21	2.12	1.33
Eficiencia (%)	97.9	98.4	98.8	99.2	99.5

4.4.6. Sexto ensayo

En la **Tabla 30**, se muestran los resultados obtenidos del sexto ensayo, el cual presentó una concentración inicial de 250 mg/l y concentraciones finales de 4.22, 3.17, 2.15, 1.14 y 0.19 mg/l de Hierro, de acuerdo con cada dosis utilizada de oxidante.

Tabla 30*Eficiencias del sexto ensayo para Fe de 250 mg/l*

VARIABLES	MUESTRAS				
Concentración Inicial de Fe (mg/l)	250				
Dosis de Oxidante (ml)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Concentraciones Finales de Fe (mg/l)	4.22	3.17	2.15	1.14	0.19
Eficiencia (%)	98.3	98.7	99.1	99.5	99.9

4.5. Análisis Inferencial

Teniendo en cuenta la información de resultados se agrupa los datos obtenidos según lo estipulado en el tratamiento aplicado un neutralizante: $\text{Ca}(\text{OH})_2$ al 5 %, oxidante: $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ al 0.1% y coagulante: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ al 0.1%, en concentraciones, aplicando en el modelo la prueba hipótesis ANOVA de un solo factor, aplicada a los teniendo promedios de resultados de la siguiente manera:

a) Prueba Aplicada a las dosis específicas de Remoción de Mn

Tabla 31*Aplicación de Dosis de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ para la remoción de Mn*

	Dosis Aplicadas de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ (ml)					Ci
	1	2	3	4	5	
Concentración parcial Mn (mg/l)	0.5	1	1.5	2	2.5	mg/l
	8.62	7.57	6.25	5.44	4.39	160
	7.72	6.53	5.45	4.41	3.69	150
	6.12	5.37	4.25	3.54	2.65	140
	5.32	4.37	3.45	2.08	1.37	130
	4.31	3.17	2.23	1.34	0.59	120
	3.14	2.27	1.15	0.34	0.04	110

Nota. Ci: concentración inicial de Mn

A la siguiente agrupación se aplicó la prueba hipótesis ANOVA de un solo factor obteniendo los siguientes resultados

- ✓ ANOVA de un solo factor aplicada a la Oxidación con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ para la remoción de Mn

Ho: La oxidación con Hipoclorito no alcanza su dosis óptima entre 2 y 2.5 ml.
para la remoción de Manganeseo en muestras sintéticas a nivel de laboratorio.

Ha: La oxidación con Hipoclorito alcanza su dosis óptima entre 2 y 2.5 ml.
para la remoción de Manganeseo en muestras sintéticas a nivel de laboratorio.

Para lo cual se verifica la verosimilitud de las hipótesis aplicando la prueba ANOVA de un solo factor obteniendo:

Figura 16

Resultados de la prueba Hipótesis ANOVA de un solo factor aplicada a la Oxidación con $Ca(ClO)_2$ para la remoción de Mn

Método

Hipótesis nula

Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna

No todas las medias son iguales

Nivel de significancia

$\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Medias

dosis	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	6	5.872	2.061	(4.242; 7.501)
2	6	4.880	2.010	(3.251; 6.509)
3	6	3.797	1.925	(2.167; 5.426)
4	6	2.858	1.939	(1.229; 4.488)
5	6	2.122	1.739	(0.492; 3.751)

Desv.Est. agrupada = 1.93791

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
dosis	5	1; 2; 3; 4; 5

Comparaciones en parejas de Tukey

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
dosis	4	54.64	13.659	3.64	0.018
Error	25	93.89	3.756		
Total	29	148.52			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.93791	36.79%	26.67%	8.97%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

dosis	N	Media	Agrupación
1	6	5.872	A
2	6	4.880	A B
3	6	3.797	A B
4	6	2.858	A B
5	6	2.122	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Nota. MINITAB versión 19

Se deduce que con una valor p de 0.018 menor al de la investigación se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna que plantea La oxidación con Hipoclorito alcanza su dosis óptima entre 2 y 2.5 ml. para la remoción de Manganeseo en muestras sintéticas a nivel de laboratorio, lo cual se fundamenta en la prueba de comparación Tukey que afirma que agrupación de medias con mejor remoción de Mn está en las dosis 2 y 2.5 ml de Hipoclorito, siendo la de mayor efectividad de remoción la dosis 2.5 ml de Hipoclorito.

b) Prueba Aplicada a la eficiencia de Remoción de Mn

Tabla 32

Porcentajes de remoción de Mn aplicando $Ca(ClO)_2$

		Dosis Aplicadas de $Ca(ClO)_2$ (ml)				
		1	2	3	4	5
		0.5	1	1.5	2	2.5
Porcentaje de Remoción de Mn (%)		94.61250	95.26875	96.0937500	96.6000000	97.2562500
		94.85333	95.64667	96.3666667	97.0600000	97.5400000
		95.62857	96.16429	96.9642857	97.4714286	98.1071429
		95.90769	96.63846	97.3461538	98.4000000	98.9461538
		96.40833	97.35833	98.1416667	98.8833333	99.5083333
		97.14545	97.93636	98.9545455	99.6909091	99.9636364

Nota. Ci: concentración inicial de Mn

A la siguiente agrupación se aplicó la prueba hipótesis ANOVA de un solo factor obteniendo los siguientes resultados

- ✓ ANOVA de un solo factor para analizar la eficiencia de remoción de Mn por medio de la oxidación de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$

H_0 : La oxidación con Hipoclorito no tiene una eficiencia del 90 al 95 % en la remoción de Manganeseo en muestras sintéticas a nivel de laboratorio.

H_a : La oxidación con Hipoclorito tiene una eficiencia del 90 al 95 % en la remoción de Manganeseo en muestras sintéticas a nivel de laboratorio

Para lo cual se verifica la verosimilitud de las hipótesis aplicando la prueba ANOVA de un solo factor obteniendo

Figura 17

Resultados de la prueba Hipótesis ANOVA de un solo factor aplicada para analizar la eficiencia de remoción de Mn aplicado $\text{Ca}(\text{ClO})_2$

Método

Hipótesis nula

Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna

No todas las medias son iguales

Nivel de significancia

$\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor

Niveles

Valores

dosis

5

1; 2; 3; 4; 5

Análisis de Varianza

Fuente

GL

SC Ajust.

MC Ajust.

Valor F

Valor p

dosis

4

30.43

7.607

6.68

0.001

Error

25

28.46

1.139

Total

29

58.89

Resumen del modelo

S

R-cuad.

R-cuad. (ajustado)

R-cuad. (pred)

1.06703

51.67%

43.94%

30.40%

Medias

dosis

N

Media

Desv.Est.

IC de 95%

1

6

95.759

0.951

(94.862; 96.656)

2

6

96.502

1.017

(95.605; 97.399)

3

6

97.311

1.085

(96.414; 98.208)

4

6

98.018

1.176

(97.120; 98.915)

5

6

98.554

1.092

(97.656; 99.451)

Desv.Est. agrupada = 1.06703

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

dosis

N

Media

Agrupación

1

6

5.872

A

2

6

4.880

A

3

6

3.797

A

4

6

2.858

A

5

6

2.122

B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Nota. MINITAB versión 19

De lo que se deduce que con una valor p de 0.001 menor al de la investigación se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna que plantea que La oxidación con Hipoclorito tiene una eficiencia del 90 al 95 % en la remoción de Manganeseo en muestras

sintéticas a nivel de laboratorio, lo cual se fundamenta en el análisis de medias presentando medias de remoción mayores a 98% lo que implica que la remoción de Mn es mayor al 95% superando los rangos propuestos pero afirmando la hipótesis planteada.

c) Prueba Aplicada a las dosis específicas de Remoción de Fe

A la siguiente agrupación se aplicó la prueba hipótesis ANOVA de un solo factor obteniendo los siguientes resultados

Tabla 33

Aplicación de Dosis de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ para la remoción de Fe

Dosis Aplicadas de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ (ml)						
Concentración parcial Fe (mg/l)	1	2	3	4	5	Ci
	0.5	1	1.5	2	2.5	300
	9.12	8.37	7.25	6.24	5.19	290
	8.22	7.17	6.35	5.34	4.19	280
	7.32	6.27	5.05	4.45	3.29	270
	6.12	5.37	4.45	3.36	2.15	260
	5.45	4.26	3.21	2.12	1.33	250
	4.22	3.17	2.15	1.14	0.19	

Nota. Ci: concentración inicial de Mn

- ✓ ANOVA de un solo factor aplicada a la Oxidación con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ para la remoción de Fe.

Ho: La oxidación con Hipoclorito no alcanza su dosis óptima entre 1.5 y 2.5 ml. para la remoción de Hierro en muestras sintéticas a nivel de laboratorio.

Ha: La oxidación con Hipoclorito alcanza su dosis óptima entre 1.5 y 2.5 ml. para la remoción de Hierro en muestras sintéticas a nivel de laboratorio

Para lo cual se verifica la verosimilitud de las hipótesis aplicando la prueba ANOVA de un solo factor obteniendo:

Figura 18

Resultados de la prueba Hipótesis ANOVA de un solo factor aplicada a la Oxidación con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ para la remoción de Fe.

Método

Hipótesis nula

Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna

No todas las medias son iguales

Nivel de significancia

$\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
dosis	5	1; 2; 3; 4; 5

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
dosis	4	60.37	15.093	4.24	0.009
Error	25	88.96	3.558		
Total	29	149.33			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad.
	(ajustado)	(pred)
1.88639	40.43%	30.90%
		14.22%

Medias

dosis	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	6	6.742	1.822	(5.156; 8.328)
2	6	5.768	1.906	(4.182; 7.354)
3	6	4.743	1.904	(3.157; 6.329)
4	6	3.775	1.941	(2.189; 5.361)
5	6	2.723	1.857	(1.137; 4.309)

Desv.Est. agrupada = 1.88639

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

dosis	N	Media	Agrupación
1	6	6.742	A
2	6	5.768	A B
3	6	4.743	B
4	6	3.775	B
5	6	2.723	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Nota. MINITAB versión 19

Se deduce que con una valor p de 0.009 menor al de la investigación se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna que plantea La oxidación con Hipoclorito alcanza su dosis óptima entre 1.5 y 2.5 ml. para la remoción de Fe en muestras sintéticas a nivel de laboratorio, lo cual se fundamenta en la prueba de comparación Tukey que afirma que agrupación de medias con mejor remoción de Fe está en las dosis 2 y 2.5 ml de Hipoclorito, siendo la de mayor efectividad de remoción la dosis 2.5 ml de Hipoclorito, que tiene mayor remoción de Fe.

d) Prueba Aplicada a la eficiencia de Remoción de Fe

Tabla 34*Porcentajes de remoción de Fe aplicando Ca (ClO)₂*

	Dosis Aplicadas de Ca(ClO) ₂ (ml)					Ci
	1	2	3	4	5	
	0.5	1	1.5	2	2.5	
Porcentaje de Remoción de Fe (%)	96.96000000	97.5833333	97.5833333	98.2700000	98.2700000	300
	97.16551724	97.8103448	97.8103448	98.5551724	98.5551724	290
	97.38571429	98.1964286	98.1964286	98.8250000	98.8250000	280
	97.73333333	98.3518519	98.3518519	99.2037037	99.2037037	270
	97.90384615	98.7653846	98.7653846	99.4884615	99.4884615	260
	98.31200000	99.1400000	99.1400000	99.9240000	99.9240000	250

Nota. Ci: concentración inicial de Fe

A la siguiente agrupación se aplicó la prueba hipótesis ANOVA de un solo factor obteniendo los siguientes resultados

- ✓ ANOVA de un solo factor para analizar la eficiencia de remoción de Fe por medio de la oxidación de Ca(ClO)₂

Ho: El oxidante con Hipoclorito no tiene una eficiencia del 85 al 90 % en la remoción de Hierro en muestras sintéticas a nivel de laboratorio.

Ha: El oxidante con Hipoclorito tiene una eficiencia del 85 al 90 % en la remoción de Hierro en muestras sintéticas a nivel de laboratorio.

Para lo cual se verifica la verosimilitud de las hipótesis aplicando la prueba ANOVA de un solo factor obteniendo:

Figura 19

Resultados de la prueba Hipótesis ANOVA de un solo factor aplicada para analizar la eficiencia de remoción de Fe aplicado $\text{Ca}(\text{ClO})_2$

Método

Hipótesis nula

Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna

No todas las medias son iguales

Nivel de significancia

$\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
dosis	5	1; 2; 3; 4; 5

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
dosis	4	9.056	2.2641	6.74	0.001
Error	25	8.402	0.3361		
Total	29	17.458			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad.	R-cuad.
		(ajustado)	(pred)
0.579730	51.87%	44.17%	30.70%

Medias

dosis	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	6	97.577	0.502	(97.089; 98.064)
2	6	98.308	0.581	(97.820; 98.793)
3	6	98.308	0.581	(97.820; 98.793)
4	6	99.044	0.614	(98.557; 99.532)
5	6	99.044	0.614	(98.557; 99.532)

Desv.Est. agrupada = 0.579730

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

dosis	N	Media	Agrupación
5	6	99.044	A
4	6	99.044	A
3	6	98.308	A B
2	6	98.308	A B
1	6	97.577	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Nota. MINITAB versión 19

De lo que se deduce que con una valor p de 0.001 menor al de la investigación se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna que plantea que el oxidante con Hipoclorito tiene una eficiencia del 85 al 90 % en la remoción de Hierro en muestras sintéticas a nivel de laboratorio., lo cual se fundamenta en el análisis de medias presentando medias de remoción mayores a 98% lo que implica que la remoción de Fe es mayor al 90% superando los rangos propuestos pero afirmando la hipótesis planteada.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Marín (2011), en su investigación realizada sobre *“Remoción de Hierro y Manganeso por Oxidación con Cloro y Filtración en Grava”* planteó como objetivo general: Evaluar a escala piloto la remoción de hierro y manganeso por oxidación con cloro seguido de filtración en gravas de flujo ascendente en múltiples etapas, del cual se obtuvo que para una velocidad de filtración de 5m/h, y con 3 etapas de FGA, y con una concentración afluente de Fe entre 3.9-4.9 mg/L y de Mn entre 0.9-1.2 mg/L se tienen efluentes de Fe y Mn por debajo de los valores de la norma colombiana de calidad de agua. Para concentraciones de Fe entre 5.9 y 9.7 mg/l con una velocidad de filtración de 3.5 y 2.0 m/h, en 3 etapas de FGA, se alcanzaron eficiencias de remoción de Fe de 87% y 83%, y Mn 90% y 86%. En nuestra investigación se trabajó con diferentes dosis de oxidante de hipoclorito de calcio para la remoción de Manganeso y Hierro, obteniéndose resultados de eficiencias que varían entre el 97.3% y 99.9% para el caso del Mn, y del 98.3% al 99.9% para el Fe, es preciso indicar que la dosis más efectiva para ambos metales fue de 2.5 ml de oxidante, con el cual se logró alcanzar el Límite de Descargas de Efluentes establecido por la normativa ecuatoriana para el caso del Manganeso y el Límite Máximo Permisible de acuerdo a la normativa nacional para el caso del Hierro.

En su estudio Belizario y Del Carpio (2018), sobre *“Evaluación de parámetros para la remoción de Arsénico y Manganeso de agua subterránea de la Punta de bombón usando zeolita natural (Clipnotilolita)”*, plantearon como objetivo general, evaluar los parámetros de remoción propuestos para reducir la concentración de Arsénico y Manganeso del agua subterránea del distrito de la Punta de Bombón, donde se encontró valores de As de 0.10 mg/L y Mn de 0.86 mg/L. El sistema de tratamiento en general para la remoción As y Mn se basó en el siguiente proceso: Oxidación-Adsorción-Floculación-Decantación-Filtración y un oxidante de Permanganato de Potasio KMnO_4 , Zeolita Natural del Tipo Clipnotilolita como Adsorbente

y Cloruro Férrico (FeCl_3) como Coagulante. De acuerdo a los resultados obtenidos se demuestra la eficiencia para la remoción de metales, puesto que se alcanzó una reducción de las concentraciones de As entre 0.002–0.004 mg/L y de Mn entre 0.15 – 0.20 mg/L alcanzando a estar dentro de los ECA para aguas superficiales. A diferencia de nuestra investigación éste pasó por los siguientes procesos: Neutralización con Cal, Oxidación con hipoclorito de Calcio y Floculación con Sulfato de Aluminio, donde se logró reducir las concentraciones de Manganeseo desde niveles iniciales de 160 mg/l hasta 4.39 mg/l, de 150 mg/l hasta 3.69 mg/l, de 140 mg/l hasta 2.65 mg/l, de 130 mg/l hasta 1.37 mg/l, de 120 mg/l hasta 0.59 mg/l y de 110 mg/l hasta 0.04 mg/l, donde la dosis para todos los casos resultó ser de 2.5 ml de oxidante, 3.0 ml de neutralizante y 5.0 ml de floculante. Como se puede apreciar no todos llegaron alcanzar los Limites para descargas de efluentes de la normativa ecuatoriana, cuyo valor está en 2.0 mg/l, en tal sentido las concentraciones que alcanzaron los valores establecidos en la norma fueron las de 130, 120 y 110 mg/l.

Cuchimaque et al. (2013), en su artículo científico sobre *“Remoción de Fe y Mn en aguas naturales por adsorción-oxidación sobre clinoptilolita”*, demuestran la eficiencia en la remoción de Fe y Mn de aguas naturales utilizando un medio adsorbente de zeolita natural (clinoptilolita), recubierta con Fe_2O_3 y MnO_2 a partir de FeCl_3 y MnSO_4 . En los ensayos de remoción a través del uso de la filtración se analizó el pH, concentraciones de Fe y Mn, caudal en el afluente y altura de la capa de la zeolita, empleándose concentraciones de 1,0-7,0 mg/L de Fe y de 0,5-3,0 mg/L para Mn, con un pH de 6,0-8,0. Las pruebas se trabajaron en 8 series con concentraciones diferentes de Hierro (1.46, 1.009, 3.47, 3.14, 1.009, 1.14, 4.75 y 1.528 mg/l) y Manganeseo (0.207, 0.232, 0.546, 0.472, 2.317, 2.499, 2.82 y 0.634 mg/l), obteniéndose resultados de remoción de Hierro en el orden del 96.4% para la serie 7 con MnO_2 y 86.5% para la serie 3 con trabajados con Fe_2O_3 , así mismo, para la remoción de Manganeseo, se obtuvo resultados de eficiencias en el orden del 100% para las series 1 y 2 con MnO_2 ; y también 100%

de eficiencias para las series 1, 2, 6 y 8 trabajados con Fe_2O_3 . En el caso de nuestra investigación se logró reducir las concentraciones de Manganeseo desde niveles iniciales de 160 mg/l hasta 4.39 mg/l, de 150 mg/l hasta 3.69 mg/l, de 140 mg/l hasta 2.65 mg/l, de 130 mg/l hasta 1.37 mg/l, de 120 mg/l hasta 0.59 mg/l y de 110 mg/l hasta 0.04 mg/l, así mismo, las concentraciones de Hierro se redujeron desde niveles iniciales de 300 mg/l hasta 5.19 mg/l, de 290 mg/l hasta 4.19 mg/l, de 280 mg/l hasta 3.29 mg/l, de 270 mg/l hasta 2.15 mg/l, de 260 mg/l hasta 1.33 mg/l y de 250 mg/l hasta 1.14 mg/l, complementadas con 3.0 ml de neutralizante y 5.0 ml de floculante. En cuanto a los resultados alcanzados para todas las concentraciones de Manganeseo se obtuvieron eficiencias del 97.3, 97.5, 98.1, 98.9, 99.5 y 99.9%, así mismo, para el Hierro se obtuvo eficiencias finales de 98.3, 98.6, 98.8, 99.2, 99.5 y 99.9%.

VI. CONCLUSIONES

- De acuerdo con el primer objetivo planteado se concluye que la remoción de Manganese para concentraciones de 130, 120 y 110 mg/l, hasta su reducción final a 1.37, 0.59 y 0.04 mg/l respectivamente se alcanza con una dosis de 2.5 ml de oxidante, llegando a cumplir con la norma de calidad ambiental y descarga de efluentes ecuatoriana.
- Con relación al segundo objetivo planteado se concluye que la remoción de Hierro para concentraciones de 260 y 250 mg/l, hasta su reducción final a 1.33 y 0.19 mg/l respectivamente se alcanza con una dosis de 2.5 ml de oxidante, llegando a cumplir con la norma de calidad ambiental y descarga de efluentes nacionales.
- Se concluye que las máximas eficiencias alcanzadas para la remoción de Manganese corresponden a las concentraciones de 130, 120 y 110 mg/l con el 98.9, 99.5 y 99.9% respectivamente, llegando a cumplir con la norma de calidad ambiental y descarga de efluentes ecuatoriana.
- Se concluye que las máximas eficiencias alcanzadas para la remoción de Hierro corresponden a las concentraciones de 260 y 250 mg/l con el 99.5 y 99.9% respectivamente, llegando a cumplir con la norma de calidad ambiental y descarga de efluentes nacionales.
- Las concentraciones de Manganese trabajadas con 160, 150 y 140 mg/l alcanzan eficiencias del orden del 97.3, 97.5 y 98.1% respectivamente, sin embargo, no alcanzan a cumplir con la norma de calidad ambiental y descarga de efluentes ecuatoriana de 2.0 mg/l.
- Las concentraciones de Hierro trabajadas con 300, 290, 280 y 270 mg/l alcanzan eficiencias del orden del 98.3, 98.6, 98.8 y 99.2% respectivamente, sin embargo, no alcanzan a cumplir con la norma de calidad ambiental y descarga de efluentes nacionales de 2.0 mg/l.

VII. RECOMENDACIONES

- A fin de mejorar las dosis óptimas y obtener mayores eficiencias para remover concentraciones elevadas de Hierro y Manganeseo, se recomienda realizar ensayos con oxidantes de mayor concentración, diferentes a las trabajadas en la presente investigación.
- Se recomienda utilizar la técnica de la presente investigación para el tratamiento de efluentes industriales que contengan concentraciones de Manganeseo entre 110 y 130 mg/l y de Hierro entre 250 y 260 mg/l.
- Se recomienda para futuras investigaciones modificar las variables de análisis como el tiempo, temperatura, pH, concentración y volumen, a fin de conocer posibles cambios en cuanto a la dosis óptima para la remoción de Hierro y Manganeseo.
- Se recomienda probar la presente técnica de oxidación y floculación de Hierro y Manganeseo a fin de verificar su eficiencia en la remoción de otros metales pesados de mayor toxicidad.
- Se recomienda al sector competente elaborar un límite máximo permisible para el caso del Manganeseo, quien en elevadas concentraciones presenta cierto grado de toxicidad para las plantas, animales y el hombre.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfaro, O. (2017). *Evaluación del sistema de tratamiento para la remoción de Hierro y Manganese en agua de abastecimiento de la Colonia Guadalupe, Municipio de Tejutla departamento de Chalatenango*. [Tesis para optar el grado de Maestro en Gestión Integral del Agua. Universidad de El Salvador]. Repositorio de la Universidad de El Salvador. <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/13518/1/13101638.pdf>
- Arenas, G. (2018). *Evaluación de la eficiencia en la degradación del cianuro por fotocátalisis homogénea UV-C/H₂O₂ a nivel de laboratorio*. [Tesis para optar el Grado de Maestro en Química. Universidad Nacional de San Agustín]. Repositorio de la Universidad Nacional de San Agustín. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/9476/UParopge.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ayzanoa, K. y Mendoza, J. (2008). *Remoción del Manganese del efluente minero metalúrgico utilizado en el Proceso de Oxidación con Hipoclorito de Calcio en una planta de tratamiento de aguas ácidas-ubicada en la región Huancavelica*. [Tesis para optar el Título de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales. Universidad Nacional del Callao]. Repositorio de la Universidad Nacional del Callao. http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/3241/Ayzanoa%20Alca%20y%20Mendoza%20Tanta_TITULO%20AMBIENTAL_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bracho, M., Callejón, A. y Hernández, A. (2012). Evaluación de la cinética de precipitación del Hierro y Manganese disueltos en agua subterránea utilizando aire o hipoclorito de sodio como oxidante. *Laboratorio De Química Ambiental, Universidad Simón Bolívar*, 2-11. https://www.researchgate.net/publication/265124725_EVALUACION_DE_LACINETICA_DE_PRECIPITACION_DEL_HIERRO_Y_MANGANESO_DISUELTOS_EN_AGUA_SUBTERRANEA_UTILIZANDO_AIRE_O_HIPOCLORITO_DE_SODIO_COMO_OXIDANTE
- Belizario, L. y Del Carpio, I. (2018). *Evaluación de parámetros para la remoción de Arsénico y manganese de agua subterránea de la Punta de bombón usando zeolita natural (Clinoptilolita)*. [Tesis para optar el Título de Ingeniero Químico. Universidad Nacional de San Agustín]. Repositorio de la Universidad Nacional de San Agustín. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/7569/IQbaarl.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Barloková, D. y Ilavský, J. (2010). Removal of iron and manganese from water using filtration by natural materials. *Polish Journal of Environmental Studies*, 19(6), 1117-1122.
- Cárdenas, Y. (2000) SEDAPAL. Evaluación de Plantas y Desarrollo Tecnológico.
- Cuchimaque, C., Vargas, L., y Ríos, C. (2013). “Remoción de Fe y Mn en aguas naturales por adsorción-oxidación sobre clinoptilolita”. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia* .66. Bucaramanga, Colombia. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-62302013000100003

- Delgado, D. y Santander, N. (2017). *Remoción de Coloración de tintes de teñido en aguas residuales de la industria textil, utilizando procesos de Oxidación Avanzada (POA)*. [Tesis para optar el Título de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional de Puno]. Repositorio de la Universidad Nacional de Puno.
http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4227/Delgado_Nina_Daniel_Angel_Santander_Pacoricona_Nancy_Edith.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- De la Cruz, N. (2013). *Estudio de la Eliminación de Contaminantes Emergentes en agua mediante procesos de Oxidación Avanzada*. [Tesis para optar el grado de Doctor en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas. Universidad de Barcelona]. Repositorio de la Universidad de Barcelona.
https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/308120/NDLCG_TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Dávila, N. (2012). *Caracterización del Proceso de Biosorción de Metales Pesados Mediante Residuos Sólidos de Café*.
<http://eprints.uanl.mx/2728/1/1080237535.pdf>
- Farfán, S. (2017). *Tratamiento de aguas Residuales Industriales de una Empresa Farmacéutica por Oxidación Avanzada-Lima 2017*. [Tesis para optar el Título de Ingeniera Ambiental. Universidad César Vallejo]. Repositorio de la Universidad César Vallejo.
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/9928/Farf%C3%A1n_AA_S.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Hernández, K. y Triviño, L. (2016). *Evaluación de la capacidad de Bioadsorción de Pb (II) y Cd (II) presentes en soluciones sintéticas independientes empleando Retamo Espinoso (Ulex europaeus) como Adsorbente*. [Tesis para optar el Título de Ingeniero Ambiental. Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/3797/Hern%C3%A1ndezRodr%C3%adguezCarolBrigitte2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Kuyucak, N. y Volesky, B. (1990). Biosorbents for recovery of metals from industrial solutions. *Biotech. Lett.* 10:137-142
- Marín, L. (2011) *Remoción de Hierro y Manganeso por oxidación con cloro y filtración en grava*. [Tesis para optar el grado de Maestro en Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Universidad del Valle]. Repositorio de la Universidad del Valle.
<https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/7730/7720-0445517.pdf;jsessionid=28E19E353B9E98792A648C7EEF22FDD7?sequence=2>
- Marín, R. (2013). *Procesos Fisicoquímicos en Depuración de Aguas*. Madrid, España:
<https://www.editediasdesantos.com/wwwdat/pdf/9788499693873.pdf>
- MINISTERIO DEL AMBIENTE. (2010). Límites Máximos Permisibles para Descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas. D.S. 010-2010- MINAM.
- López, G. (2017). *Recuperación de manganeso presente en las aguas residuales proveniente de la mina geza minerales asis, por coagulación y floculación*. [Tesis para optar el título

- de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional de Puno]. Repositorio de la Universidad nacional de Puno. http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/5062/Lopez_Rosello_Gabriel_Andre%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Román, M. y Martínez, R. (2017). *“Estudio del Proceso de Oxidación Avanzada por medio de la reacción Fenton en Aguas Residuales Provenientes de Plantas Extractoras de Oro.* [Tesis para optar el Título de Ingeniero Químico. Universidad de Guayaquil]. Repositorio de la Universidad de Guayaquil. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/20469/1/401-1261%20pdf>
- Torres, D. (2014). *Tratamiento de Aguas Residuales mediante la combinación de técnicas avanzadas de Oxidación y Biofiltros.* [Tesis para optar el grado de doctor en Ingeniería Ambiental y desalinización. Universidad de las Palmas de Gran Canaria]. Repositorio de la Universidad de las Palmas de Gran Canaria. https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/11899/4/0699295_00000_0000.pdf
- Salas, G. y Ale, N. (2008). *Tratamiento de las Aguas Residuales de una Refinería de Petróleo por Oxidación Avanzada (AOX), usando el Reactivo Fenton (H₂O₂/Fe²⁺).* Revista Peruana Química Ing. Química. Vol. 11 N.º 2, 2008, pp. 12-18 11(22) pp. 12-18. <file:///C:/Users/ROSA/Downloads/0.pdf>
- Vilca, S. (2018). *Recuperación de Cadmio y Zinc en la unidad minera el cofre con el reactivo mpp50 por coagulación – floculación.* [Tesis para optar el Título de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional de Puno]. Repositorio de la Universidad Nacional de Puno]. http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/11155/Vilca_Cabana_Sebastian_Ramiro.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Yu, W., Campos, L., Shi, T., Li, G., y Graham, N. (2015). Enhanced removal of manganese in organic-rich surface water by combined sodium hypochlorite and potassium permanganate during drinking water treatment. *Rsc Advances*, 5(35), 27970-27977.

IX. ANEXOS

Anexo A

Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM. En la presente norma se aprueban los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas. Fe Total: 2 mg/l

ANEXO 01				
LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LA DESCARGA DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE ACTIVIDADES MINERO - METALÚRGICAS				
Parámetro		Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el Promedio anual
pH			6 - 9	6 - 9
Sólidos Totales	en	mg/L	50	25
Suspensión				
Aceites y Grasas		mg/L	20	16
Cianuro Total		mg/L	1	0,8
Arsénico Total		mg/L	0,1	0,08
Cadmio Total		mg/L	0,05	0,04
Cromo Hexavalente(*)		mg/L	0,1	0,08
Cobre Total		mg/L	0,5	0,4
Hierro (Disuelto)		mg/L	2	1,6
Plomo Total		mg/L	0,2	0,16
Mercurio Total		mg/L	0,002	0,0016
Zinc Total		mg/L	1,5	1,2

Anexo B

Límites Máximos Permisible para Manganeso (Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, Libro VI, Anexo 1-Ecuador)

REVISIÓN DEL ANEXO 1 DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES AL RECURSO AGUA

TABLA 10. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sust. solubles en hexano	mg/l	30,0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro Total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Ext. carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	Remoción > al 99,9 %
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	50,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	100,0
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05