



FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

REMOCIÓN DE CIANURO POR PROCESOS FISICOQUIMICOS CON
HIPOCLORITO DE SODIO EN EFLUENTES DE GALVANIZADO, 2020

Línea de investigación:

Tecnologías para residuos y pasivos ambientales. Biorremediación

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniera Ambiental

Autora:

Arias Muñoz, Viviana Mirella

Asesor:

Vásquez Aranda, Ahuber Omar
(ORCID: 0000-0002-2873-6752)

Jurado:

Ventura Barrera, Carmen Luz
Aylas Humareda, María Del Carmen
Reyna Mandujano, Samuel Carlos

Lima - Perú

2022

REPORTE DE ANÁLISIS DE SIMILITUD

Archivo:	1A_Arias_Muñoz_Viviana_Mirella_Titulo_Profesional_2021
Fecha del análisis:	22/12/2021
Operador del programa informático:	Leguía Zamora, Julio César
Correo del operador del Programa informático:	jleguia@unfv.edu.pe
Porcentaje:	3 %
Título	REMOCIÓN DE CIANURO POR PROCESOS FISICOQUIMICOS CON HIPOCLORITO DE SODIO EN EFLUENTES DE GALVANIZADO, 2020
Asesor:	Vásquez Aranda, Ahuber Omar
Enlace:	https://secure.arkund.com/old/view/117913081-566166-646382#q1bKLVayjibUMTTSMTTVMTTMTTXMdlxstAxstQx0TGP1VEqzkzPy0zLTE7MS05VsjLQMzAyNrI0sLS0MDW2MAWxjWoB



Mg. Braulio Armando Valdivia Orihuela

Jefe de la Oficina de Grados y Gestión del Egresado



FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL, GEOGRÁFICA Y ECOTURISMO

REMOCIÓN DE CIANURO POR PROCESOS FISICOQUIMICOS CON
HIPOCLORITO DE SODIO EN EFLUENTES DE GALVANIZADO, 2020

Líneas de Investigación:

Tecnologías para residuos y pasivos ambientales. Biorremediación.

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniera Ambiental

AUTORA

Arias Muñoz, Viviana Mirella

ASESOR

Omar Vásquez, Aranda
(ORCID: 0000-0002-2873-6752)

JURADOS

Ventura Barrera, Carmen Luz
Aylas Humareda, María Del Carmen
Reyna Mandujano, Samuel Carlos

Lima - Perú

2021

TITULO:

“REMOCIÓN DE CIANURO POR PROCESOS FISICOQUIMICOS CON HIPOCLORITO DE SODIO EN EFLUENTES DE GALVANIZADO, 2020”

AUTOR:

VIVIANA MIRELLA ARIAS MUÑOZ

DEDICATORIA:

*A Dios, por sus planes y tiempos perfectos;
a mi familia, por el apoyo en todo momento.*

RECONOCIMIENTO:

*A los profesores de la FIGAE,
quienes me asesoraron y ayudaron
brindándome aportes para mejorar mi investigación.*

ÍNDICE GENERAL

TITULO: -----	1
DEDICATORIA: -----	3
RECONOCIMIENTO: -----	4
ÍNDICE GENERAL -----	5
INDICE DE TABLAS -----	7
INDICE DE FIGURAS -----	8
RESUMEN -----	9
ABSTRACT -----	10
I. INTRODUCCIÓN -----	11
1.1. Descripción y formulación del problema	12
1.2. Antecedentes	13
1.3. Objetivos	16
1.4. Justificación	16
1.5. Hipótesis	17
II. MARCO TEÓRICO -----	18
2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación -----	18
III. MÉTODO -----	22
3.1. Tipo de investigación	22
3.2. Ámbito temporal y espacial	22
3.3. Variables	22
3.4. Población y muestra	25
3.5. Instrumentos	25
3.6. Procedimientos	25
3.7. Análisis de datos	26
3.8. Consideraciones Éticas	26
IV. RESULTADOS -----	27
4.1. Determinación inicial de la concentración de cianuro	27
4.2. Determinación de la dosis optima de hipoclorito de sodio	27
4.2.1. Tratamiento N° 1	28
4.2.2. Tratamiento N° 2	32
4.2.3. Tratamiento N° 3	37

4.3. Determinación final de la concentración de cianuro	41
4.3.1. Primer tratamiento:	41
4.3.2. Segundo tratamiento:	43
4.3.3. Tercer tratamiento:	44
V. DISCUSION DE RESULTADOS -----	46
VI. CONCLUSIONES -----	47
VII. RECOMENDACIONES -----	48
VIII. REFERENCIAS -----	49
IX. ANEXOS -----	53

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Clasificación del cianuro</i> _____	19
<i>Tabla 2. Usos del cianuro y su impacto</i> _____	19
<i>Tabla 3. VMA para el cianuro en efluentes industriales</i> _____	20
<i>Tabla 4. Operacionalización de variables</i> _____	24
<i>Tabla 5. Caracterización fisicoquímica inicial del efluente</i> _____	27
<i>Tabla 6. Primer ensayo al 1% de NaClO del Tratamiento 1</i> _____	28
<i>Tabla 7. Segundo ensayo al 2.5% de NaClO del Tratamiento 1</i> _____	30
<i>Tabla 8. Tercer ensayo al 5% de NaClO del Tratamiento 1</i> _____	31
<i>Tabla 9. Primer ensayo al 1% de NaClO del Tratamiento 2</i> _____	33
<i>Tabla 10. Segundo ensayo al 2.5% de NaClO del Tratamiento 2</i> _____	34
<i>Tabla 11. Tercer ensayo al 5% de NaClO del Tratamiento 2</i> _____	36
<i>Tabla 12. Primer ensayo al 1% de NaClO del Tratamiento 3</i> _____	37
<i>Tabla 13. Segundo ensayo al 2.5% de NaClO del Tratamiento 3</i> _____	39
<i>Tabla 14. Tercer ensayo al 5% de NaClO del Tratamiento 3</i> _____	40
<i>Tabla 15. Concentración final de CN- en tratamiento 1 – ensayo 1</i> _____	42
<i>Tabla 16. Concentración final de CN- en tratamiento 1 – ensayo 2</i> _____	42
<i>Tabla 17. Concentración final de CN- en tratamiento 1 – ensayo 3</i> _____	43
<i>Tabla 18. Concentración final de CN- en tratamiento 2 – ensayo 1</i> _____	43
<i>Tabla 19. Concentración final de CN- en tratamiento 2 – ensayo 2</i> _____	43
<i>Tabla 20. Concentración final de CN- en tratamiento 2 – ensayo 3</i> _____	44
<i>Tabla 21. Concentración final de CN- en tratamiento 3 – ensayo 1</i> _____	44
<i>Tabla 22. Concentración final de CN- en tratamiento 3 – ensayo 2</i> _____	45
<i>Tabla 23. Concentración final de CN- en tratamiento 3 – ensayo 3</i> _____	45

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Etapas del proceso de galvanizado</i>	18
<i>Figura 2. Formula de eficiencia de remoción</i>	23
<i>Figura 3. Tratamiento N°1 Concentración del CN⁻ VS NaClO al 1%</i>	29
<i>Figura 4. Tratamiento N°1 Concentración del CN⁻ VS NaClO al 2.5%</i>	30
<i>Figura 5. Tratamiento N°1 Concentración del CN⁻ VS NaClO al 5%</i>	32
<i>Figura 6. Tratamiento N°2 Concentración del CN⁻ VS NaClO al 1%</i>	33
<i>Figura 7. Tratamiento N°2 Concentración del CN⁻ VS NaClO al 2.5%</i>	35
<i>Figura 8. Tratamiento N°2 Concentración del CN⁻ VS NaClO al 5%</i>	36
<i>Figura 9. Tratamiento N°3 Concentración del CN⁻ VS NaClO al 1%</i>	38
<i>Figura 10. Tratamiento N°3 Concentración del CN⁻ VS NaClO al 2.5%</i>	39
<i>Figura 11. Tratamiento N°3 Concentración del CN⁻ VS NaClO al 5%</i>	41

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se plantea como objetivo de estudio evaluar la remoción de Cianuro mediante procesos fisicoquímicos con hipoclorito de sodio en efluentes de galvanizado, para ello se realizó una caracterización inicial del efluente en el cual se obtuvieron valores superiores a los Límites Máximos Permisibles. El planteamiento experimental estuvo sujeto a la evaluación de la variable Hipoclorito de Sodio (NaClO), quien fue determinado mediante el uso de 3 concentraciones del insumo: 1, 2.5 y 5 % a diferentes dosis de 5, 10, 15, 20 y 25 ml, se realizaron 3 ensayos para cada concentración, los cuales se promediaron para obtener un valor específico de cada ensayo. Cada prueba se realizó con 1000 ml del efluente de galvanizado. Los resultados indicaron que el contenido más bajo de cianuro obtenido fue de 0.00 mg/l, en valores iniciales de Cianuro 682.2 mg/l y pH de 13.9 y con una dosis de 25 ml de NaClO al 5%. Finalmente, de acuerdo al proceso de experimentación y los resultados obtenidos se puede definir que a medida que aumenta la dosificación de hipoclorito de sodio en 5, 10, 15, 20 y 25 ml de NaClO en los tratamientos se obtienen mejores resultados en la disminución de hasta 0.00 mg/l del contaminante cianuro permitiendo que este dentro de los Valores Máximos Admisibles.

Palabras claves: Remoción, Cianuro, procesos fisicoquímicos, hipoclorito de sodio

ABSTRACT

The objective of this research work is to evaluate the removal of cyanide by physicochemical processes with sodium hypochlorite in electroplating effluents, for which an initial characterization of the effluent was carried out in which values above the Maximum Permissible Limits were obtained. The experimental approach was subject to the evaluation of the variable Sodium Hypochlorite (NaClO), which was determined by using 3 concentrations of the input: 1, 2.5 and 5 % at different doses of 5, 10, 15, 20 and 25 ml, 3 tests were carried out for each concentration, which were averaged to obtain a specific value for each test. Each test was carried out with 1000 ml of galvanizing effluent. The results indicated that the lowest cyanide content obtained was 0.00 mg/l, at initial values of Cyanide 682.2 mg/l and pH of 13.9 and with a dose of 25 ml of 5% NaClO. Finally, according to the experimental process and the results obtained, it can be defined that as the dosage of sodium hypochlorite increases in 5, 10, 15, 20 and 25 ml of NaClO in the treatments, better results are obtained in the decrease of up to 0.00 mg/l of the cyanide contaminant, allowing it to be within the Maximum Allowable Values.

Key words: Removal, cyanide, physicochemical processes, sodium hypochlorite.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el agua cumple un rol importante en la sociedad puesto que forma parte de los 4 recursos básicos e indispensables para el planeta (Izquierdo y Verástegui, 2017, p.18), dicho recurso hídrico, constituyen una de las matrices más esenciales para el ser humano y el ambiente. En nuestro planeta está presente en distintos estados, desempeñan un papel importante para el desarrollo de diversos sectores económicos, que van desde la agricultura, ganadería, actividades recreativas, comerciales e industriales (Pérez et al., 2018, p. 48). Sin embargo, el aumento de la demanda de agua ha ido en crecimiento año tras año, constituyendo un problema ambiental y social.

Ante ello, cabe agregar que las industrias son las que mayor alteración producen en los recursos debido a que sus procesos implican el uso de insumos químicos y otros productos, sin embargo, enfocándonos en la industria del galvanizado, esta se desarrolla bajo una serie de procedimientos en las cuales se generan efluentes inorgánicos, y que debido a sus concentraciones de metales y elementos tóxicos resulta ser peligroso y nocivo para el ser humano y la naturaleza (Chávez et al., 2009, p.41).

Dentro de los elementos que constituyen las aguas residuales de la industria del galvanizado, se encuentra el cianuro, que es un elemento constituido por un grupo de sustancias químicas, en las que se encuentran el carbono y nitrógeno, debido a sus propiedades que posee, este es indispensable en las industrias para la producción de piezas metálicas y productos orgánicos, su inadecuado o excesivo uso puede ser letal ya que constituye uno de los elementos más tóxicos (Cahuana, 2017, pp.10-11). Por otro lado, para Chumbes y Ari (2019), el cianuro presente en el ambiente puede reaccionar con otros compuestos formando sales y complejos, y aun en concentraciones bajas representa un componente toxico para los organismos vivos (p.31). No obstante, Auquilla y Damián (2019), mencionan que el cianuro es un elemento altamente toxico y para su degradación existen procesos químicos, naturales y biológicos de tal modo que reduce su concentración contaminante (p.21).

Ante la problemática expuesta, es necesario acudir al tratamiento de las aguas debido a que estas pueden ser reutilizadas y es por ello que el presente trabajo de investigación plantea una propuesta de tratamiento para las aguas residuales de la industria del galvanizado, mediante procesos fisicoquímicos en los cuales el principal reactivo utilizado

fue hipoclorito de sodio, que en diferentes concentraciones y dosis se determinó su efectividad al reducir el compuesto presente.

El desarrollo de la tesis está organizado en base a: La parte inicial; conformada por la carátula, título, dedicatoria, agradecimiento, índices, resumen y abstract. Por otro lado, el contenido temático está dividido en los siguientes capítulos: Capítulo I; se describe la introducción, que incluye la descripción del problema, formulación del problema general y problemas específicos, la búsqueda de los antecedentes nacionales e internacionales, presentación del objetivo general y objetivos específicos, así como la justificación e hipótesis del presente estudio. Para el Capítulo II: se desarrolla el marco teórico, que está enfocado con sus bases teóricas sobre la investigación. En el Capítulo III: Método. Que enfocan toda la metodología de la investigación: tipo de Investigación, diseño, ámbito temporal y espacial, variables, población y muestra, técnicas e instrumentos, procedimientos, análisis de datos y consideraciones éticas. Ahora bien, en el Capítulo IV desarrollamos los resultados, los cuales permiten demostrar la posibilidad de aplicar el estudio y comprobar que lo propuesto es útil. Del mismo modo tenemos en el Capítulo V: Discusión de resultados, se comprueba los resultados con la literatura anterior (Antecedentes). Finalmente, en el Capítulo VI: Las conclusiones, donde se describen y establece la factibilidad de la investigación. En el capítulo VII: detallamos las recomendaciones presentadas como sugerencias y recomendaciones que se produjeron en la presente elaboración de la investigación. El Capítulo VIII, se presentan las referencias bibliográficas utilizadas en la presente investigación y el Capítulo IX. Anexos. Se anexa información que integra a la investigación.

1.1. Descripción y formulación del problema

Hoy en día hay una creciente preocupación por la contaminación ambiental de las masas de agua en todo el mundo y sus efectos en la salud de la humanidad, tal como se ha observado en las últimas décadas, la liberación y la lixiviación generalizadas de metales pesados han provocado la contaminación del medio ambiente acuático (Zhang et al., 2020, p.2). Es por ello que la contaminación del agua se ha convertido en una de las problemáticas más recurrentes a nivel mundial, dicho recurso ha venido siendo impactado constantemente debido al desarrollo de las actividades antropogénicas, siendo las industrias las más contaminantes. Un enfoque claro es la industria del galvanizado que debido a su finalidad de alargar la vida de piezas metálicas utiliza compuestos químicos como el cianuro y con ello elevadas cantidades agua generando efluentes con concentraciones altas de metales,

produciendo alto contenido de toxicidad en dichas aguas y representando un riesgo alto para los seres vivos y la naturaleza.

Tal como lo menciona Pomalaza (2016), las aguas de galvanizado contienen elementos tóxicos como el cianuro un compuesto nocivo para la salud, (p.14), que al no ser tratado oportunamente este podría generar una serie de consecuencias e impactos en la naturaleza y la supervivencia humana, es por ello la necesidad de implementar y proponer alternativas de tratamiento tal como los procesos fisicoquímicos en los que se utiliza el hipoclorito de sodio como el insumo principal para la remoción del cianuro, que tiene el fin de reducir la concentración del contaminante antes que este tenga contacto con los recursos. Ante lo expuesto se plantea como problema principal y específico a:

Problema general

- ¿De qué manera los procesos fisicoquímicos con hipoclorito de sodio tienen efecto en la remoción de cianuro presente en el efluente de galvanizado, 2020?

Problemas específicos

- ¿Cuáles son las concentraciones de cianuro antes del tratamiento por procesos fisicoquímicos en el efluente de galvanizado, 2020?
- ¿Cuál es la dosis óptima del hipoclorito de sodio en los procesos fisicoquímicos, para la remoción de Cianuro presente en el efluente de galvanizado, 2020?
- ¿Cuáles son las concentraciones de cianuro después del tratamiento por procesos fisicoquímicos en el efluente de galvanizado, 2020?

1.2. Antecedentes

Celso (2020, p.1), en su investigación “Efectos del pH y concentración de iones cobre en la degradación del cianuro por ozonización”, plantea como fin determinar el efecto del pH sobre la degradación del cianuro mediante un proceso avanzado de oxidación, a través de la implementación de un reactor de 80 cm abastecido de aire y ozono, se realizó dicho proceso en base a 3 valores de pH 9, 10.5 y 12 en un tiempo de 20 min, y una concentración de 500 ppm de cianuro, finalmente se logró una eficiencia de remoción de 99% a un pH de 10.5.

Capatinta y Cardenas (2020, p.1), en su investigación “Análisis de los métodos de degradación de cianuro en los relaves generados por las mineras auríferas”, la cual tiene como finalidad realizar una revisión bibliográfica de las técnicas de tratamiento del cianuro mediante la oxidación química, de tal modo se encontró que los métodos de degradación que no requieren de un tratamiento adicional son los que utilizan peróxido de hidrógeno, UVH_2O_2 y ácido de Caro con un porcentaje de degradación del cianuro de 98, 94 y 96 respectivamente; por otro lado, encontramos aquellos con la necesidad de aplicar un tratamiento adicional como el método con O_3 , tratamiento por cloración y el proceso INCO, cuyos porcentajes de degradación fueron de 92, 95, 92. Finalmente se concluyó que el método de oxidación con ácido de Caro es el más efectivo, debido a su elevada velocidad de oxidación sin la necesidad de utilizar catalizadores de cobre durante su proceso; por otro lado, no produce gases contaminantes que impliquen un riesgo medioambiental y no requiere de un tratamiento adicional debido a que tiene una eficiencia del 98%.

Joaquín (2019, p.1), en su investigación “Cinética de oxidación del cianuro libre en agua por aplicación de ozono”, se plantea como objetivo determinar los parámetros cinéticos de oxidación del cianuro libre en el agua por aplicación del ozono. En la preparación de las muestras se usó tres concentraciones diferentes de cianuro libre de 50, 100 y 200 ppm, con concentraciones de pH de 6, 8 y 10, y con cuantificación de cianuro libre en tiempos de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 minutos. Para la cuantificación del cianuro libre inicial y final se usó el método Titrimétrico 4500-CN- D, La toma de muestra se realizó en tiempos establecidos los factores fueron el pH, tiempo y concentración de ozono, luego se recolectó los datos en una base llegando a la conclusión de que debido a que todas las medias son diferentes no se pudo seleccionar el promedio, por lo tanto, la mejor opción es la de mayor concentración inicial, para este caso es el de pH 10 y pH 6, mas no a pH 8.

Hernández (2019, p.1), en su investigación “Desarrollo del proceso de degradación de cianuro procedente de la lixiviación de plata a partir de oxidación con ozono-cloruro de sodio”, plantea como fin eliminar el cianuro libre presente de tal modo reducir el impacto ambiental, mediante el uso de una columna empacada donde la concentración de NaCl fue de 0.017 M, para un flujo de 0.8 L/min de ozono, a un tiempo de 40 min, adicionalmente se realizó un monitoreo del potencial oxido reducción y pH para evitar la formación de HCN.

Aquilla y Damián (2019, p.1), en su investigación realizada “Reducción de cianuro de agua residual proveniente de una empresa metalúrgica por tratamiento oxidativo con

peróxido de hidrógeno”, plantea como objetivo reducir la concentración de cianuro de agua residual por oxidación con peróxido de hidrogeno al 50% de tal modo cumplir con los parámetros de calidad ambiental, el estudio realizado a nivel laboratorio, mediante un diseño experimental con tres factores: agitación, tiempo de retención y dosificación de oxidante, siendo los rangos de relación oxidante/cianuro (2:1; 5:1), tiempo de retención (2; 4 horas) y agitación (150; 200 rpm), finalmente se obtuvo que degradación de cianuro libre y cianuro total son: relación oxidante/cianuro 6:1, tiempo de retención 240 minutos en cuanto a la agitación se decide trabajar a 175 rpm, alcanzando una concentración final en cianuro total acorde a la normativa ambiental.

Correa y Neyra (2019, p.1), en su investigación “Cinética de oxidación del cianuro libre en agua por aplicación de ozono”, tiene como finalidad determinar los parámetros cinéticos de oxidación del cianuro mediante la aplicación del ozono, el tratamiento de las muestras se basó en 3 concentraciones diferentes de cianuro (50, 100 y 200 ppm) con pH de 6, 8 y 10 a un tiempo de tratamiento de 10 hasta 60 min, mediante un ozonificador se introdujo el compuesto de ozono a una concentración de 200 mg/h. Determinando finalmente que la cinética para oxidar el cianuro se dan en pH de 6 y 10.

Fárez et al., (2011, p.1), en su investigación “Reducción de la concentración de cianuro con tratamiento de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) en las aguas residuales de la industria del galvanizado”, tiene como finalidad reducir el cianuro de las aguas residuales a través del proceso de oxidación con peróxido de hidrogeno, en el cual se usan como factores determinantes al tiempo (5, 15 y 180 min) y a la temperatura (16°C y 26°C), la dosis de peróxido de hidrogeno a utilizar fue determinada mediante un balance estequiométrico en el cual se obtuvo que para un mol de cianuro se requiere un mol de peróxido de hidrogeno, finalmente los resultados evidenciaron que el tratamiento rinde un 74% en un tiempo de 180 min a 26°C, dichas condiciones óptimas para lograr la reducción del contaminante.

Calderón (2014, p.1), en su investigación “Efecto del hipoclorito de sodio y sulfuro de sodio en el tratamiento de los efluentes metalúrgicos cianurados”, plantea como finalidad de elaborar una metodología para tratar el efluente con contenido alto de cianuro libre, donde la concentración de dicho elemento antes del tratamiento fue de 4917 ppm de cianuro, durante el tratamiento se encontró que la concentración óptima de hipoclorito de sodio debe estar entre 30 a 60 gr/l y la de sulfuro de sodio, de 10 a 16 g/l en un tiempo de 4 a 7 horas; después del tratamiento la cantidad de cianuro en el efluente disminuirá a un rango de 0,0611

– 0,1645 ppm. Finalmente, se concluye que, con el tratamiento del efluente, se logró reducir el cianuro a cantidades menores de 1 ppm, lo que está dentro de los límites, máximos permisibles de descargas.

1.3. Objetivos

Objetivo General

- Evaluar la remoción de Cianuro mediante procesos fisicoquímicos con hipoclorito de sodio en efluentes de galvanizado, 2020.

Objetivos específicos

- Determinar las concentraciones de Cianuro antes del tratamiento por procesos fisicoquímicos en el efluente de galvanizado, 2020.
- Determinar la dosis óptima del hipoclorito de sodio para la remoción de Cianuro por procesos fisicoquímicos en el efluente de galvanizado, 2020.
- Determinar las concentraciones de Cianuro después del tratamiento por procesos fisicoquímicos en el efluente de galvanizado, 2020.

1.4. Justificación

La industria de galvanizado constituye un impacto negativo para los recursos naturales en especial los recursos hídricos, es por ello que mitigar la contaminación, generada por las aguas de la industria de galvanizado, constituye un reto, debido a la presencia de compuestos tóxicos como el cianuro, que representa un riesgo de toxicidad para los seres vivos. Tal como lo menciona Jurado y Mercado (2017), la calidad de agua es uno de los indicadores que permitirá definir el bienestar social y por ende el desarrollo económico de manera sostenible es decir en las actuales y futuras generaciones (p.56).

Es por ello, que emplear un tratamiento mediante procesos fisicoquímicos, a las aguas cianuradas, permitirá reducir los niveles de concentración de cianuro, Estrada, Galeano y Restrepo (2019), mencionan que las aguas residuales que contienen concentraciones de cianuro deben ser tratados antes de ser vertidos en aguas abiertas, para evitar intoxicaciones, problemas de salud y daños irreparables en el ambiente, así como la pérdida de biodiversidad (p.10).

Por tal motivo, la presente investigación se justifica debido a la escasez de investigaciones referentes al tema propuesto, el abordar y estudiar la situación actual de operación de las industrias de galvanizado permitirán contribuir en la generación de cambios positivos por parte de las autoridades y con ello desarrollen medidas que impliquen cambios significativos en el sistema de manejo de aguas residuales.

Así mismo, se ha desarrollado bajo los siguientes enfoques de justificación, por un lado, desde el punto de vista teórico pretende procesar y ampliar la información recopilada con el fin de dar a conocer el impacto ambiental y en la salud pública que produce las aguas residuales de la industria del galvanizado, metodológicamente se justifica debido a que tiene la finalidad de fomentar la aplicación de métodos como los procesos fisicoquímicos para el tratamiento de los efluentes y su recuperación parcial o total para un nuevo uso, desde un enfoque práctico, se basa en la necesidad de mejorar los sistemas de tratamiento efluentes industriales, de tal modo que estos no contaminen otras fuentes de aguas y así mismo permitir a las industrias sean responsables con el ambiente, finalmente, desde la perspectiva social, se realiza con el objetivo de concientizar e informar a las empresas industriales sobre los tratamientos que se deben dar a sus efluentes antes que estos sean expulsados al ambiente, es decir dar un enfoque de uso racional de las aguas y las consecuencias que estas pueden traer si se liberan sin un control pertinente.

1.5. Hipótesis

Hipótesis General:

- Los procesos fisicoquímicos con hipoclorito de sodio son eficientes para la remoción de cianuro presente en efluentes de galvanizado, 2020.

Hipótesis específicas:

- Las concentraciones de Cianuro presente en el efluente de galvanizado superan los Valores Máximos Admisibles.
- La dosis óptima de hipoclorito de sodio para la remoción de Cianuro mediante procesos fisicoquímicos en el efluente de galvanizado es de 5.0%.
- Las concentraciones de Cianuro después del tratamiento por procesos fisicoquímicos en el efluente de galvanizado serán menor al Valor Máximo Admisible.

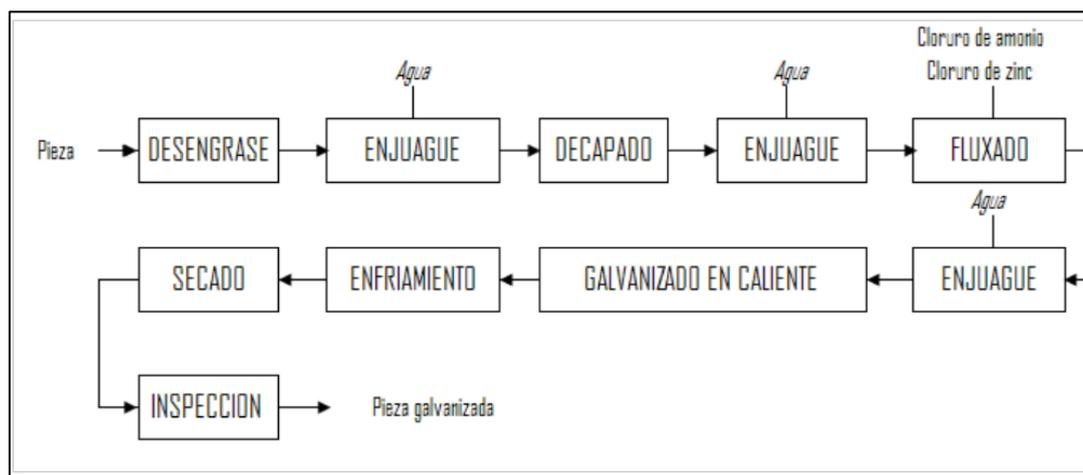
II. MARCO TEÓRICO

2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación

Industria del galvanizado:

Desarrolla una serie de procesos en los cuales se incluye el uso de grandes cantidades de agua, es por ello que dicha industria se considera una de las generadoras de mayor porcentaje de efluentes. Su procedimiento tal como se observa en la figura 1, inicia sometiendo a la pieza a galvanizar a un tratamiento químico con la finalidad de quitar las impurezas del material, seguidamente se inicia el proceso de desengrase (eliminación de grasas, aceites y otras impurezas), se realiza un primer enjuague, para continuar con el proceso de decapado (que mediante el uso de ácidos tiene el fin de eliminar el óxido), nuevamente se realiza un segundo enjuague para realizar el proceso de fluxado (tiene el objetivo de facilitar la adherencia del metal en la pieza para evitar la formación de óxidos, dicho proceso se da con el uso de sales), nuevamente se realiza un tercer enjuague para continuar con el proceso de galvanizado en caliente (la pieza es sometida a un baño de zinc fundido), posteriormente se deja enfriar, secar y se obtiene el producto final la pieza galvanizada.

Figura 1
Etapas del proceso de galvanizado



Fuente: Ocampo et al., 2020, p.8

El cianuro:

Es denominado un compuesto químico inorgánico formado por un enlace triple de carbono y nitrógeno, se puede encontrar en diferentes formas tal como un gas cianuro de hidrogeno (HCN), en forma de cristales como cianuro de sodio (NaCN), cianuro de potasio (KCN), o cristales incoloros como el cianuro de amonio (NH₄CN). Es considerado un elemento químico muy tóxico pero esencial en el proceso de industrias, a pesar que sus residuos como son los efluentes constituyan una amenaza para el ambiente, la fauna, flora y humano (Zapata y Bermúdez, 2020, p.9). el cianuro se clasifica en tres compuestos tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1*Clasificación del cianuro*

CLASIFICACIÓN		COMPUESTO
Cianuro libre		CN ⁻ , HCN
Cianuros simples	Fácilmente soluble	NaCN, KCN, Ca(CN) ₂ , Hg(CN) ₂
Cianuros complejos	Cianuros Complejos débiles.	Zn(CN) ₄ ⁻² , Cd(CN) ₃ ⁻²
	Moderadamente fuertes.	Cu(CN) ₂ ⁻¹ , Ni(CN) ₄ ⁻²
	Cianuros complejos fuertes.	Fe(CN) ₆ ⁻⁴ , Co(CN) ₆ ⁻⁴

Fuente: Auquilla y Damián, 2019, p.29

En la siguiente tabla se describen los usos más comunes que se le da al cianuro en las diferentes industrias, y con ello su impacto que ocasionan.

Tabla 2*Usos del cianuro y su impacto*

USOS DEL CIANURO	IMPACTOS PRODUCIDOS
➤ <u>Minería Acuifera</u> : el cianuro se utiliza como reactivo para el lixiviado del mineral es decir separar la roca del mineral.	▪ Impacto en las aguas por la generación de vertimientos y efluentes industriales.

USOS DEL CIANURO	IMPACTOS PRODUCIDOS
➤ <u>Industria de galvanizado</u> : es el proceso de recubrir las piezas metálicas para evitar su corrosión mediante el uso de cianuro.	▪ Impacto en el aire por la generación de Material Particulado.
➤ <u>Fotografía</u> : se usa para el revelado y fijado de imágenes fotográficas.	▪ Generación de gases tóxicos.
➤ <u>Combustión de diésel vehicular</u> :	▪ Generación de residuos.
➤ <u>Industria tabacalera</u> : el cianuro es uno de los compuestos indispensables del cigarro.	▪ Contaminación de suelos.
➤ <u>Industria Militar</u> : es el compuesto esencial para la fabricación de armamentos.	▪ Perturbación en la flora y fauna.
	▪ Alteración de calidad de vida del ser humano.

Dentro de la normativa peruana, tenemos a los Valores Máximos Admisibles, denominado a la concentración de los parámetros contenidos en las descargas de las aguas residuales no domésticas a descargar en los sistemas de alcantarillado sanitario y que puede influenciar negativamente en los procesos de tratamiento de las aguas residuales, al exceder dichos valores, dicha normativa aprobado mediante el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA, “Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario”.

Tabla 3

VMA para el cianuro en efluentes industriales

TIPO DE MUESTRA	PARÁMETRO	UNIDAD	SIMBOLOGÍA	VMA
Agua residual industrial	Cianuro	mg/l	CN-	1

Fuente: D.S. N° 010-2019-VIVIENDA

Procesos Fisicoquímicos:

Para la reducción de compuestos cianurados en efluentes industriales, es necesario que dichas aguas pasen por un tratamiento químico mediante reacción de oxidación, es decir que cianuro se oxide a cianato no tóxicos para ello se utilizan agentes oxidantes como el hipoclorito de sodio, teniendo en cuenta que la reacción es instantánea con

valores de pH superior a 12, estabilizando posteriormente a un pH menos a 10, obteniendo como reacción la siguiente:



El tratamiento con hipoclorito de calcio como oxidante para los compuestos de cianuros consta de 3 etapas: en la primera la oxidación de cianuro con hipoclorito de calcio, la segunda la reducción y precipitación de cromo, y la tercera la precipitación de metales; hay que tener en cuenta que el proceso de tratamiento clásico de aguas residuales galvánicas, el pH y tiempo de reacción para precipitación de metales son las características principales. Por otro lado, el cloro se puede usar en su forma elemental, hipoclorito de sodio (NaClO) o hipoclorito de calcio (Ca(ClO)₂) como oxidante. La reacción de destrucción del cianuro es de dos pasos, el primer paso en el que el cianuro se oxida en cloruro de cianógeno (CNCl) y el segundo paso en el que el cloruro de cianógeno se hidroliza para producir cianato (Martínez y Peña, 2019, p.106).

III. MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

El presente estudio, se basa en una investigación de tipo aplicada, la cual se desarrolla bajo conocimientos previamente adquiridos en otras investigaciones, para dar soluciones a problemas inmediatos (Sánchez et al., 2018, p.79). De este modo el estudio se basará en la aplicación del proceso fisicoquímico con una base teórica ya establecida que permitirá la reducción de la concentración de cianuro mediante la aplicación de dosis de hipoclorito de sodio, en un tiempo determinado.

Así mismo, presenta un enfoque cuantitativo que refiere aquella investigación donde se utilizan la recolección de datos numéricos con el objeto de probar las hipótesis, además tienen el fin de establecer pautas o lineamientos para probar teorías (Hernández et al., 2014, p.37).

Por otro lado, presenta un diseño experimental, el cual consiste en manipular intencionalmente una variable independiente para analizar posibles resultados sobre la variable dependiente. Es decir, nos indica una causa efecto (Hernández et al., 2014, p.162). la cual estará dada por la manipulación de la variable independiente (Procedimiento fisicoquímico), quien influirá en la variable dependiente (remoción de cianuro) y de tal forma describir los sucesos producidos.

3.2. Ámbito temporal y espacial

El ámbito temporal, el estudio será realizado durante los meses de enero a marzo 2020, mientras que en el ámbito espacial la investigación será aplicada y procesada con información obtenida de las aguas residuales de la industria de galvanizado, cuyas muestras serán obtenidas de la misma fuente de descarga.

3.3. Variables

Variable Independiente - Procesos fisicoquímicos:

Para la reducción de compuestos cianurados en efluentes industriales, es necesario que dichas aguas pasen por un tratamiento químico mediante reacción de oxidación, es decir que cianuro se oxide a cianato no tóxicos. Dentro de los cuales se encuentra la cloración

alcalina, un proceso donde se agrega una solución de hipoclorito de sodio en medio alcalino (pH: 10-12) para lograr la oxidación de los cianuros (Jiménez et al., 2020, p.224). Se realizará el proceso de oxidación por clorinación alcalina, el cual consiste en suministrar una dosis de cloro en forma líquida (hipoclorito de sodio), con el fin de causar la precipitación del contaminante, cabe agregar que dicho proceso se realiza teniendo en cuenta un valor de pH alcalino.

Variable Dependiente - Remoción de cianuro

La variable dependiente, resulta de la medición del contenido de cianuro total en cada una de las muestras. Se calculó en base a la fórmula de eficiencia de remoción (Celso, 2020, p.15). Se realizará el muestreo de las aguas industriales teniendo en cuenta el Plan de Monitoreo propuesto por la ANA, seguidamente se realizará el análisis de los principales parámetros de tal modo determinar la temperatura, pH, concentración inicial. Por otro lado, para la determinación del porcentaje de remoción se aplicará el valor de concentración inicial menos el valor de concentración final entre el valor de concentración inicial multiplicado por cien.

Figura 2

Formula de eficiencia de remoción

$$\text{Eficiencia de remoción} = \frac{CN_o - CN_f}{CN_o} * 100$$

Donde:

CN_o = concentración inicial de cianuro, 500 ppm

CN_f = concentración final del cianuro después del tratamiento, ppm

Tabla 4*Operacionalización de variables*

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE ANÁLISIS	INSTRUMENTO	
INDEPENDIENTE	Procesos Físicoquímicos	Para la reducción de compuestos cianurados en efluentes industriales, es necesario que dichas aguas pasen por un tratamiento químico mediante reacción de oxidación, es decir que cianuro se oxide a cianato no tóxicos. Dentro de los cuales se encuentra la cloración alcalina, un proceso donde se agrega una solución de hipoclorito de sodio en medio alcalino (pH: 10-12) para lograr la oxidación de los cianuros (Jiménez et al., 2020, p.224).	Se realizará el proceso de oxidación por clorinación alcalina, el cual consiste en suministrar una dosis de cloro en forma líquida (hipoclorito de sodio), con el fin de causar la precipitación del contaminante, cabe agregar que dicho proceso se realiza teniendo en cuenta un valor de pH alcalino.	Tratamiento con hipoclorito de sodio	Dosis de NaCl	%	Cadena de custodia
					Volumen	L	
					pH	-	
					Temperatura	°C	
DEPENDIENTE	Remoción de cianuro	La variable dependiente, resulta de la medición del contenido de cianuro total en cada una de las muestras. Se calculó en base a la fórmula de eficiencia de remoción (Celso, 2020, p.15)	Se realizará el muestreo de las aguas industriales teniendo en cuenta el Plan de Monitoreo propuesto por la ANA, seguidamente se realizará el análisis de los principales parámetros de tal modo determinar la temperatura, pH, concentración inicial. Por otro lado, para la determinación del porcentaje de remoción se aplicará el valor de concentración inicial menos el valor de concentración final entre el valor de concentración inicial multiplicado por cien.	Características físicoquímicas del efluente	pH	-	
					Concentración Inicial CN ⁻	mg/l	
					Remoción	%	
					Concentración Final CN ⁻	mg/l	
				Eficiencia	VMA	mg/l	

3.4. Población y muestra

Mencionan que la población o también denominado universo refiere al conjunto total de los sujetos elementos o casos a investigar, y estos poseen características que permiten contribuir a la información a estudiar, mientras que la muestra es el subgrupo o una parte representativa de la población (Alan y Cortez, 2017, pp.103-104).

Ante ello, la población para el presente estudio está dada por las aguas residuales del ámbito industrial descargadas de la industria de galvanizado. Mientras que la muestra a analizar será de 20 litros del efluente recolectado de dicha industria.

3.5. Instrumentos

Para medir las variables, es necesario aplicar instrumentos que permitan recolectar los datos e información de interés, para ello el presente estudio está enfocado en aplicar 2 tipo de instrumentos por un lado la observación, el cual consiste en registrar los comportamientos, conductas, sucesos o situaciones del fenómeno dadas en el momento preciso de la experimentación. Así mismo se aplicará el instrumento de cadena de custodia, el cual tiene como función reportar los valores, datos, características, etc., de las reacciones dadas en la experimentación.

3.6. Procedimientos

1. Como primer procedimiento a realizar es la recolección de la muestra, mediante una visita técnica a la industria de galvanizado, dicha muestra será recolectada siguiendo el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de Cuerpos naturales de Agua Superficial.
2. Seguidamente la muestra será llevada a las instalaciones del laboratorio donde se efectuarán los análisis 3 veces para determinar asertivamente los valores, mediante los siguientes procedimientos:
 - La determinación de pH mediante el equipo de peachimetro de tal modo definir el grado de acidez del efluente a escala de valores que van del cero (el valor más ácido) al 14 (el más básico).
 - La temperatura, mediante un termómetro

- La concentración de cianuro se realizará mediante el método espectrofotométrico.
- 3. Para determinar la dosis óptima del hipoclorito de sodio, se realizaron 3 tratamientos con 1.0, 2.5 y 5.0 % de dosis para cada ensayo con un volumen constante de 1 litro de efluente y en 5 tiempos diferentes de 5, 10, 15, 20 y 25 min.
- 4. Se llevará a cabo el proceso de colorimetría, con el fin de determinar la concentración de cianuro presente en el efluente.
- 5. En cada ensayo se efectuaron 2 repeticiones para cada tiempo de tal modo obtener un promedio estándar de la concentración final del contaminante.
- 6. Finalmente se analizarán los resultados obtenidos en base a los objetivos planteados de tal modo definir la dosis óptima para el tratamiento de los efluentes.

3.7. Análisis de datos

Lo datos obtenidos serán ingresados y procesados mediante el programa de Excel, de tal modo que estos puedan ser comparados con los Valores Máximos Admisibles del D.S. N° 010-2019-VIVIENDA, para de tal forma determinar la efectividad del tratamiento.

3.8. Consideraciones Éticas

Durante el desarrollo del presente estudio se tendrá en cuenta como consideraciones éticas a: El respeto a la autoría de las fuentes de información, citando apropiadamente con estilos internacionales, tal como lo es el estilo APA, así mismo se mantendrán los principios de la bioética (beneficencia, no maleficencia, autonomía y justicia). Por otro lado, el cumplimiento de los aspectos relevantes del código de ética del área de investigación de la Universidad Nacional Federico Villareal basado en una serie de normas que regulan las buenas prácticas y los principios éticos, para de tal modo garantizar la responsabilidad y honestidad de los investigadores. Finalmente, el autor estará sometido a recibir las sanciones e infracciones respectivas si en caso se comprobara cualquier delito, falsificación o alteración de información.

IV. RESULTADOS

4.1. Determinación inicial de la concentración de cianuro

En relación al primer objetivo planteado, y de acuerdo a los tres monitoreos llevados a cabo se determinaron las concentraciones de Cianuro libre en las muestras tomadas en el efluente de Galvanizado, así mismo, la caracterización fisicoquímica incluyó las mediciones del Potencial de Hidrógenos (pH) y Temperatura, las cuales fueron medidas antes de iniciar el proceso de tratamiento por procesos fisicoquímicos con Hipoclorito de Sodio (NaClO), tal como se denota en la siguiente tabla.

Tabla 5

Caracterización fisicoquímica inicial del efluente

PARAMETROS	MONITOREOS			VMA
	1	2	3	
T (°C)	24.8	25.5	26.1	<35°C
pH	10.7	11.1	11.5	6 – 9
CN ⁻ Libre (mg/L)	538.3	851.5	682.2	1.0

Leyenda:

T: Temperatura

pH: Potencial de Hidrógenos

CN⁻: Cianuro Libre

VMA: Valores Máximos Admisibles

De acuerdo a lo descrito en la tabla anterior, se puede observar que los valores de los parámetros (temperatura, pH y cianuro libre), presentes en las aguas residuales de galvanizado representan niveles altos en comparación con los valores máximos admisibles (VMA), del Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA, lo cual indica un alto porcentaje de contaminación.

4.2. Determinación de la dosis óptima de hipoclorito de sodio

Para el desarrollo del segundo objetivo planteado, se determinó las dosis óptimas de hipoclorito de sodio (NaClO) para la remoción del cianuro mediante los procesos fisicoquímicos, para ello se realizaron 3 tratamientos en los cuales se utilizaron tres

concentraciones diferentes del insumo base NaClO (1.0, 2.5 y 5.0%) en cada uno de los tres monitoreos realizados, así mismo para cada ensayo se extrajo una dosis 5, 10, 15, 20 y 25 ml de NaClO a fin de determinar la dosis óptima.

4.2.1. Tratamiento N° 1

En este primer tratamiento, se desarrolló teniendo en cuenta el primer monitoreo de la caracterización fisicoquímica inicial del efluente (*Ver tabla N°5*), considerando 3 ensayos realizados con concentraciones de 1.0, 2.5 y 5.0% de NaClO.

➤ Primer ensayo con concentración de 1 % NaClO

En este primer ensayo se realizó una corrida inicial y luego complementada con dos repeticiones más, teniendo en cuenta los siguientes valores iniciales de las variables:

- Volumen: 1L por muestra de tratamiento.
- pH inicial: 10.7
- Concentración Inicial de CN⁻ : 538.3 mg/l
- Dosis (NaClO): 1 %

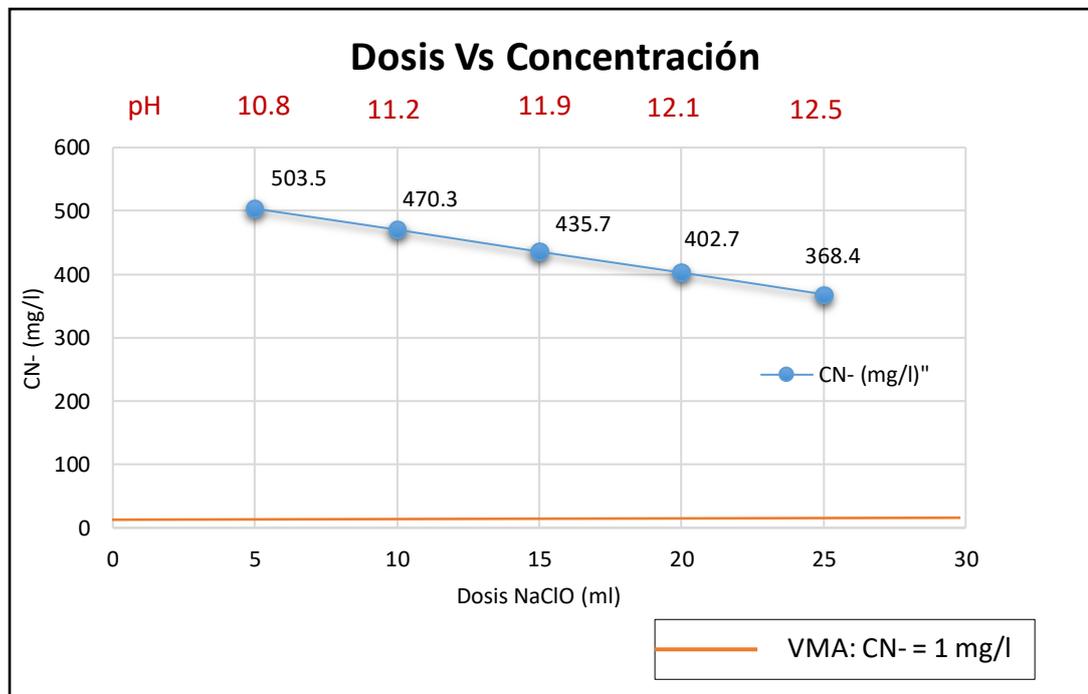
Teniendo una concentración de 1% de NaClO se extrajo 5 dosis de (5, 10, 15, 20 y 25 ml) para determinar la más óptima, tal como se muestra en el siguiente cuadro.

Tabla 6

Primer ensayo al 1% de NaClO del Tratamiento 1

MUESTRA	Dosis de NaClO (ml)				
Tratamientos	5	10	15	20	25
Concentración inicial CN ⁻ libre (mg/l)			538.3		
pH final	10.8	11.2	11.9	12.1	12.5
Concentración final CN ⁻ libre (mg/l)	503.5	471.5	436.2	402.7	368.4
Repeticiones					
1	504.4	470.2	435.8	403.2	367.3
2	502.6	469.1	435.1	402.3	369.4

Promedio	503.5	470.3	435.7	402.7	368.4
----------	-------	-------	-------	-------	-------

Figura 3*Tratamiento N°1 Concentración del CN⁻ VS NaClO al 1%*

Tal como se observa en la figura anterior del primer ensayo realizado, se aprecia que al trabajar con una concentración del 1 % de NaClO y una concentración inicial de 538.3 mg/l de Cianuro, los niveles empiezan a descender hasta alcanzar un valor final de 368.4 mg/l con la dosis de 25 ml. Se puede apreciar que los niveles de Cianuro se van reduciendo considerablemente, según se van adicionando las diferentes dosis, sin embargo, con la adición de la última dosis no se logra alcanzar el valor esperado que esté por debajo del Valor Máximo Admisible (VMA) requerido por el sector competente (1.0 mg/).

➤ **Segundo ensayo con concentración de 2.5 % NaClO**

A continuación, se muestran los tres resultados del segundo ensayo, el cual consistió en una corrida inicial y luego complementadas con dos repeticiones más. Para la elaboración de las gráficas se tomó como base los promedios de las tres corridas experimentales. Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- Volumen: 1L por muestra de tratamiento.
- pH inicial: 10.7
- Concentración Inicial de CN⁻: 538.3 mg/l

- Dosis (NaClO): 2.5 %

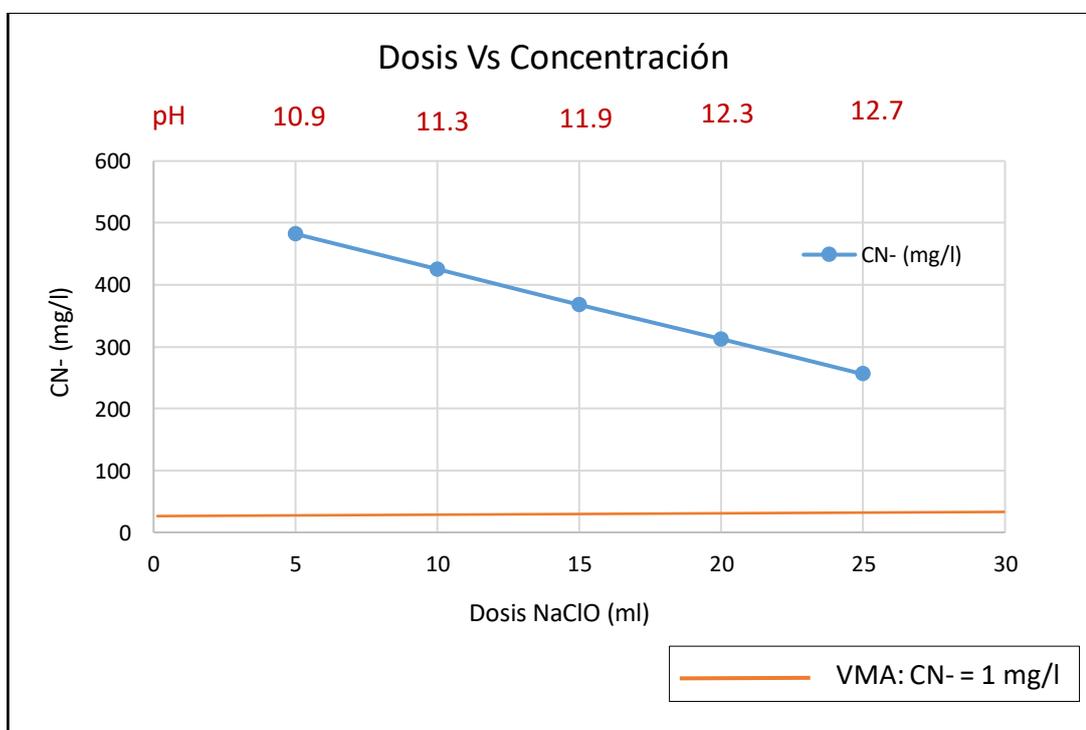
Tabla 7

Segundo ensayo al 2.5% de NaClO del Tratamiento 1

MUESTRA	Dosis de NaClO (ml)				
Tratamientos	5	10	15	20	25
Concentración inicial CN ⁻ libre (mg/l)			538.3		
pH final	10.9	11.3	11.9	12.3	12.7
Concentración final CN ⁻ libre (mg/l)	482.3	425.5	368.9	312.7	255.8
Repeticiones					
1	483.2	426.2	366.3	313.1	256.4
2	481.1	424.3	367.8	311.4	254.7
Promedio	482.2	425.3	367.7	312.4	255.6

Figura 4

Tratamiento N°1 Concentración del CN⁻ VS NaClO al 2.5%



De acuerdo al segundo ensayo realizado, se puede apreciar que al trabajar con una concentración del 2.5 % de NaClO y una concentración inicial de 538.3 mg/l de Cianuro, los niveles empiezan a descender hasta alcanzar un valor final de 255.6 mg/l con la dosis de 25 ml. Se puede apreciar que los niveles de Cianuro se van reduciendo considerablemente, según se van adicionando las diferentes dosis, sin embargo, con la adición de la última dosis no se logra alcanzar el valor esperado que esté por debajo del Valor Máximo Admisible (VMA) requerido por el sector competente (1.0 mg/l).

➤ **Tercer ensayo con concentración de 5.0 % NaClO**

Para este tercer ensayo, también se realizó una corrida inicial y luego complementada con dos repeticiones más. Para la elaboración de las gráficas se tomó como base los promedios de las tres corridas experimentales. Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- Volumen: 1L por muestra de tratamiento.
- pH inicial: 10.7
- Concentración Inicial de CN⁻: 538.3 mg/l
- Dosis (NaClO): 5 %

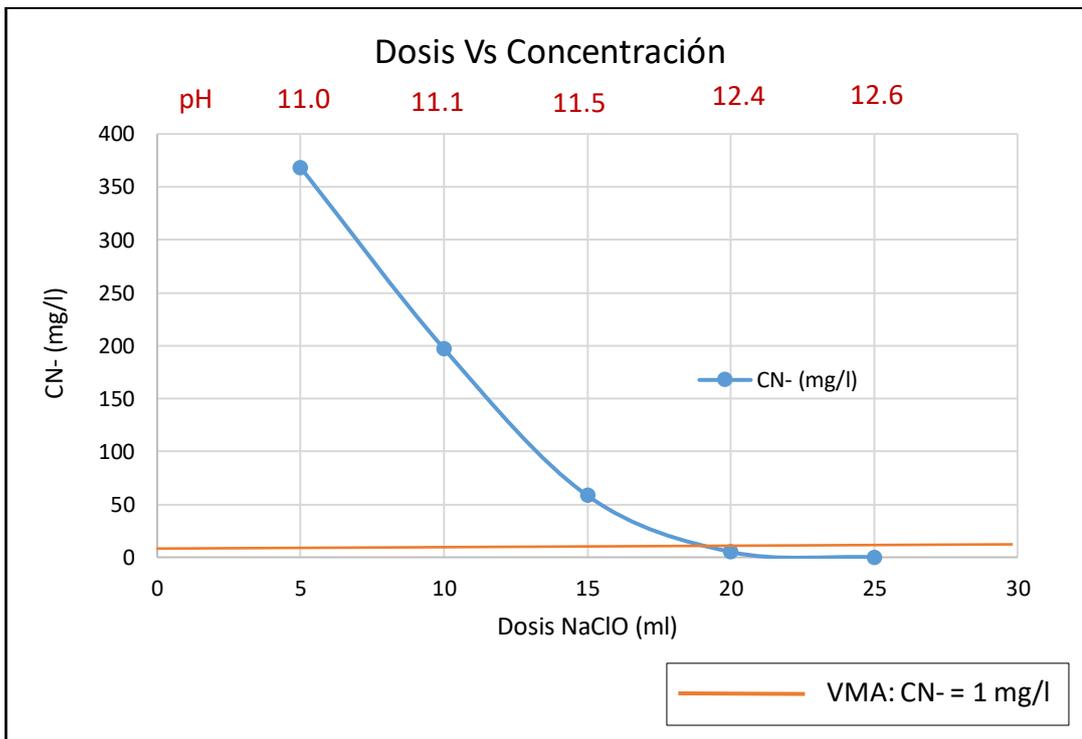
Tabla 8

Tercer ensayo al 5% de NaClO del Tratamiento 1

MUESTRA	Dosis de NaClO (ml)				
Tratamientos	5	10	15	20	25
Concentración inicial CN ⁻ libre (mg/l)			538.3		
pH final	11.0	11.1	11.5	12.4	12.6
Concentración final CN ⁻ libre (mg/l)	368.4	198.5	58.2	5.1	0.05
Repeticiones					
1	365.9	195.2	57.1	5.4	0.02
2	370.8	197.4	59.7	4.9	0.04
Promedio	368.4	197.1	58.3	5.1	0.04

Figura 5

Tratamiento N°1 Concentración del CN⁻ VS NaClO al 5%



De acuerdo al tercer ensayo realizado, se puede apreciar que al trabajar con una concentración del 5 % de NaClO y una concentración inicial de 538.3mg/l de Cianuro, los niveles empiezan a descender hasta obtener un valor final de 0.04 mg/l con una dosis de 25 ml., alcanzando de esta manera estar dentro del Valor Máximo Admisible (VMA) requerido por el sector competente (1.0 mg/l). Asimismo, cabe indicar que la dosis óptima para este ensayo sería de 25 ml.

4.2.2. Tratamiento N° 2

Para el desarrollo de este segundo tratamiento, se tuvo en cuenta el segundo monitoreo de la caracterización físicoquímica inicial del efluente (*Ver tabla N°5*), considerando 3 ensayos realizados con concentraciones de 1.0, 2.5 y 5.0% de NaClO.

➤ **Primer ensayo con concentración de 1 % NaClO**

A continuación, se muestran los tres resultados del primer ensayo, el cual consistió en una corrida inicial y luego complementadas con dos repeticiones más. Para la elaboración

de las gráficas se tomó como base los promedios de las tres corridas experimentales. Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- Volumen: 1L por muestra de tratamiento.
- pH inicial: 11.1
- Concentración Inicial de CN^- : 851.5 mg/l
- Dosis (NaClO): 1 %

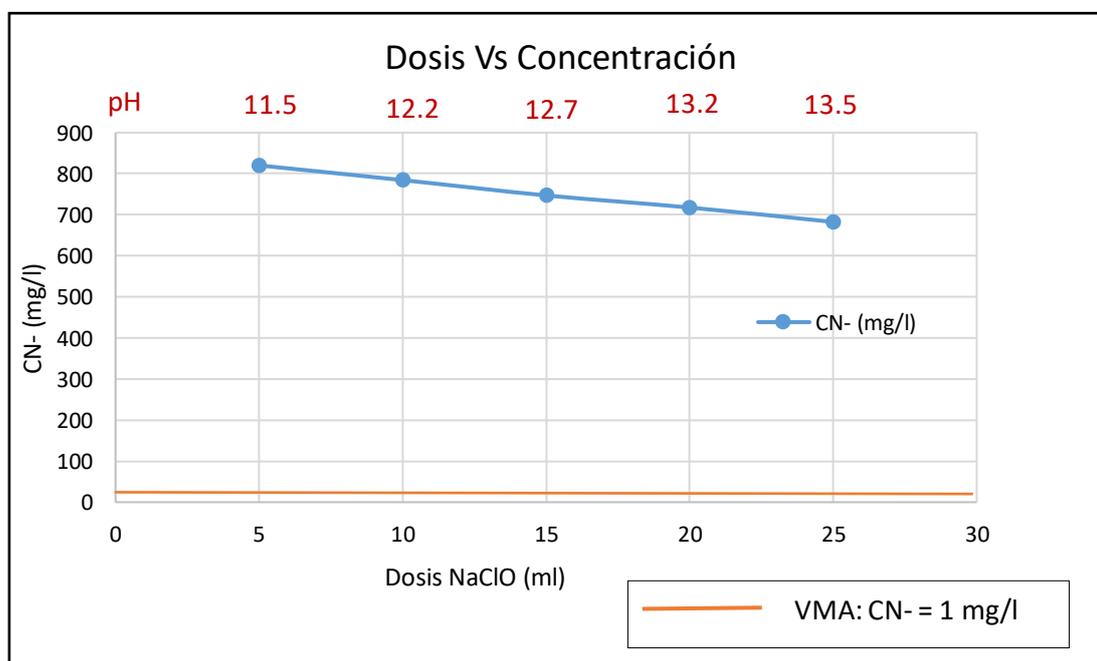
Tabla 9

Primer ensayo al 1% de NaClO del Tratamiento 2

MUESTRA	Dosis de NaClO (ml)				
Tratamientos	5	10	15	20	25
Concentración inicial CN^- libre (mg/l)			851.5		
pH final	11.5	12.2	12.7	13.2	13.5
Concentración final CN^- libre (mg/l)	819.4	784.5	747.9	717.1	682.8
Repeticiones					
1	820.2	785.2	746.3	718.1	681.1
2	821.1	783.4	747.1	717.1	683.5
Promedio	820.2	784.4	747.1	717.6	682.5

Figura 6.

Tratamiento N°2 Concentración del CN^- VS NaClO al 1%



De acuerdo al primer ensayo realizado para el segundo tratamiento, se puede apreciar que al trabajar con una concentración del 1 % de NaClO y una concentración inicial de 851.5mg/l de Cianuro, los niveles empiezan a descender hasta alcanzar un valor final de 682.5 mg/l con la dosis de 25 ml. Se puede apreciar que los niveles de Cianuro se van reduciendo considerablemente, según se van adicionando las diferentes dosis, sin embargo, con la adición de la última dosis no se logra alcanzar el valor esperado que esté por debajo del Valor Máximo Admisible (VMA) requerido por el sector competente (1.0 mg/l).

➤ **Segundo ensayo con concentración de 2.5 % NaClO**

A continuación, se muestran los tres resultados del segundo ensayo, el cual consistió en una corrida inicial y luego complementadas con dos repeticiones más. Para la elaboración de las gráficas se tomó como base los promedios de las tres corridas experimentales. Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- Volumen: 1L por muestra de tratamiento.
- pH inicial: 11.1
- Concentración Inicial de CN⁻: 851.5 mg/l
- Dosis (NaClO): 2.5 %

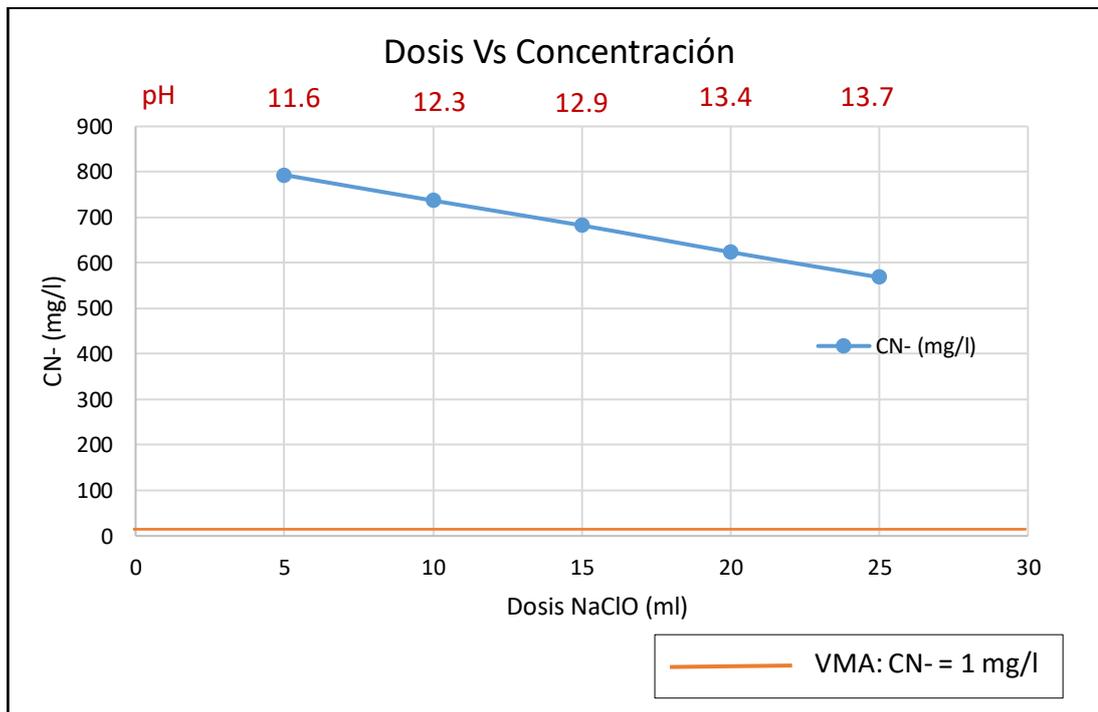
Tabla 10

Segundo ensayo al 2.5% de NaClO del Tratamiento 2

MUESTRA	Dosis de NaClO (ml)				
Tratamientos	5	10	15	20	25
Concentración inicial CN ⁻ libre (mg/l)			851.5		
pH final	11.6	12.3	12.9	13.4	13.7
Concentración final CN ⁻ libre (mg/l)	793.4	737.3	682.7	623.4	568.1
Repeticiones					
1	794.4	736.7	683.2	624.3	567.8
2	792.2	737.1	681.3	623.5	569.2
Promedio	793.3	737.0	682.4	623.7	568.4

Figura 7

Tratamiento N°2 Concentración del CN⁻ VS NaClO al 2.5%



De acuerdo al segundo ensayo realizado, se puede apreciar que al trabajar con una concentración del 2.5 % de NaClO y una concentración inicial de 851.5 mg/l de Cianuro, los niveles empiezan a descender hasta alcanzar un valor final de 568.4 mg/l con la dosis de 25 ml. Se puede apreciar que los niveles de Cianuro se van reduciendo considerablemente, según se van adicionando las diferentes dosis, sin embargo, con la adición de la última dosis no se logra alcanzar el valor esperado que esté por debajo del Valor Máximo Admisible (VMA) requerido por el sector competente (1.0 mg/l).

Tercer ensayo con concentración de 5.0 % NaClO

Para este tercer ensayo, también se realizó una corrida inicial y luego complementada con dos repeticiones más. Para la elaboración de las gráficas se tomó como base los promedios de las tres corridas experimentales. Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- Volumen: 1L por muestra de tratamiento.
- pH inicial: 11.1
- Concentración Inicial de CN⁻: 851.5 mg/l

- Dosis (NaClO): 5 %

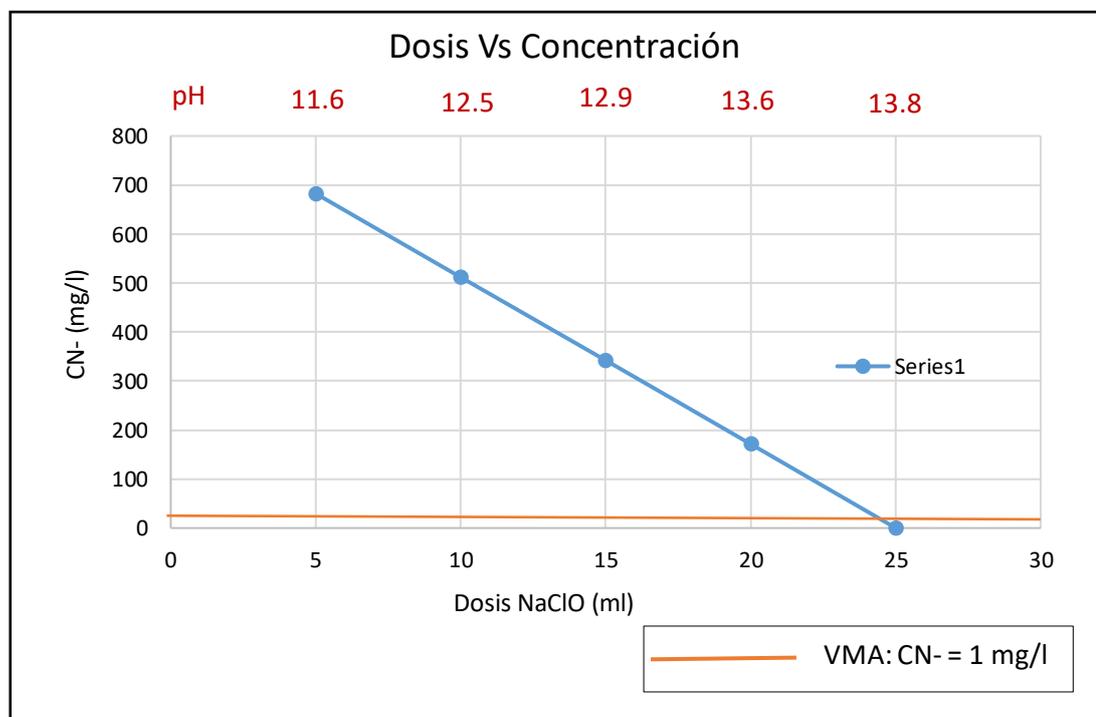
Tabla 11

Tercer ensayo al 5% de NaClO del Tratamiento 2

MUESTRA	Dosis de NaClO (ml)				
Tratamientos	5	10	15	20	25
Concentración inicial CN ⁻ libre (mg/l)			851.5		
pH final	11.6	12.5	12.9	13.6	13.8
Concentración final CN ⁻ libre (mg/l)	682.4	511.5	342.4	171.4	0.01
Repeticiones					
1	681.2	512.2	341.3	172.5	0.02
2	683.8	511.4	342.7	170.4	0.01
Promedio	682.5	511.7	342.1	171.4	0.01

Figura 8

Tratamiento N°2 Concentración del CN⁻ VS NaClO al 5%



De acuerdo al tercer ensayo realizado, se puede apreciar que al trabajar con una concentración del 5 % de NaClO y una concentración inicial de 851.5mg/l de Cianuro, los niveles empiezan a descender hasta alcanzar un valor final de 0.01 mg/l con la dosis de 25 ml. Sin embargo, puede apreciar que los niveles de Cianuro esta vez, sí alcanzan los Valores Máximos Admisibles (VMA) requeridos por el sector competente (1.0 mg/l). Asimismo, cabe indicar que la dosis óptima para este ensayo sería de 25 ml, ya que las demás dosis superan los Valores Máximos Admisibles.

4.2.3. Tratamiento N° 3

El tercer tratamiento, se tuvo en cuenta el tercer monitoreo de la caracterización fisicoquímica inicial del efluente (*Ver tabla N°5*), considerando 3 ensayos realizados con concentraciones de 1.0, 2.5 y 5.0% de NaClO.

➤ Primer ensayo con concentración de 1 % NaClO

Se muestran los tres resultados del primer ensayo, el cual consistió en una corrida inicial y luego complementadas con dos repeticiones más. Para la elaboración de las gráficas se tomó como base los promedios de las tres corridas experimentales. Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- Volumen: 1L por muestra de tratamiento.
- pH inicial: 11.5
- Concentración Inicial de CN⁻ : 682.2 mg/l
- Dosis (NaClO): 1 %

Tabla 12

Primer ensayo al 1% de NaClO del Tratamiento 3

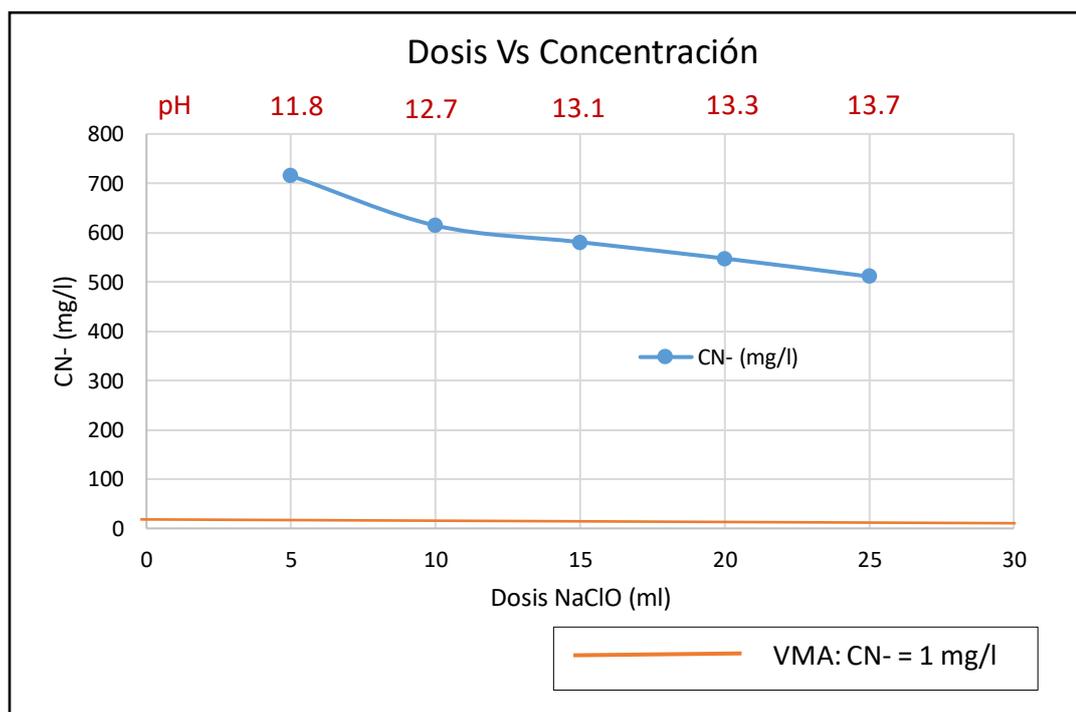
MUESTRA	Dosis de NaClO (ml)				
Tratamientos	5	10	15	20	25
Concentración inicial CN ⁻ libre (mg/l)			682.2		
pH final	11.8	12.7	13.1	13.3	13.7
Concentración final CN ⁻ libre (mg/l)	715.4	614.5	580.9	547.7	510.3

Repeticiones

1	716.2	615.2	581.3	546.8	510.4
2	714.1	613.3	579.8	548.1	511.9
Promedio	715.2	614.3	580.6	547.5	510.9

Figura 9

Tratamiento N°3 Concentración del CN⁻ VS NaClO al 1%



Fuente: Elaboración propia, 2021

De acuerdo a la gráfica en el primer ensayo realizado, se puede apreciar que al trabajar con una concentración del 1 % de NaClO y una concentración inicial de 682.2mg/l de Cianuro, los niveles empiezan a descender hasta alcanzar un valor final de 510.9mg/l con la dosis de 25 ml. Se puede apreciar que los niveles de Cianuro se van reduciendo considerablemente, según se van adicionando las diferentes dosis, sin embargo, con la adición de la última dosis no se logra alcanzar el valor esperado que esté por debajo del Valor Máximo Admisible (VMA) requerido por el sector competente (1.0 mg/l).

➤ **Segundo ensayo con concentración de 2.5 % NaClO**

A continuación, se muestran los tres resultados del segundo ensayo, el cual consistió en una corrida inicial y luego complementadas con dos repeticiones más. Para la elaboración

de las gráficas se tomó como base los promedios de las tres corridas experimentales. Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- Volumen: 1L por muestra de tratamiento.
- pH inicial: 11.5
- Concentración Inicial de CN^- : 682.2 mg/l
- Dosis (NaClO): 2.5 %

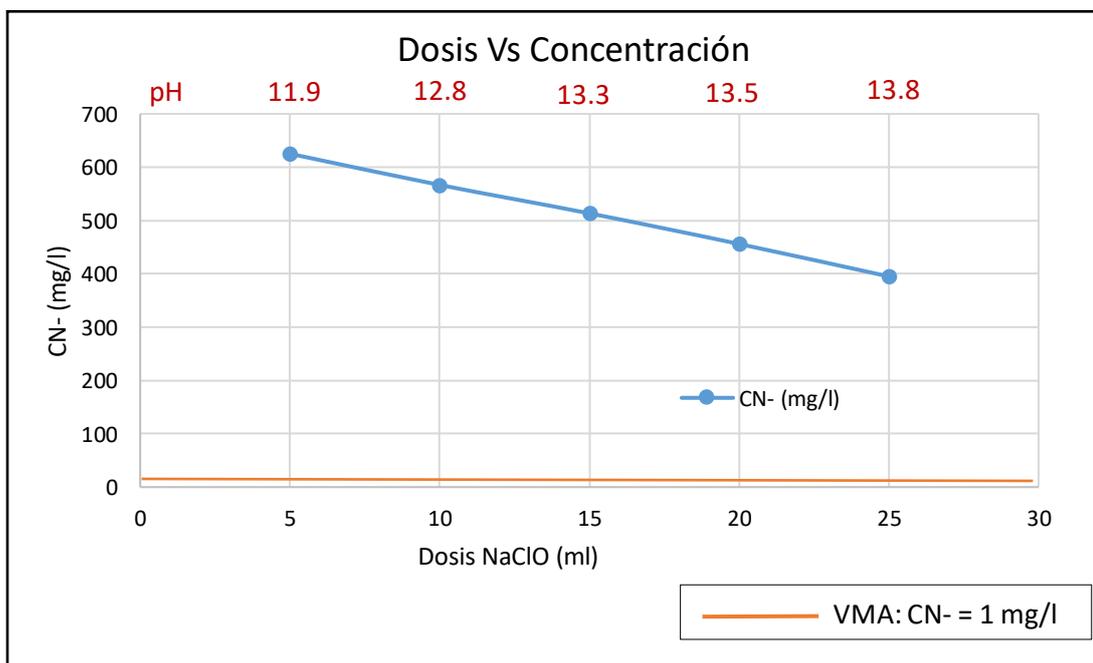
Tabla 13

Segundo ensayo al 2.5% de NaClO del Tratamiento 3

MUESTRA	Dosis de NaClO (ml)				
Tratamientos	5	10	15	20	25
Concentración inicial CN^- libre (mg/l)	682.2				
pH final	11.9	12.8	13.3	13.5	13.8
Concentración final CN^- libre (mg/l)	625.4	567.3	513.5	456.3	395.6
Repeticiones					
1	626.3	566.2	512.3	455.8	394.6
2	624.2	567.1	514.7	456.2	395.1
Promedio	625.3	513.5	513.5	456.1	395.1

Figura 10

Tratamiento N°3 Concentración del CN^- VS NaClO al 2.5%



De acuerdo al segundo ensayo realizado, se puede apreciar que al trabajar con una concentración del 2.5 % de NaClO y una concentración inicial de 682.2 mg/l de Cianuro, los niveles empiezan a descender hasta alcanzar un valor final de 395.1 mg/l con la dosis de 25 ml. Se puede apreciar que los niveles de Cianuro se van reduciendo considerablemente, según se van adicionando las diferentes dosis, sin embargo, con la adición de la última dosis no se logra alcanzar el valor esperado que esté por debajo del Valor Máximo Admisible (VMA) requerido por el sector competente (1.0 mg/l).

Tercer ensayo con concentración de 5.0 % NaClO

Para este tercer ensayo, también se realizó una corrida inicial y luego complementada con dos repeticiones más. Para la elaboración de las gráficas se tomó como base los promedios de las tres corridas experimentales. Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- Volumen: 1L por muestra de tratamiento.
- pH inicial: 11.5
- Concentración Inicial de CN⁻: 682.2 mg/l
- Dosis (NaClO): 5 %

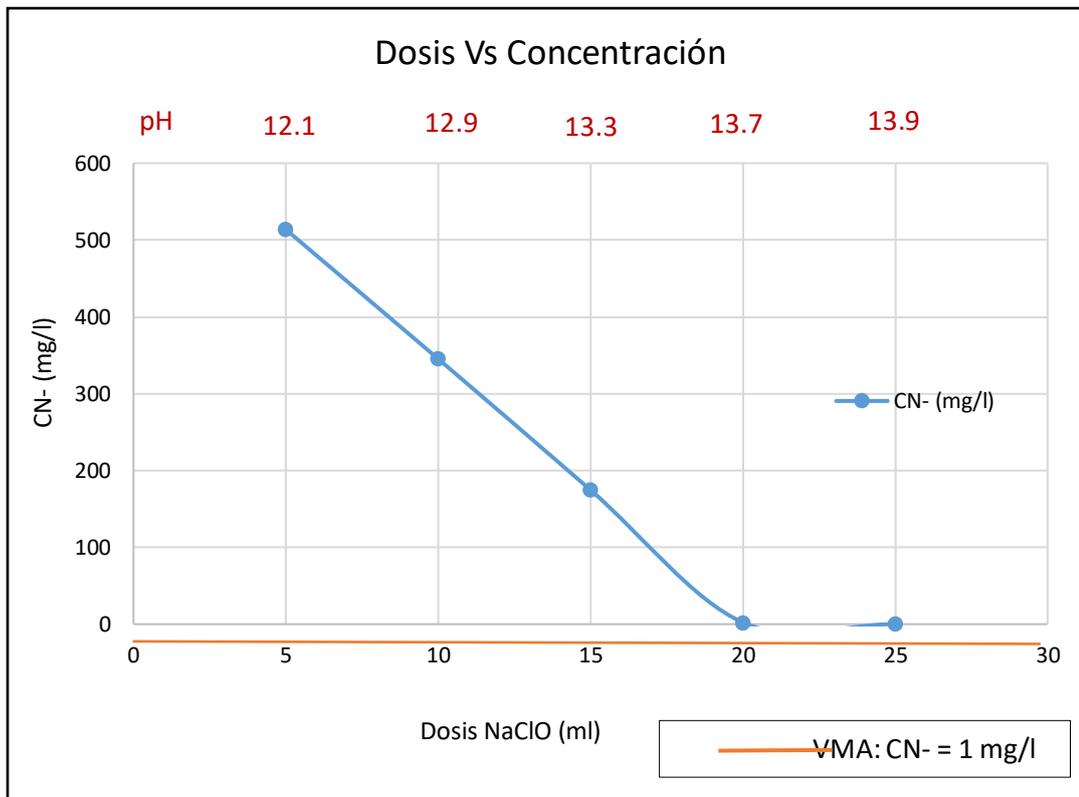
Tabla 14

Tercer ensayo al 5% de NaClO del Tratamiento 3

MUESTRA	Dosis de NaClO (ml)				
Tratamientos	5	10	15	20	25
Concentración inicial CN ⁻ libre (mg/l)			682.2		
pH final	12.1	12.9	13.3	13.7	13.9
Concentración final CN ⁻ libre (mg/l)	513.4	345.4	174.5	2.3	0.00
Repeticiones					
1	513.2	346.5	175.3	2.1	0.00
2	514.6	344.1	174.3	2.2	0.00
Promedio	513.7	345.3	174.7	2.2	0.00

Figura 11

Tratamiento N°3 Concentración del CN⁻ VS NaClO al 5%



De acuerdo al primer ensayo realizado, se puede apreciar que al trabajar con una concentración del 5 % de NaClO y una concentración inicial de 682.2 mg/l de Cianuro, los niveles empiezan a descender hasta alcanzar un valor final de 0.0 mg/l con una dosis de 25 ml. Sin embargo, puede apreciarse que los niveles de Cianuro para esta última dosis alcanzan el Valor Máximo Admisible (VMA) requerido por el sector competente (1.0 mg/l). Asimismo, cabe indicar que la dosis óptima para este ensayo sería de 25 ml, ya que las demás dosis superan los Valores Máximos Admisibles.

4.3. Determinación final de la concentración de cianuro

De acuerdo al tercer objetivo propuesto se determinaron las concentraciones finales de Cianuro para cada tratamiento y ensayos correspondientes de tal modo que:

4.3.1. Primer tratamiento:

Ensayo 1: En la Tabla 15, se muestran los resultados obtenidos del primer ensayo, el cual presentó una concentración inicial de 538.3 mg/l y concentraciones finales promedio

de 503.5, 470.3, 435.7, 402.7 y 368.4 mg/l de acuerdo a cada dosis utilizada de NaClO a una concentración de 1 %.

Tabla 15

Concentración final de CN⁻ en tratamiento 1 – ensayo 1

VARIABLES		MUESTRAS				
Concentración inicial CN ⁻ libre (mg/l)		538.3				
Dosis de NaClO (ml)	5	10	15	20	25	
pH	10.8	11.2	11.9	12.1	12.5	
Concentración final de CN ⁻ (mg/l)	503.5	470.3	435.7	402.7	368.4	

Ensayo 2: En la Tabla 16, se muestran los resultados obtenidos del segundo ensayo, el cual presentó una concentración inicial de 538.3 mg/l y concentraciones finales promedio de 482.2, 425.3, 367.7, 312.4 y 255.6 mg/l de acuerdo a cada dosis utilizada de NaClO (2.5%).

Tabla 16

Concentración final de CN⁻ en tratamiento 1 – ensayo 2

VARIABLES		MUESTRAS				
Concentración inicial CN ⁻ libre (mg/l)		538.3				
Dosis de NaClO (ml)	5	10	15	20	25	
pH	10.9	11.3	11.9	12.3	12.7	
Concentración final de CN ⁻ (mg/l)	482.2	425.3	367.7	312.4	255.6	

Ensayo 3: En la Tabla 17, se muestran los resultados obtenidos del segundo ensayo, el cual presentó una concentración inicial de 538.3 mg/l y concentraciones finales promedio de 368.4, 197.1, 58.3, 5.1 y 0.04 mg/l de acuerdo a cada dosis utilizada de NaClO (5%).

Tabla 17*Concentración final de CN⁻ en tratamiento 1 – ensayo 3*

VARIABLES		MUESTRAS				
Concentración inicial CN ⁻ libre (mg/l)		538.3				
Dosis de NaClO (ml)	5	10	15	20	25	
pH	11.0	11.1	11.5	12.4	12.6	
Concentración final de CN ⁻ (mg/l)	368.4	197.1	58.3	5.1	0.04	

4.3.2. Segundo tratamiento:

Ensayo 1: En la Tabla 18, se muestran los resultados obtenidos del primer ensayo, el cual presentó una concentración inicial de 851.5 mg/l y concentraciones finales promedio de 820.2, 784.4, 747.1, 717.6 y 682.5 mg/l de acuerdo a cada dosis utilizada de NaClO (1%).

Tabla 18*Concentración final de CN⁻ en tratamiento 2 – ensayo 1*

VARIABLES		MUESTRAS				
Concentración inicial CN ⁻ libre (mg/l)		851.5				
Dosis de NaClO (ml)	5	10	15	20	25	
pH	11.5	12.2	12.7	13.2	13.5	
Concentración final de CN ⁻ (mg/l)	820.2	784.4	747.1	717.6	682.5	

Ensayo 2: En la Tabla 19, se muestran los resultados obtenidos del segundo ensayo, el cual presentó una concentración inicial de 851.5 mg/l y concentraciones finales promedio de 793.3, 737.0, 682.4, 623.7 y 568.4 mg/l de acuerdo a cada dosis utilizada de NaClO (2.5%).

Tabla 19*Concentración final de CN⁻ en tratamiento 2 – ensayo 2*

VARIABLES		MUESTRAS				
-----------	--	----------	--	--	--	--

Concentración inicial CN ⁻ libre (mg/l)	851.5				
Dosis de NaClO (ml)	5	10	15	20	25
pH	11.6	12.3	12.9	13.4	13.7
Concentración final de CN ⁻ (mg/l)	793.3	737.0	682.4	623.7	568.4

Ensayo 3: En la Tabla 20, se muestran los resultados obtenidos del segundo ensayo, el cual presentó una concentración inicial de 851.5 mg/l y concentraciones finales promedio de 682.5, 511.7, 342.1, 171.4 y 0.01 mg/l de acuerdo a cada dosis utilizada de NaClO (5%).

Tabla 20

Concentración final de CN⁻ en tratamiento 2 – ensayo 3

VARIABLES	MUESTRAS				
Concentración inicial CN ⁻ libre (mg/l)	851.5				
Dosis de NaClO (ml)	5	10	15	20	25
pH	11.6	12.5	12.9	13.6	13.8
Concentración final de CN ⁻ (mg/l)	682.5	511.7	342.1	171.4	0.01

4.3.3. Tercer tratamiento:

Ensayo 1: En la Tabla 21, se muestran los resultados obtenidos del primer ensayo, el cual presentó una concentración inicial de 682.2 mg/l y concentraciones finales promedio de 715.2, 614.3, 580.6, 547.5 y 510.9 mg/l de acuerdo a cada dosis utilizada de NaClO (1%).

Tabla 21

Concentración final de CN⁻ en tratamiento 3 – ensayo 1

VARIABLES	MUESTRAS				
Concentración inicial CN ⁻ libre (mg/l)	682.2				
Dosis de NaClO (ml)	5	10	15	20	25
pH	11.8	12.7	13.1	13.3	13.7
Concentración final de CN ⁻ (mg/l)	715.2	614.3	580.6	547.5	510.9

Ensayo 2: En la Tabla 22, se muestran los resultados obtenidos del segundo ensayo, el cual presentó una concentración inicial de 682.2 mg/l y concentraciones finales promedio de 625.3, 566.8, 513.5, 456.1 y 395.1 mg/l de acuerdo a cada dosis utilizada de NaClO (2.5%).

Tabla 22

Concentración final de CN⁻ en tratamiento 3 – ensayo 2

VARIABLES		MUESTRAS				
Concentración inicial CN ⁻ libre (mg/l)		682.2				
Dosis de NaClO (ml)	5	10	15	20	25	
pH	11.9	12.8	13.3	13.5	13.8	
Concentración final de CN ⁻ (mg/l)	625.3	566.8	513.5	456.1	395.1	

Ensayo 3: En la Tabla 23, se muestran los resultados obtenidos del segundo ensayo, el cual presentó una concentración inicial de 682.2 mg/l y concentraciones finales promedio de 513.7, 345.3, 174.7, 2.2 y 0.00 mg/l de acuerdo a cada dosis utilizada de NaClO (5%).

Tabla 23

Concentración final de CN⁻ en tratamiento 3 – ensayo 3

VARIABLES		MUESTRAS				
Concentración inicial CN ⁻ libre (mg/l)		682.2				
Dosis de NaClO (ml)	5	10	15	20	25	
pH	12.1	12.9	13.3	13.7	13.9	
Concentración final de CN ⁻ (mg/l)	513.7	345.3	174.7	2.2	0.00	

V. DISCUSION DE RESULTADOS

De acuerdo con Auquilla y Damián (2019, p.1), menciona que es necesario que el agua residual con cianuro se encuentre en condiciones de pH con valor de 10 a más (estado alcalino), puesto que evita la formación de ácido cianhídrico, de tal modo que en su estudio el pH optimo utilizado fue de 12.7 siendo este reducido durante el procedimiento hasta valores de 5 y 6 (estado neutro), Sin embargo, en nuestro estudio el pH inicial de trabajo fue de valores de 10.7, 11.1 y 11.5 de cada monitoreo y que a medida que se realizaban las experimentaciones a diferentes dosis de NaClO fueron aumentando a valores entre 12 y 13.5. Dichas afirmaciones son corroboradas por Hernández (2019, p.2) quien menciona que trabajar con valores de pH altos evita la formación de soluciones altamente nocivas para la salud y el ambiente.

Calderón (2014, p.2), en su experimentación donde encontró que su concentración inicial de cianuro fue de 4971 mg/L utilizo concentraciones de hipoclorito de sodio de 30 a 60 gr/l con lo cual obtuvo una concentración final de cianuro de 0.0611 y 0.1645, por el contrario, en nuestro estudio con una concentración máxima de 682.2 mg/l de cianuro y utilizando tan solo 25 ml de NaClO se logró obtener una reducción del contaminante hasta 0.01. Cabe agregar que Calderón en su estudio de consideraron el tiempo de experimentación siendo entre 4 a 7 horas, lo cual no podríamos corroborar ya que en nuestro estudio no se consideró el factor tiempo.

Dichas afirmaciones son refutadas por Capatinta y Cardenas (2020, p.2) quienes manifiestan que para el tratamiento de las aguas cianuradas con hipoclorito de sodio se requiere de 12.5 kg de un mínimo de NaClO aproximadamente a un tiempo de 40 minutos para lograr alcanzar la reducción del contaminante hasta 0.2 ppm. Sin embargo, el autor no recomienda el uso de NaClO como único insumo ya que este tiene un elevado costo además de generar residuos contaminantes, es por ello que afirma se realice una mezcla de NaClO con H₂O₂ resultando ser más factible.

Por otro lado, Fárez et al., (2011, p.1), en su investigación utiliza como solución base para la reducción de cianuro al peróxido de hidrogeno en el cual concluye que a mayor cantidad de solución agregada se obtienen mejores resultados, tal como evidenciamos en el presente estudio en el cual se denota que a mayor dosis mayor reducción de concentración del contaminante.

VI. CONCLUSIONES

- ✓ En un primer análisis de caracterización fisicoquímica de las aguas cianuradas descargadas del proceso de galvanizado, se obtuvieron valores promedios altos de concentración del cianuro (690.6 mg/l) el cual superaba los Valores Máximos Admisibles (1.0).
- ✓ Con valores iniciales de concentración CN 538.3 mg/l y pH de 12.6 se logró disminuir el contaminante hasta 0.04 mg/l trabajando con una dosis de 25 ml de NaClO al 5%.
- ✓ Con valores iniciales de concentración CN 851.5 mg/l y pH de 13.8 se logró disminuir el contaminante hasta 0.01 mg/l trabajando con una dosis de 25 ml de NaClO al 5%.
- ✓ Con valores iniciales de concentración CN 682.2 mg/l y pH de 13.9 se logró disminuir el contaminante hasta 0.00 mg/l trabajando con una dosis de 25 ml de NaClO al 5%.
- ✓ El mejor resultado de disminución del cianuro se obtuvo trabajando con una dosis de 25 ml NaClO al 5% obteniendo resultados finales de 0.00 mg/l de cianuro.
- ✓ Por otro lado, de acuerdo al proceso de experimentación y los resultados obtenidos se puede definir que a medida que aumenta la dosificación de hipoclorito de sodio en 5, 10, 15, 20 y 25 ml de NaClO en los tratamientos se obtienen mejores resultados en la disminución de hasta 0.00 mg/l del contaminante cianuro permitiendo que este dentro de los Valores Máximos Admisibles.
- ✓ Cabe agregar, que todos los tratamientos fueron realizados con valores de pH altos (10 – 12), es por ello que una vez concluido el tratamiento no se debe verter el efluente al alcantarillado hasta realizar un post tratamiento de neutralización.

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar los procedimientos experimentales con valores de pH de 10 a 13 (estado alcalino), así mismo considerar dosis de NaClO a partir de una solución base de 25 ml al 5%.
- Otro aspecto importante a tener en cuenta es considerar tomar el tiempo de retención es decir el tiempo en el cual el insumo base reacciona con el contaminante de tal modo obtener una nueva variable de estudio.
- Durante el procedimiento de experimentación se recomienda operar con debidas precauciones ya que existe una elevada toxicidad de reactivos principalmente de cianuro y su formación de ácido cianhídrico.
- Para mejorar el modelo aplicado se recomienda ampliar el estudio tanto en rangos de experimentación como en número de repeticiones.
- Se recomienda usar el método desarrollado en el tratamiento de efluentes cianurados con una neutralización previa antes de su vertimiento.

VIII. REFERENCIAS

- Alan, D. y Cortez, L. (2017). *Procesos y fundamentos de la investigación científica*. Universidad Técnica de Machala. Ecuador.
- Aquilla L. y Damián, C. (2019). *Reducción de cianuro de agua residual proveniente de una empresa metalúrgica por tratamiento oxidativo con peróxido de hidrógeno*. [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca, Ecuador]. Recuperado en:
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/33590/1/Trabajo%20de%20titulaci%c3%b3n.pdf>
- Cahuana, E. (2017). *Manejo ambiental de efluentes del proceso de cianuración de oro en la planta de beneficio de la Corporación Minera Ananea S.A.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano, Puno]. Recuperado de:
http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4191/Cahuana_Hancco_Edwin_Jacinto.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Calderón, J. (2014). Efecto del hipoclorito de sodio y sulfuro de sodio en el tratamiento de los efluentes metalúrgicos cianurados. *Theorema, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú*, 1(1), 155 – 159.
- Capatinta y Cardenas (2020). *Análisis de los métodos de degradación de cianuro en los relaves generados por las mineras auríferas*. Universidad Católica San Pablo, Arequipa, Perú. Recuperado de:
https://repositorio.ucsp.edu.pe/bitstream/20.500.12590/16370/1/CAPATINTA_HACHIRE_FIO_CIA.pdf
- Celso, P. (2020). *Efectos del pH y concentración de iones cobre en la degradación del cianuro por ozonización*. Tesis de postgrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú. Recuperado de:
https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/8872/Purihuam%20C3%A1n_Leonardo_Celso_Nazario.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Chávez, A., Cristancho, D. y Ospina, E. (2009). Una alternativa limpia para el tratamiento de aguas residuales galvánicas: Revisión bibliográfica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(14): 39-50.
- Chumbes, M. y Ari, J. (2019). *Degradación fotocatalítica de cianuro en efluentes de empresas mineras auríferas y argentíferas*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú. Recuperado en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/9420/IQchyuma%26aracjl.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Correa, H. y Neyra, P. (2019). *Cinética de oxidación del cianuro libre en agua por aplicación de ozono*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada Antonio Guillermo Urrego, Cajamarca, Perú]. Recuperado de: <http://repositorio.upagu.edu.pe/bitstream/handle/UPAGU/967/CIN%C3%89TICA%20DE%20OXIDACION%20DEL%20CIANURO%20LIBRE%20EN%20AGUA%20POR%20APLICACION%20DE%20OZONO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Estrada, C., Galeano, N. y Restrepo, G. (2019). Evaluation of cyanide and heavy metals removal in liquid effluents from small mining's gold benefit, by adsorption with activated carbon and hydrogen peroxide in Segovia, Antioquia. *Dyna, Universidad Nacional de Colombia*. 87(212), 9-17. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v87n212/0012-7353-dyna-87-212-9.pdf>
- Fárez, C., Landi, P. y Parra, A. (2011). *Reducción de la concentración de cianuro con tratamiento de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) en las aguas residuales de la industria del galvanizado*. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana].
- Hernández, J. (2019). *Desarrollo del proceso de degradación de cianuro procedente de la lixiviación de plata a partir de oxidación con ozono-cloruro de sodio*. [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma Metropolitana]. Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/269023053.pdf>

- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. (6ta ed.). McGraw Hill Education. Recuperado de: <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Izquierdo, J. & Verástegui, S. (2017). *Concentración de metales pesados (As, Cd, Cr, Hg y Pb) en el agua de la cuenca baja del Río Jequetepeque, en relación a los estándares de calidad del agua - categoría 3, Cajamarca - 2016*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada Antonio Guillermo Urrego. Cajamarca, Perú].
- Jiménez, Y., et al. (2020). Assessment of technological alternatives for cyanide waste waters management in gold ores processing plant. *Revista Cubana de Química*, 32(2): 218 – 231. Recuperado de: <http://scielo.sld.cu/pdf/ind/v32n2/2224-5421-ind-32-02-218.pdf>
- Joaquín (2019). *Cinética de oxidación del cianuro libre en agua por aplicación de ozono*. Universidad Privada Antenor Orrego, Cajamarca, Perú. Recuperado de: <http://repositorio.upagu.edu.pe/bitstream/handle/UPAGU/967/CIN%C3%89TICA%20DE%20OXIDACION%20DEL%20CIANURO%20LIBRE%20EN%20AGUA%20POR%20APLICACION%20DE%20OZONO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Jurado, M. y Mercado, I. (2017). Revisión sistemática de técnicas no convencionales para la evaluación de la calidad del agua de ríos contaminados con plaguicidas. *Entre ciencia e ingeniería*, 11(21): 56 – 65. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/ecei/v11n21/1909-8367-ecei-11-21-00056.pdf>
- Martínez, P. y Peña, J. (2019). *Propuesta para un sistema de tratamiento de aguas residuales generadas en el proceso del taller de electroquímica perteneciente a la fuerza aérea colombiana Madrid – Cundinamarca*. [Tesis de pregrado, Fundación Universidad de América, Bogotá D.C.]. Recuperado de: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7601/1/6141267-2019-2-IQ.pdf>
- Ocampo, et al. (2020). *Diagnóstico de procesos y caracterización de residuos en la industria de recubrimientos metálicos en el Sur del Valle de Aburra. Casos de estudio: Galvanizado en caliente y cobreado*. Red UNALMED para la

Sostenibilidad Ambiental, Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de: https://idea.medellin.unal.edu.co/images/NOTICIAS/Diagnostico_de_Proceso_y_Caracterizacin_de_Residuos_en_la_Industria_de_Recubrimientos_Metlicos.pdf

Pérez, J., Nardini, A. y Galindo, A. (2017). *Análisis Comparativo de Índices de Calidad del Agua Aplicados al Río Ranchería, La Guajira-Colombia. Información Tecnológica*, 29(3), 47-58. Recuperado el 12 de abril del 2021. Recuperado en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000300047>

Pomalaza, O. (2016). *Remoción de cianuro de efluentes Minero-Metalúrgicos por oxidación química con el ácido de caro*. [Tesis de post grado, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo]. Recuperado de: <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/4582/Pomalaza%20R.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sánchez, H., Reyes, C. y Mejía, K. (2018). *Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística*. (1era ed.). Universidad Ricardo Palma – Vicerrectorado de investigación. Lima, Perú. Recuperado de: <https://www.urp.edu.pe/pdf/id/13350/n/libro-manual-de-terminos-en-investigacion.pdf>

Zapata, E. y Bermúdez, Y. (2020). *Estado del arte de la biodegradación de cianuro en aguas residuales industriales*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Colombia. Recuperado de: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/28192/52845368.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Zhang, W., et al. (2020). Enhanced heavy metal removal from an aqueous environment using an eco-friendly and sustainable adsorbent. *Scientific Reports*, 10(16): 1-19. Recuperado de: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-73570-7.pdf>

IX. ANEXOS

Anexo A:

FOTOGRAFÍAS DE LABORATORIO



