



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Remoción de cianuro mediante procesos de oxidación en  
muestras de agua contaminada a nivel laboratorio**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AMBIENTAL

**AUTORES:**

Cairo Romero, Arturo Crisanto (ORCID: 0000-0002-0237-938X)

García Alatrística, Ana Michele (ORCID: 0000-0002-6733-625X)

**ASESOR:**

Mgtr. Reyna Mandujano, Samuel Carlos (ORCID: 0000-0002-0750-2877)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Tratamiento y Gestión de Residuos

LIMA – PERÚ

2021

## **DEDICATORIA**

*El presente trabajo es dedicado a nuestros padres, quienes nos guiaron en el camino de la vida con valores, principios y amor abnegado.*

## **AGRADECIMIENTO**

*A todas aquellas personas que lograron con sus consejos y palabras motivarnos a siempre completar nuestros objetivos en esta vida. A los docentes que nos brindaron los conocimientos y sapiencias necesarias para desarrollar la presente investigación.*

*A la Universidad por darnos la oportunidad de culminar esta etapa de estudios.*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula	
Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas .....	v
Índice de figuras .....	vi
Lista de abreviaturas .....	vii
Resumen .....	viii
Abstract .....	ix
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	7
III. METODOLOGÍA .....	32
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	32
3.2. Variables y operacionalización .....	32
3.2.1. Variable independiente .....	32
3.2.2. Variable dependiente.....	32
3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis .....	33
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	34
3.5. Procedimientos.....	34
3.6. Método de análisis de datos .....	37
3.7. Aspectos éticos .....	37
IV. RESULTADOS .....	39
V. DISCUSIÓN .....	69
VI. CONCLUSIONES .....	72
VII. RECOMENDACIONES.....	74
REFERENCIAS .....	75
ANEXOS .....	63

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Clasificación del cianuro de acuerdo con su estabilidad</i> .....	25
Tabla 2. <i>Comparación de métodos de oxidación</i> .....	27
Tabla 3. <i>LMP y ECA para el Cianuro</i> .....	30
Tabla 4. <i>Indicador y unidades de variable independiente</i> .....	32
Tabla 5. <i>Indicador y unidades de variable dependiente</i> .....	33
Tabla 6. <i>Características del tratamiento</i> .....	35
Tabla 7. <i>Caracterización del efluente sintético cianurado</i> .....	39
Tabla 8. <i>Tratamiento 1 concentración 100 de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, tiempo 15´</i> .....	40
Tabla 9. <i>Tratamiento 2 concentración 130 de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, tiempo 15´</i> .....	41
Tabla 10. <i>Tratamiento 3 concentración 150 de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, tiempo 15´</i> .....	42
Tabla 11. <i>Tratamiento 4 concentración 170 de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, tiempo 15´</i> .....	43
Tabla 12. <i>Tratamiento 5 concentración 200 de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, tiempo 15´</i> .....	45
Tabla 13. <i>Tratamiento 6 concentración 100 de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, tiempo 30´</i> .....	46
Tabla 14. <i>Tratamiento 7 concentración 130 de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, tiempo 30´</i> .....	47
Tabla 15. <i>Tratamiento 8 concentración 150 de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, tiempo 30´</i> .....	49
Tabla 16. <i>Tratamiento 9 concentración 170 de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, tiempo 30´</i> .....	50
Tabla 17. <i>Tratamiento 10 concentración 200 de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, tiempo 30´</i> .....	52
Tabla 18. <i>Resumen de tratamientos por tiempo</i> .....	53
Tabla 19. <i>Eficiencia en la remoción por tiempo de tratamiento</i> .....	56
Tabla 20. <i>Resultados y comparación con LMP en 15 minutos</i> .....	56
Tabla 21. <i>Resultados que cumplen con el LMP a 15´</i> .....	57
Tabla 22. <i>Resultados y comparación con LMP en 30 minutos</i> .....	58
Tabla 23. <i>Resultados que cumplen con el LMP a 30´</i> .....	59
Tabla 24. <i>Prueba ANOVA de un factor para dosis H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en 15 min</i> .....	62
Tabla 25. <i>Prueba TUKEY para identificar dosis de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en 15 min</i> .....	63
Tabla 21. <i>Prueba ANOVA de un factor NaClO en 15 min</i> .....	63
Tabla 22. <i>Prueba ANOVA de un factor para dosis H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en 30 min</i> .....	64
Tabla 23. <i>Prueba TUKEY para identificar dosis de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en 30 min</i> .....	65
Tabla 24. <i>Prueba ANOVA de un factor NaClO en 30 min</i> .....	66
Tabla 25. <i>Prueba ANOVA de un factor para concentración final de cianuro</i> .....	67
Tabla 26. <i>Prueba TUKEY para identificar dosis de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en 30 min</i> .....	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Curva de potencial de oxidación reducción.....	28
<i>Figura 2.</i> Curva de potencial Redox de destrucción de cianuro.....	29
<i>Figura 3.</i> Diagrama del procedimiento.....	36
<i>Figura 4.</i> Tratamiento 1 concentración 100 de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , tiempo 15´.....	40
<i>Figura 5.</i> Tratamiento 2 concentración 130 de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , tiempo 15´.....	41
<i>Figura 6.</i> Tratamiento 3 concentración 150 de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , tiempo 15´´.....	43
<i>Figura 7.</i> Tratamiento 4 concentración 170 de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , tiempo 15´.....	44
<i>Figura 8.</i> Tratamiento 5 concentración 200 de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , tiempo 15´.....	45
<i>Figura 9.</i> Tratamiento 6 concentración 100 de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , tiempo 30´.....	47
<i>Figura 10.</i> Tratamiento 7 concentración 130 de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , tiempo 30´.....	48
<i>Figura 11.</i> Tratamiento 8 concentración 150 de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , tiempo 30´.....	49
<i>Figura 12.</i> Tratamiento 9 concentración 170 de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , tiempo 30´.....	51
<i>Figura 13.</i> Tratamiento 10 concentración 200 de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , tiempo 30´.....	52
<i>Figura 14.</i> Comparación de resultados con diferentes dosis en 15´.....	54
<i>Figura 15.</i> Comparación de resultados con diferentes dosis en 30´.....	55
<i>Figura 16.</i> Comparación de resultados con diferentes dosis el 15´.....	57
<i>Figura 17.</i> Remoción de cianuro dentro del LMP en muestras a 15´.....	58
<i>Figura 18.</i> Comparación de resultados con diferentes dosis el 30´.....	59
<i>Figura 19.</i> Remoción de cianuro dentro del LMP en muestras a 30´.....	59
<i>Figura 20.</i> Tratamiento de cianuro con dosis de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	60
<i>Figura 21.</i> Tratamiento de cianuro con dosis de NaClO.....	61

## LISTA DE ABREVIATURAS

H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	: Peróxido de hidrógeno
NaClO	: Hipoclorito de Sodio
H <sub>2</sub> O	: Agua
CN <sup>-</sup>	: Cianuro
CNL	: Cianuro Libre
O <sub>3</sub>	: Ozono
H <sub>2</sub> SO <sub>5</sub>	: Ácido de caro
CuSO <sub>4</sub>	: Sulfato de cobre
pH	: Potencial de Hidrógeno
LMP	: Límites Máximos Permisibles
ECA	: Estándar de Calidad Ambiental
gr/L	: Gramos por Litro
mg/L	: Miligramos por Litro
RPM	: Revoluciones Por Minuto
PPM	: Partes Por Millón
Min	: Minutos
Kg	: Kilogramos
ORP	: Potencial de Oxidación Reducción
PTAR	: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

## RESUMEN

La presente Tesis tuvo como principal objetivo remover la concentración de cianuro mediante procesos de oxidación utilizando como oxidante el hipoclorito de sodio y peróxido de hidrógeno en el tratamiento de muestras contaminadas a nivel de laboratorio, así mismo determinar las dosis óptimas de remoción teniendo en cuenta dos tiempos de contacto, de 15 y 30 minutos respectivamente.

La evaluación de dosificación del oxidante peróxido de hidrógeno estuvo evaluada con una concentración de patrón de 70 gr/L y en margen de dosis de 100, 130, 150, 170 y 200 mg/L, mientras que para el oxidante hipoclorito de sodio la concentración patrón fue de 100 gr/L en margen de las dosis de 20, 30, 40, 50 y 70 mg/L.

Finalmente se obtuvo que la aplicación del método de oxidación avanzada resulta ser altamente eficiente para la reducción de cianuro contenido en efluentes, siendo el mejor porcentaje de remoción encontrado de 99.97% con una dosis de  $H_2O_2$  de 200 mg/L y 70 mg/L de NaClO, en un tiempo de contacto de 30 minutos. Así mismo se demostró que el compuesto peróxido de hidrógeno tiene un efecto significativamente alto en la remoción de cianuro, mientras que el oxidante hipoclorito de sodio no tiene efecto significativo en la remoción de cianuro. Cabe agregar que para el desarrollo de la investigación se tomó como valor permitido para el compuesto cianuro el Límite del Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM.

**Palabras claves:** Remoción, cianuro, proceso de oxidación, hipoclorito de sodio, peróxido de hidrógeno.

## **ABSTRACT**

The main objective of this research work was to remove cyanide concentrations through oxidation processes using as oxidant with calcium hypochlorite and hydrogen peroxide in the treatment of contaminated samples at the laboratory level, as well as to determine the optimal removal doses taking into account counts two contact times of 15 and 30 minutes respectively.

The dosage evaluation of hydrogen peroxide was evaluated with a standard concentration of 70 gr/L and in a dose range of 100, 130, 150, 170 and 200 mg/L, while for the hypochlorite oxidant the standard concentration was 100 gr/L in the range of 20, 30, 40, 50 and 70 mg/L doses.

Finally, it was obtained that the application of the advanced oxidation method turns out to be highly efficient for the reduction of cyanide contained in effluents, with the best-found removal percentage being 99.97% with a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dose of 200 mg/L and 70 mg/L of Cl, in a contact time of 30 minutes. It was also demonstrated that the hydrogen peroxide compound has a significantly high effect on cyanide removal, while the oxidizing calcium hypochlorite has no significant effect on cyanide removal. It should be added that for the development of the research, the limit that was taken as the allowed value for the cyanide compound was the Supreme Decree N° 010-2010-MINAM.

**Keywords:** Removal, cyanide, oxidation process, calcium hypochlorite, hydrogen peroxide

## I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la calidad de aguas residuales se ha vuelto un problema grave para la salud humana y el ambiente, uno de estos residuos es el cianuro, que es una sustancia tóxica que se encuentra en los vertimientos industriales generados por diferentes procesos en distintas industrias, este compuesto es tóxico tanto para los seres vivos como para la naturaleza (Sjahrul, 2016, p 97).

La minería es una de las industrias que a lo largo del desarrollo de sus actividades y procesos ha requerido de grandes cantidades de cianuro para su desarrollo, siendo una de ellas la recuperación de metales oro y plata (Habashi, 2016), del mismo modo dicho compuesto es empleado en diferentes industrias (fertilizantes, metalúrgica, plástico, farmacéuticas, colorantes, galvanoplastia, etc.) además de encontrarse de forma natural en el ambiente. Dentro del proceso de extracción de oro, la principal técnica empleada de forma eficiente, barata y simple viene a ser la lixiviación con cianuro (Cornejo, 2016, p. 13). Actualmente, la industria en el mercado y especialmente el desarrollo de la minería, el cianuro sigue siendo utilizado debido a que no se cuentan con otras alternativas que no sean al mismo tiempo comercialmente viables y sanas para el ambiente (Anculle, 2015, p. 5), no obstante es necesario tener en cuenta que a pesar de sus propiedades benéficas, el cianuro como compuesto genera una serie de problemas tanto en los seres vivos como ecosistemas y medio en general, significando un peligro y riesgo en los recursos naturales y vida humana, debido a su potencial tóxico de inhibidor del metabolismo celular, es por tal razón que dichos efluentes que contienen este compuesto no deberían ser expulsados al medio sin un previo tratamiento. Se recomienda, por reglamentación ambiental internacional (EPA, OMS, OPS, etc.), disminuir el nivel de cianuros en los efluentes mineros a 1 mg/l de cianuro total, valor muy cercano a la norma para el agua potable que es de 0,2 a 0,5 mg/l (Cahuana, 2016, p. 14).

En América Latina, en países como Colombia, Chile, Ecuador, entre otros, cada vez se da mayor importancia al tratamiento de efluentes por el uso de cianuro en los procesos industriales. Si bien es cierto, para la extracción de oro era común que se utilice mercurio y cianuro; fue el Ministerio de Ambiente en varios países que prohibió el uso de mercurio, un claro ejemplo de esto es Colombia creando la ley

1658 en el año 2013 indicando la prohibición del uso de mercurio en la extracción del oro, dando una prórroga hasta el 2018 para eliminar completamente el uso de este metal (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible-MADS, 2018). En cuanto al uso del cianuro de sodio, hasta la fecha no tenemos ninguna restricción para su uso como insumo dentro de los procesos de minería del oro, pero se tiene que considerar que este compuesto se debe degradar antes de ser descargado, debido a que, durante el proceso de cianuración, las soluciones residuales se cargan de los metales (plomo, hierro, cobre, zinc entre otros) que están presentes en el mineral ya que son disueltos por el cianuro durante el proceso (Estrada, 2020, p. 6).

En el Perú, existe una parte de la minería aurífera que no es formal, lo que genera que el problema de la contaminación por cianuro, mercurio y otros desechos tóxicos sea aún más agudo, debido al poco control con respecto al cumplimiento de las normas que regulan sus usos y emisiones al ambiente, contaminando indiscriminadamente aire, agua y suelos. (Ascuña, 2018, p. 3).

La minería ilegal, artesanal y de pequeña escala representan una gran fuente de contaminación a medida que realizan sus actividades extractivas. No solamente por la “transformación” que pueden sufrir muchos paisajes debido a esta actividad, sino también en los efluentes con altas dosis de mercurio o cianuro que generan a su paso.

Según la OMS, en su Documento técnico N°1: Riesgos para la salud relacionado con el trabajo y medio ambiente asociados a la extracción de oro artesanal o a pequeña escala (2017), menciona que las mineras artesanales y pequeña escala (MAPE) es asociada a muchos problemas de salud ocupacional y medioambientales debido al excesivo uso de mercurio y cianuro para los procesos de extracción y al poco cuidado que tienen al momento de disponerlos.

Un ejemplo de esto es la minería ilegal en la zona de la Pampa en la región de Madre de Dios, donde el derecho penal no ejerce todo su poder, como consecuencia de esto las personas que se dedican a este tipo de actividades de manera informal o ilegal no desarrollan buenas prácticas ambientales dentro de sus

procesos, ya que tienen un uso equivocado de sus insumos químicos, mercurio y cianuro (Muñoz A., 2019).

Así mismo, De La Mata M. (2016) menciona que la realidad problemática de la región de Madre de Dios se debe a que la minería informal principalmente de oro, dejó una grave marca en el ambiente devastando cerca de 50 mil hectáreas de bosques, afectando a su paso lagunas, pantanos y afectando el hábitat de innumerables especies. Considerando que, al ser una actividad aurífera, para la extracción y concentración de oro se usan procesos que generan residuos con alto contenido de cianuro.

Si bien es un reto difícil el sensibilizar a este grupo de personas que se dedican a la minería ilegal, artesanal y de pequeña escala en tomar las vías de la formalización, existen diversos factores como es las influencias políticas, temas tributarios, permisos legales y autorizaciones ambientales, que terminan por desanimarlos y optan por continuar con sus métodos tradicionales generando riesgos para la salud y el cuidado ambiental.

En la búsqueda de alternativas tecnológicas que ayuden a la degradación del cianuro evitando la generación de productos tóxicos y a su vez que no represente un impacto para el ambiente, se viene impulsando las investigaciones para sustituir los métodos convencionales ya que estos son costosos y corrosivos, además generan desechos que en algunas ocasiones son más contaminantes que los iniciales, lo que incrementa los costos de operación del proceso (Cornejo, 2016, p 14).

Es por ese motivo, que al presentar una alternativa de remoción de efluentes cianurados que no exigen mucha infraestructura y que los insumos químicos no demanden una costosa inversión, podemos brindar una oportunidad para mejorar el tratamiento de sus efluentes y contribuir en el cuidado del planeta.

Con el presente estudio, se requiere determinar en qué medida la aplicación de una metodología de oxidación, puede conllevar a la reducción o eliminación de las concentraciones de cianuro en muestras elaboradas a nivel laboratorio, así mismo cuál es la dosis requerida del oxidante para lograr dicho fin.

Según (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014) el problema de investigación debe expresar la relación entre 2 o más variables y debe ser formulado como pregunta. Entonces nos preguntamos: ¿En qué medida el proceso de oxidación con peróxido de hidrógeno e hipoclorito de sodio influye en la remoción de la concentración de cianuro en muestras contaminadas a nivel laboratorio? Así mismo, ¿Cuál es la dosis óptima del peróxido de hidrógeno e hipoclorito de sodio en la remoción de cianuro para un tiempo de 15 minutos en muestras acondicionadas a nivel laboratorio? ¿Cuál es la dosis óptima del oxidante peróxido de hidrógeno e hipoclorito de sodio en la remoción de cianuro para un tiempo de 30 minutos en muestras acondicionadas a nivel laboratorio? ¿Cuál es la concentración final de las muestras acondicionadas con cianuro después del proceso de oxidación?

El presente estudio se justifica de manera social y ambiental, en función a la protección de la salud pública y ecosistemas vulnerables ya que, al ser impactados por el compuesto cianuro, la exposición al ser humano, ya sea en periodos breves o permanentes, puede producir daños en el organismo principalmente en el cerebro, ocasionando hasta la muerte, del mismo modo para los ecosistemas en contacto, produce la reducción de la capacidad de supervivencia y reproducción de especies.

Las interacciones entre los metales y sus efectos tóxicos pueden complicar las enfermedades, debido a que los metales pesados difícilmente podrían ser biodegradados o destruidos, por lo que, se bioacumulan y posteriormente se llega a la biomagnificación, inclusive algunos forman complejos solubles y son transportados y distribuidos en los ecosistemas hasta incorporarse en la cadena trófica (suelo, agua, plantas, etc.), primordialmente aquellos procedentes de áreas contaminadas. (Londoño et al., 2016).

En cuanto a la justificación metodológica y teórica, mediante la aplicación del método de oxidación, se contribuye a reducir y/o eliminar dicho compuesto presente en los efluentes. Según las investigaciones revisadas: Bes, Silva y Bengoa, 2019; Kamrani, 2019; Barrientos, 2018; Ganji, 2018; entre otros, algunos de los compuestos más empleados con este fin son el hipoclorito de sodio ( $\text{NaClO}$ ), el

ozono ( $O_3$ ), el peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ), el ácido de caro ( $H_2SO_5$ ) y el carbón activado. Siendo el peróxido el que presenta ventajas sobre los otros debido a que no contribuye al contenido de sales de agua y el exceso del mismo se descompone en sustancias inocuas para el medioambiente. Además, su costo a diferencia de otras sustancias usadas con esta finalidad no es tan elevado. Por lo que en la presente investigación se optará por utilizar la combinación de peróxido de hidrógeno con hipoclorito de sodio.

Por otro lado, tenemos una justificación práctica contribuyendo en el aporte de resultados e información, los cuales permitirán aportar a las investigaciones de estudios previos y posteriores con respecto a la aplicación del método de oxidación con peróxido de hidrógeno e hipoclorito de sodio en aguas contaminadas con compuestos de cianuro, de tal modo se puedan llevar a escala industrial, logrando un tratamiento para dicha problemática en cuestión. Del mismo modo se pretende contribuir al desarrollo e implementación de soluciones ante la problemática de contaminación ambiental que el compuesto cianuro genera, permitiendo proponer nuevas alternativas de bajo impacto.

Una vez identificado el problema, proponemos los objetivos, los cuales deben expresarse con claridad debiendo ser medibles y realistas (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014). Se plantea como objetivo general: Remover el cianuro mediante procesos de oxidación con peróxido de hidrógeno e hipoclorito de sodio en muestras contaminadas a nivel de laboratorio. Así también, los objetivos específicos son: Determinar la dosis óptima del peróxido de hidrógeno en la remoción de cianuro para un tiempo de 15 minutos en muestras acondicionadas a nivel laboratorio; determinar la dosis óptima del oxidante hipoclorito de sodio en la remoción de cianuro para un tiempo de 30 minutos en muestras acondicionadas a nivel laboratorio; determinar la concentración final de las muestras acondicionadas con cianuro después del proceso de oxidación.

Según (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014) las hipótesis indican lo que tratamos de probar y se definen como explicaciones tentativas del fenómeno investigado. En la presente investigación se plantea como hipótesis nula que con la aplicación del proceso de oxidación con hipoclorito de

sodio no influye significativamente en la remoción de cianuro contenido en muestras contaminadas a nivel de laboratorio. Como hipótesis alterna que con la aplicación del proceso de oxidación con peróxido de hidrógeno e hipoclorito de sodio influye significativamente en la remoción de cianuro contenido en muestras contaminadas a nivel de laboratorio.

## II. MARCO TEÓRICO

La presente investigación muestra como antecedentes internacionales a Elizalde, (2020, p. 53), quien estudió el comportamiento de la concentración de cianuro que se encuentra presente en el agua residual minero-metalúrgica teniendo una concentración inicial de 300ppm, la muestra es sometida a un proceso de fotooxidación con luz ultravioleta (UV), el catalizador empleado fue dióxido de titanio tomando un peso de 0.5 g/L y como agente oxidante se utilizó peróxido de hidrógeno tomando 111µl, se mantuvo un pH de 11 para no causar compuestos más tóxico que el cianuro. Para cuantificar el cianuro, se tomó 10 ml de del reactor cada 15 minutos.

Hou, Liu et al (2020, p. 6), en su artículo sobre descomposición de cianuro en relaves de lixiviación de oro, examina la descomposición del cianuro mediante el control de parámetros pH, concentración y tiempo de contacto, usando como  $H_2O_2$  y al metabisulfito de sodio ( $Na_2S_2O_5$ ) como catalizador. Se comprobó que la descomposición del cianuro en solución y relaves aumenta a medida de la alcalinidad, en presencia de 0.5 g/L de  $Na_2S_2O_5$ . Respecto al  $H_2O_2$  (30%), a medida que aumenta la concentración (de 1 a 4 ml/L) aumenta la remoción, aquí el pH óptimo es de 8-9 en solución y 10 en los relaves. Se debe tener en cuenta que el cianuro en los relaves disminuyó en las primeras 4 h y aumentó después de las 4 h. Las condiciones efectivas y económicas para la máxima descomposición del cianuro de los relaves de lixiviación se tratan primero en 0.5 g/L de  $Na_2S_2O_5$  a pH 10 durante 3 horas y luego se agregan 2 ml/L  $H_2O_2$  (30%) al relave a pH 9 durante 4 horas mediante estudio comparativo.

Estrada, Franco y Vanegas (2019, p. 18), utilizaron el método de tratamiento con  $H_2O_2$  que degrada el cianuro y precipita los metales pesados plomo, zinc y hierro en la minería aurífera a baja escala; además se comprobó que el exceso de  $H_2O_2$  residual en la solución tratante se descompone obteniendo agua y oxígeno. La remoción se desarrolla en un recipiente de 7L de muestra mediante la adsorción usando carbón activado usando 20g, 40g y 60g de Carbón/litro en tiempos de 4h, 8h y 12h respectivamente. Posteriormente se toma 1L de esa muestra tratada y se utiliza 3 cantidades de peróxido de hidrógeno diferentes siendo 1L, 1.5L y 2L peróxido/Kg de CN en la solución a un tiempo de 4h. El mejor tratamiento fue el

que utilizo 60g de carbón/L de solución en un tiempo de 12h, 2L de peróxido/Kg de CN durante 4 horas. Se logra una disminución en las concentraciones de manera notable, acercándose a límites permisibles en descarga de minería.

Sáez et al. (2019, p. 09) en su artículo analiza los métodos para remover cianuro de agua residual de una joyería usando bacterias pseudoalcaligenes, utilizando primero un pretratamiento que consiste en el uso del peróxido como oxidante para convertir el cianuro en cianato, esto hace que aumente la capacidad de eliminación de cianuro por las bacterias. Para el pretratamiento es importante mantener un pH de 9 a 10 para evitar que se forme cianuro de hidrógeno, el procedimiento agrega al cobre como catalizador que hace que se divida hasta carbonato y amonio. Se realizó el experimento con 2 dosis, primero a 6 mM y luego a 10 mM, ambos a un pH de 9.5 y una duración de 30 minutos. Luego del tratamiento de la dosis menor, se detectó aproximadamente 1,4 mM de cianato, lo que indica que el 35% del cianuro se convirtió en cianato. Respecto a la mayor dosis se detectó 3.2 mM de cianato, que indica un 80% de remoción, el cianato que fue totalmente consumido por las bacterias *P. pseudoalcaligenes* después de 150h (Esta cepa fue capaz de tolerar hasta 10 mM de peróxido de hidrógeno sin afectar su crecimiento,). Se realizó el procedimiento incluyendo una radiación ultravioleta, pero no se observó una oxidación significativa. Debemos tener en cuenta que este residuo de joyería también contiene diferentes metales como cobre, hierro y zinc. Este resultado confirma que la oxidación química de cianuro a cianato puede facilitar la degradación en biorreactores de residuos industriales que contienen cianuro y complejos metal-cianuro.

Kamrani et al. (2019, p. 386), en su artículo titulado “Degradar el cianuro de agua residuales provenientes del procesamiento del oro, utilizando peróxido de hidrógeno, hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio, usando o no catalizadores”, realizaron la comparación de eficacia entre los 3 métodos utilizando un agitador magnético para proporcionar un ambiente aireado, variando los parámetros pH, temperatura, oxidante y tiempo de reacción, En su mayoría se obtuvo mejores resultados a un pH de 10-12, con excepción del proceso Fenton ( $\text{Fe}+\text{H}_2\text{O}_2$ ) que tiene mayor eficiencia a un pH 8. Se concluyó que el hipoclorito de sodio es el mejor oxidante debido a que emplea menos tiempo en remover el cianuro, la tasa de

reacción es baja, es de bajo costo y la degradación del cianuro es alta. En general la degradación del cianuro tiene una relación directa con la temperatura, cantidad de oxidante, tiempo y dosis del catalizador y tiene una relación inversa al pH. La eficiencia de eliminación es 99.5% llegando a obtener una concentración inferior a los Estándares de Protección Ambiental, además el 40% del agua puede ser reutilizada en el proceso de la planta.

En Ecuador, Auquilla (2019, p. 27-56) en su investigación utilizó el  $H_2O_2$  para reducir el cianuro en agua residual proveniente de una empresa metalúrgica, propone un diseño experimental con tres factores: agitación, tiempo de retención y dosificación de oxidante. Los niveles de cada factor de ensayo se evalúan bajo los siguientes rangos: relación oxidante/cianuro (2:1; 5:1), tiempo de retención (2; 4 horas) y agitación (150; 200 rpm). Mediante un análisis de varianza, se evalúa el efecto de cada uno de los factores mencionados obteniendo así un modelo óptimo para probar la efectividad del tratamiento en la degradación de cianuro total. Mediante este estudio se demostró que las condiciones óptimas de 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 que cumple con la normativa ambiental ecuatoriana, llegando a una remoción de 99.7% siendo concentración inicial de cianuro 97mg/L bajando hasta 0.26mg/L.

En su artículo, Amaouche (2019, p. 126-133) la oxidación de cianuro puede realizarse con  $H_2O_2$  y el uso del óxido de cobre como catalizador mejora la velocidad de reacción mejorando la eliminación de cianuro de 60% a 94%, aumentando la dosis del catalizador de 0.5g/L a 5g/L, así también el aumento de temperatura de 20°C a 35°C promueve la eliminación de cianuro y la reutilización del catalizador hasta en 4 ocasiones sucesivas.

Esparza et al (2019, p. 461) a través de su investigación, muestra los resultados de utilizar un tratamiento combinado de  $O_3/H_2O_2$ ,  $O_3/CA$  y  $O_3/H_2O_2/CA$  para remover el cianuro de un efluente, en donde la mayor remoción de cianuro se alcanzó a un pH de 11 para todos los casos. Se obtuvo que al añadir 10 mg de  $H_2O_2$ /mg la eliminación fue mayor. Por otra parte, la adición de CA no aumentó la remoción de cianuro en comparación al tratamiento sólo con  $O_3$ . La mejor remoción de cianuro

fue alcanzada con la combinación  $O_3/H_2O_2$  seguida de la combinación  $O_3/H_2O_2/AC$ . Posteriormente, se trataron efluentes del proceso de cianuración con la combinación  $O_3/H_2O_2$ . En este caso, se requirieron 3 min de tratamiento para obtener una concentración final de 0.08mg/L, cumpliendo con el estándar de la Agencia de Protección Ambiental de EEUU (0.2mg/L).

Bae (2019, p. 4), investiga la eliminación de cianuro y de cobre de una solución de lixiviación de cianuro, usando como oxidante al hipoclorito electrogenerado (NaOCl) para remover el cianuro, seguido de la adsorción de magnetita ( $Fe_3O_4$ ) para tratar Cu. Se obtuvo que la eficiencia de la destrucción de cianuro y precipitación de Cu se incrementó al aumentar la concentración de cloro libre disponible. Más del 99% del cianuro libre y el 76% de Cu se eliminaron en las siguientes condiciones: 5.2g/L de concentración de NaOCl; NaOCl/solución de 1; pH de 9.8 a temperatura ambiente durante 12 h. Respecto al cobre; 50.5 mg/L de  $Fe_3O_4$  y se eliminó con éxito más del 99% del ion de cobre con una dosis de 10g/100 ml de  $Fe_3O_4$  a una velocidad de agitación de 150 rpm durante 30 min. Los resultados indicaron que la cloración seguido de adsorción de magnetita podría eliminar completamente el cianuro y el Cu, quedando Au en la solución final.

Martinez (2019, p. 108, 112, 168), con su proyecto propone mejorar el sistema ya existente de la PTAR del taller de electroquímica de la Fuerza Aérea Colombiana Madrid-Cundimarca. En el primer diagnóstico reflejó que solo el 29% del total de efluentes es tratado, no se tiene un orden en el proceso, carece de un control de dosificaciones, pH y tiempos adecuados para la correcta eliminación de contaminantes en el agua, esto conlleva al incumpliendo de los parámetros establecidos en las resoluciones nacionales (0631-2015, Vertimiento al sistema de alcantarillado para la totalidad del agua generada). Dentro de la propuesta seleccionada para el tratamiento se destaca el uso del peróxido de hidrógeno 50% junto al Hipoclorito de calcio 12.5% durante un tiempo de 5 minutos y 120 rpm. Se logra cumplir con la normativa de vertimiento de aguas excepto para el cianuro, donde recomiendan incrementar la dosificación de oxidantes en 25%.

Anning (2019, p. 8) en su artículo analiza la eliminación de cianuro presente en relaves de minas de oro, ya que el cianuro es uno de los químicos más tóxicos que se emplean ampliamente para lixiviar minerales principalmente el oro. Existen

métodos físicos, naturales, biológicos y químicos para remover el cianuro y poder cumplir con el límite permisibles, esto se puede lograr cuando se conoce el tipo de cianuro presente en los relaves, pudiendo ser cianuro libre, disociación de ácido débil y complejos de metalocianuro. En la investigación se compara 3 tratamientos: cloración, dióxido de azufre y peróxido de hidrógeno+hipoclorito de calcio. Encontrando que con la cloración si bien remueve el cianuro hasta niveles aceptables, se incrementan los costos operacionales. En cuanto al  $\text{SO}_2$ +aire y usando como catalizador al cobre, es eficiente y rentable siempre y cuando en el fluente la concentración del cianuro sea menor a 200ppm. El tratamiento con peróxido de hidrógeno+hipoclorito de calcio sólo logró eliminar un 46% de cianuro en agua residual.

Tu et al (2018, p. 2) en su investigación “Eliminación de cianuro adsorbido en piritita por oxidación de  $\text{H}_2\text{O}_2$  en condiciones alcalinas”, encontró que la eficiencia óptima de eliminación de cianuro fue en el rango de pH entre 7 y 12, pero permaneció constante cuando el pH fue superior a 12, respecto a la temperatura tuvo un efecto limitado sobre la eficiencia de eliminación de cianuro. Es así que la eficacia de eliminación de cianuro (91.1%) se correlacionó positivamente con la cantidad de  $\text{H}_2\text{O}_2$  añadida, hasta 0,6% en peso. La eliminación del cianuro adsorbido en la piritita por oxidación de  $\text{H}_2\text{O}_2$  en condiciones alcalinas se debió a la oxidación de la piritita.

Ascuña et al. (2018, p. 155-161) realizaron un tratamiento combinado de  $\text{H}_2\text{O}_2$  (50%) y NaOH (10%), llamado método Perso, con la finalidad de reutilizar el agua de los relaves de oro en lugar del agua dulce para así evitar la saturación de metales cianicidas. A todas las muestras se le agregó soda caustica y  $\text{H}_2\text{O}_2$  durante 45 a 85 minutos de agitación, aquí también es importante controlar los parámetros temperatura y pH (10-12), obteniendo una concentración inicial de 100 ppm de cianuro donde es posible lograr una concentración final de 0.8 ppm de cianuro utilizando un tiempo de oxidación de 35 minutos a  $25^\circ\text{C}$ , se comprueba que el sólido que se recupera es comerciable, lo que representa a un 35% de los gastos de tratamiento. A la vez se hizo un comparativo de los diferentes métodos de oxidación (oxidación fueron peróxido de hidrógeno, hipoclorito de sodio, Acido Caro, Oxígeno simple y la combinación de peróxido de hidrógeno+soda cáustica; método Perso) para ver cual representa la mejor alternativa. Las pruebas fueron realizadas con 8.2

pH y 22°C. La comparación nos demuestra un antecedente que la combinación de  $\text{H}_2\text{O}_2$  con soda cáustica presenta la mayor oxidación frente a los otros métodos, esta oxidación es 4 veces más rápida que el uso de hipoclorito de sodio y 8 veces más rápida que el uso de solo peróxido de hidrógeno.

Fungene et al (2018, p. 1260-1261) en su artículo titulado “Descomposición de peróxido de hidrógeno en soluciones de cianuro alcalino”, se basó en estudiar la descomposición efectiva del  $\text{H}_2\text{O}_2$  durante su oxidación y comprender su efecto sobre la destrucción del cianuro variando el pH, tipo y concentración de catalizador (hierro y cobre). Las concentraciones de  $\text{H}_2\text{O}_2$  superiores a 0,01M disminuyeron la concentración de CNL, lo que se atribuyó a la formación del anión cianato ( $\text{CNO}^-$ ). El aumento del pH y la concentración de catalizador aumentó la velocidad de descomposición del  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Adicionalmente se identificó que el cobre es un mejor catalizador.

Deal (2018, p. 3) en su artículo “Destrucción por cianuro: una nueva mirada a un antiguo problema”, comparó diferentes procesos para la remoción del cianuro, incluyendo a los tratamientos con ácido de caro,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{SO}_2$  y aire,  $\text{NaClO}$  y tratamiento biológico. Encontró que en todas las técnicas el cianuro se convierte en cianato, el proceso consiste en mantener un pH de 10.5 usando 23 gal de  $\text{NaClO}$  (12.5%) para destruir una onza de cianuro, esto hace que el cianuro se convierta en cianato y con una hidrólisis se reduce hasta amoníaco y carbonatos. En cuanto al  $\text{H}_2\text{O}_2$  y el  $\text{SO}_2$  y aire, para acelerar la reacción es necesario un catalizador, siendo un pH óptimo entre 8 y 9. También compara el método biológico que consiste en usar bacterias aeróbicas que transforman el cianuro en cianato por oxidación obteniendo amoníaco y bicarbonato. En cuanto al uso de ácido de caro, este es muy inestable y debe usarse con rapidez, también convierte el cianuro en cianato. El peróxido de hidrógeno como oxidante es más efectivo cuando se tiene un catalizador como el cobre, aquí los metales del efluente se precipitan como hidróxidos y el cianuro también se convierte en cianato.

Barrientos (2018, p. 6, 15) investigó sobre la oxidación del Cianuro usando peróxido de hidrógeno y sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4$ ) como catalizador. La reacción se completa entre 1.45 a 4 horas, con un mínimo valor de 1.694 g  $\text{H}_2\text{O}_2$ : gCN<sup>-</sup>. Así mismo, se observó que la velocidad de reacción fue mayor la primera hora luego se reduce al

30% y que el catalizador aumenta la velocidad hasta en un 50% en comparación a una muestra sin ser catalizada y su uso es estrictamente necesario para reacciones que necesitan tiempos menores a 3 horas y un costo total viable de dosificación. Además, el modelo se validó de manera experimental y con parámetros cinéticos, se encontró que la dosificación de  $\text{H}_2\text{O}_2$  y  $\text{CuSO}_4$  en las relaciones de 1.899g  $\text{H}_2\text{O}_2$ : gCN- y 18% de la concentración  $\text{CuSO}_4$  por la concentración inicial de CN cumplen la normativa ambiental para vertimientos y requisitos operacionales de la planta que exige el país. Finalmente se diseñó e implementó el sistema de tratamiento propuesto en la mina lográndose reducir la concentración de CN libre desde 2000 ppm hasta <1 ppm en la descarga del efluente.

Ganji (2018, p. 9) realizó un estudio que consistió en comparar de opiniones de expertos, donde se permitió seleccionar el método más adecuado para eliminar el cianuro de las aguas residuales de la mina de oro Moteh. En donde el uso de  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ ,  $\text{NaClO}$  y  $\text{H}_2\text{O}_2$  fueron una alternativa pionera. La investigación determinó siete criterios para evaluar los métodos considerados: cantidad de material consumido, facilidad de implementación, seguridad, capacidad para eliminar el cianuro, pH, tiempo y costo del proceso. Después, siete expertos realizaron numerosos experimentos para examinar las condiciones de cada uno de estos criterios. Luego, al emplear un método matemático llamado "taxonomía numérica" y posteriormente el modelo TOPSIS para validar el modelo propuesto, ambos llegaron al resultado que el uso de hipoclorito de sodio es el mejor método para eliminar el cianuro de las aguas residuales de la mina de oro. Además, según el análisis de varios experimentos, las condiciones para la eliminación completa de cianuro utilizando hipoclorito de sodio incluyeron concentración (8.64 g/L), pH (12.3) y temperatura (12° C).

Aranguri (2018, p. 70-79), en su investigación pretende degradar el cianuro libre de los relaves de una planta metalúrgica que procesa oro. El tratamiento utilizado fue una oxidación con metabisulfito de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ) y metabisulfito de sodio con peróxido de hidrógeno ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5 + \text{H}_2\text{O}_2$ ). Se tomaron en cuenta 3 factores: tiempo de agitación, exceso de reactivo y tipo de reactivo para la degradación de cianuro. Para el análisis de varianza se utilizó el método ANOVA, que indicó que los factores influyeron significativamente en la degradación de cianuro. Se realizaron pruebas

con 2 y 4 horas de agitación a 250 rpm, a un pH de 10.5, encontrando que mientras mayor tiempo mayor era la remoción de cianuro, la concentración inicial de cianuro fue de 265.46mg/L. Se utilizaron 2906.65 mg/L de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  y 346.87mg/L de peróxido de hidrógeno. El experimento demostró que el metabisulfito de sodio como oxidante es más efectivo que en combinación con el peróxido de hidrógeno, debido a que el peróxido se consume con rapidez; sin embargo, se tiene que utilizar un 400% en exceso de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ . La concentración final de cianuro para los oxidantes combinados ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5 + \text{H}_2\text{O}_2$ ) fue de 20.93 mg/L y solo el metabisulfito de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ) logró reducir el cianuro hasta 9.9mg/L.

Acuña (2017, p. 98), en su tesis titulada "Análisis de métodos de detoxificación de efluentes cianurados", comparó el uso del  $\text{H}_2\text{SO}_5$  y  $\text{H}_2\text{O}_2$  como oxidantes para la reducción de efluentes mineros mediante pruebas de laboratorio con el fin de convertir el cianuro libre en cianato y reducir la concentración de metales pesados. El tratamiento de peróxido de hidrógeno a los 5 min degradó al cianuro solo el 17% mientras que el tratamiento con ácido de Caro degradó aproximadamente el 86% de cianuro inicial, a los 10 min del tratamiento con peróxido de hidrógeno degradó el 24% del cianuro y el tratamiento con ácido de Caro degradó el 89%, al cabo de 30 min el tratamiento con peróxido de hidrógeno redujo el cianuro un 53%, mientras que el tratamiento con ácido de Caro redujo el 97% del cianuro inicial. En el caso del tratamiento con ácido de Caro, la relación óptima para la generación del mismo es de 4 moles de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y 1 mol de  $\text{H}_2\text{O}_2$ , destruyendo el cianuro en un 97% en un tiempo de 5 min, En el caso del peróxido de hidrógeno, se logra reducir la cantidad de cianuro en un 99% utilizando 2.5 ml/L de  $\text{H}_2\text{O}_2$  con un tiempo de residencia de 2 h. Esto significa que para el uso del peróxido representa mayores gastos de infraestructura para el almacenamiento y tratamiento; sin embargo, el consumo de reactivos es menor a diferencia del otro tratamiento

Nyamunda (2017, p. 225) en su artículo analiza la utilización del cianuro en la minería, el uso del cianuro es común por su fuerte afinidad por los metales como oro y plata, lo que lo hace una adecuada sustancia para la lixiviación en minería. Debido a que el cianuro es tóxico es importante tratar el efluente antes de ser descargado. Este texto revisa las tecnologías actuales para el tratamiento del cianuro en aguas residuales en minería, dentro de estas se encuentra el proceso

de dióxido de azufre que transforma el cianuro en cianato, necesita un pH de 8-10, y no sólo remueve el cianuro sino también precipita metales como Zn, Cu y Ni. También se revisa el proceso de cloración alcalina a un pH de 11, que consiste en dos etapas, la primera oxida al cianuro libre a cianato y la segunda etapa el cianato se oxida a carbonato de hidrógeno que es menos dañino al ambiente. Respecto al método de peróxido de hidrógeno, este método es más adecuado para soluciones que para lechadas, se requiere un pH de 9-10 para evitar la formación de cianuro de hidrógeno, la reacción de oxidación se cataliza con sulfato de cobre obteniendo al final carbonato y amonio. En cuanto al método por ozonización se requiere condiciones muy ácidas y una adición continua da como resultado el hidrogenocarbonado y nitrógeno. El método con ácido de caro consiste en una reacción de peróxido de hidrógeno con ácido sulfúrico, este método se utiliza cuando no se puede usar el dióxido de azufre, también oxida el cianuro a cianato.

Lizarazo (2017, p. 45-55) en su tesis “Desarrollo de una propuesta para el tratamiento de aguas residuales provenientes del tratamiento térmico realizado por una empresa metalmecánica”, los oxidantes seleccionados fueron peróxido de hidrógeno e hipoclorito de sodio, los parámetros a trabajar fueron: oxidante para la disminución de cianuro total, coagulantes y floculante para disminuir el pH y sólidos suspendidos totales. Se escogió el hipoclorito de sodio debido a que el agua inicia con pH alcalino 11.3 y no requiere otro agente químico para su adecuación, mientras que el peróxido de hidrógeno requiere el uso de un ácido clorhídrico para reducir el pH a 9. Así también el peróxido es más costoso y considerando el uso de un ácido para llegar al pH adecuado, es descartado para el proyecto.

Garnier (2017, p. 68, 74, 81) en su investigación buscó brindar soluciones a las aguas residuales con contenido de cianuro en empresas de galvanoplastia, para esto experimentó con tres tipos de tratamiento, hipoclorito de sodio al 50%, peróxido de hidrógeno al 12% y una mezcla de ambos. En una primera opción se elegiría entre el  $H_2O_2$  y el  $NaClO$  ya que ambos fueron los que se adaptaban mejor a los criterios de evaluación frente a los otros procedimientos como carbón activado, ácido de Caro, electrólisis entre otros. Al realizar las pruebas de degradación, en ambos procesos se obtuvo resultados favorables, es cuando se toma la decisión de mezclar ambos oxidantes teniendo como resultados respuestas

muy superiores ya que se utilizaban menos concentraciones y la remoción es superior al 99.9%

Romero (2016 p. 45), en su estudio titulado “Evaluación de la oxidación química en el tratamiento del drenaje ácido producto de la actividad minera carbonífera”, se llevaron a cabo ensayos experimentales teniendo como parámetros al agente oxidante, concentración y tiempo de contacto a niveles bajos y altos. Se trabajó con el hipoclorito de sodio como agente oxidante en diferentes concentraciones obteniendo mejores resultados en una concentración alta ( $9 \times 10^{-3}M$ ) y tiempo de contacto de 90 minutos. El hipoclorito de sodio es el que se adapta mejor a las necesidades según la caracterización que se realizó a sus drenajes (características físico químicas, ph, turbidez, conductividad, sulfuros, DQO). El hipoclorito de sodio (NaClO) como agente oxidante fuerte, en concentración alta ( $9,0 \times 10^{-3}M$ ) y tiempo de contacto prolongado (90 minutos) significó mayor incremento en el valor del pH, así como la disminución de las especies relacionadas con la acidez en drenajes ácidos carboníferos.

Pueyo (2016, 5-7), en su artículo evaluó el uso del  $H_2O_2$  para la remoción de cianuro en aguas residuales de coquización, se utilizaron 2 muestras, una creada en el laboratorio y la otra recolectada de una fábrica de productos químicos, esto con la finalidad de comparar la eficiencia en cuanto a remoción de cianuro (5mg/L inicial). Como oxidante se usó  $H_2O_2$  (30%) en 7 dosis (6.5, 25, 50, 75, 100, 150 y 200 mg/L), a una agitación a 40rpm y pH de 10.5, el tiempo de reacción fue de 5 min. En la muestra creada en laboratorio se obtuvo que en la menor dosis la eficiencia solo llegó a ser 4%, aumentando hasta 14% a una dosis de 50mg/L, al aumentar la dosis ocurre el caso contrario, empieza a disminuir la eficiencia hasta un 8% para una dosis de 200mg/L, esto quiere decir que no necesariamente al usar mayor dosis de peróxido significaría una mayor remoción de cianuro. Comparando con la muestra real, se encontró que a una dosis baja la remoción llega a 8.4%; sin embargo, al eliminar los sólidos en suspensión la remoción llega a 30.1%, a una dosis de 50mg la remoción fue de 47%, esto comprobó que el peróxido es eficiente pero que también reacciona con el material en suspensión disminuyendo su efectividad para la remoción de cianuro.

Estrada y Del Carmen (2016, p. 5) en su investigación titulada “Tratamiento de aguas residuales del lavado de piezas de acero provenientes de tratamientos térmicos y termoquímicos para disminuir la presencia de cianuros de la empresa aceros Bohler del Ecuador”, se aplicó una oxidación química mediante el uso de 3 agentes oxidantes: peróxido de hidrógeno solo ( $H_2O_2$  al 30%), peróxido de hidrógeno con catalizador ( $H_2O_2$  + Sulfato de Cobre Pentahidratado) e hipoclorito de sodio ( $NaOCl$  al 10%), con la finalidad de reducir la concentración de cianuro en el agua. Para cada experimento se realizaron tres dosificaciones, a tiempos de 30 minutos y 60 minutos; se trabajó con una concentración inicial de cianuro total de 32.250 mg/l, temperatura constante de 24°C, pH de 11.5 y velocidad de agitación de 700 rpm. Tanto en las muestras de agua sin tratar como en las muestras tratadas se midió pH, conductividad, oxígeno disuelto y cianuros totales. El tratamiento más eficiente fue el de peróxido de hidrógeno con catalizador en una dosificación de (0.058ml + 0.07g) respectivamente a un tiempo de 60 min, con un 82.8% de reducción de cianuros totales. Posteriormente una vez oxidada el agua residual se aplicó a la misma un tratamiento de clarificación dosificando Policloruro de Aluminio como coagulante y Polímero Aniónico como floculante, obteniendo que la concentración óptima fue de 200 ppm y 2 ppm respectivamente con un 97.19% de reducción de turbidez y un 92% de reducción del color.

Sjahrul (2016, p. 97) en su artículo titulado “Eliminación de cianuro con peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) e hipoclorito de calcio  $Ca(OCl)_2$  en desechos de minas de oro de North Luwu, South Sulawesi”, encontró que es importante mantener un nivel óptimo de los parámetros concentración, pH y tiempo de contacto. Se utilizaron 5 muestras para cada oxidante a un pH de 8 y una agitación variable durante 1 hora. En el caso del hipoclorito de calcio, así como en el peróxido se utilizó una concentración de 500ppm, aquí se logró una reducción desde 52% de contenido de cianuro hasta 41.6% y 37.09% respectivamente. En el caso de la adición de los 2 oxidantes se utilizó una agitación de 120 rpm y se logró reducir hasta un 43% a 46% de contenido de cianuro.

Cruz (2016 p. 6), en su investigación “Detoxificación de efluentes con cianuro”, estudió la degradación de cianuro mediante el uso de hipoclorito de sodio y ozono, teniendo en cuenta que no se genere ningún contaminante. La concentración de

cianuro inicial fue de 2g/L, para el tratamiento se utilizó una temperatura ambiente y un tiempo de agitación de 20 minutos a temperatura ambiente, agregando gradualmente 1 a 4 ml de NaClO, encontrando que a los 20 min se logró reducir un 98% (<0.04mg/L) de la concentración de cianuro inicial (2.13g/L), este análisis se realizó a temperatura ambiente (25°C) y a 84°C, encontrando que a mayor temperatura mayor remoción llegando a una remoción >99. En cuanto al uso del ozono también se realizó una agitación durante 20 minutos, en 3 muestras paralelas, agregando al inicio las siguientes dosis 1.95, 3.9 y 7.8x10<sup>-4</sup>, obteniendo una remoción <99 con la mayor dosis a 20 minutos. A pesar que la degradación con ozono genera carbonatos más amigables con el ambiente en comparación con el hipoclorito que forma cianatos; sin embargo, el inconveniente es el alto precio y el consumo excesivo del ozono.

En el ámbito nacional, se realizaron investigaciones para la degradación de cianuro en efluentes de minería u otra industria, un ejemplo de esto es Gutiérrez (2021, p. 39, 61) en su investigación presenta la degradación del cianuro producto de la solución barren de la planta minera IRL SA - UM Corihuarmi, a través de la oxidación haciendo uso del peróxido de hidrógeno y como catalizador el sulfato de cobre hidratado. Se tomaron muestras de solución de 1L cada una y se sometieron a 3 tratamientos variando la dosis del peróxido de hidrógeno, manteniendo la dosis del sulfato de cobre penta hidratado al igual que el pH. Donde el mejor porcentaje de remoción fue de 92% con un pH 11.6, utilizando 10 ml de peróxido de hidrógeno y 4 ml de sulfato de cobre penta hidratado. Se concluye que el método de destrucción propuesto cumple con los LMP para la descarga de efluentes líquidos de actividad minera.

Capatinta y Cardenas (2020, p. 27-30), en su investigación identifican el mejor método para tratar efluentes de mineras auríferas, encontrando que el tratamiento a través del peróxido de hidrógeno es el que posee la metodología de aplicación más sencilla y efectiva, siempre y cuando se utilicen catalizadores ya sea de cobre o hierro, comparando con un tratamiento con rayos ultravioleta, ozono y ácido caro. Por otro lado, indican que el método más efectivo es el uso de H<sub>2</sub>SO<sub>5</sub> debido a su gran celeridad oxidativa sin la presencia de catalizadores.

Garay y Llatas (2019, p 34-39, 52 y 53), evaluaron la remoción de cianuro en aguas residuales de mineras productoras de oro y plata, utilizando  $H_2O_2$  y catalizadores (sulfato de cobre y sulfhidrato de sodio). El tratamiento de estos efluentes se implementó a la salida de la poza de mayores eventos, con una capacidad de 120  $m^3$ /hora, donde primero se tomaron muestras para realizar la caracterización química de los efluentes de lixiviación y después de 75.50 horas de tratamiento en 8 días de tratamiento discontinuo, se evaluaron los reactivos mencionados. Así mismo, se calculó la eficiencia de remoción de cianuro de sodio y cobre, donde los resultados obtenidos después del tratamiento, el resultado fue óptimo con un 99,99% de eficiencia en cuanto a la remoción de cianuro y 89,97% de remoción de cobre. Con respecto a las ratios promedio obtenidos para la remoción de cianuro y cobre es de 5,47 kg.  $H_2O_2$ /kg. NaCN, 0,30 kg.  $CuSO_4$ /kg. NaCN y 10,03 kg. NaSH/kg. Cu. El peróxido junto a los otros compuestos generó una oxidación considerable, no hubo presencia de catalizadores en este proceso. El peróxido de hidrogeno es el principal insumo que entra en contacto con el efluente que contiene cianuro de sodio, debido a que es un potente oxidante.

Chumbes (2019, p. 66, 80) en su trabajo se ha degradado cianuro libre de una solución simulada, desde una concentración inicial de 300 ppm hasta concentraciones menores a 1 ppm. El proceso usado fue el de fotocátalisis heterogénea; el cual consiste en la adición de  $H_2O_2$  como agente oxidante y dióxido de titanio ( $TiO_2$ ) como foto-catalizador. La activación del  $TiO_2$  fue realizada con radiación ultravioleta (UV) artificial, constituyendo así el sistema:  $H_2O_2/TiO_2/UV$ . Se obtuvieron resultado de remoción positivos, utilizando muestras acondicionada de cianuro que luego pasarían por la degradación fotovoltáica, lo cual nos indica que se pueden diseñar modelos de remoción con este tipo de muestras.

Coca (2019, p. 69, 88, 89) pretendió en su investigación optimizar el uso de reactivos que eliminarían el cianuro con la finalidad de reducir los gasto en la Planta de Tratamiento de Efluentes de la Empresa Minera La Arena S.A., de manera que los metales a la salida de la planta estén por debajo de los LMP. Para este tratamiento se utilizó  $H_2O_2$  y sulfato de cobre. En el método de  $H_2O_2$  a una concentración de 50%, se realizaron 4 pruebas utilizando una dosificación de 75 y 100ppm, un pH de 9.2, a tiempos de 20 y 40min, con una agitación de 150RPM,

como resultado se obtuvo un porcentaje de remoción de cianuro de 98%. También se utilizó el método de combinación de peróxido de hidrógeno y sulfhidrato de sodio llegando a una remoción de 97%.

López (2018, p. 16-22, 33-38), en su tesis "Determinación del tiempo de agitación y volumen óptimo del peróxido de hidrógeno en la degradación del efluente cianurado de la planta de tratamiento de aguas de la empresa Consorcio Minero Horizonte", determinó el tiempo de agitación y volumen óptimo de solución de  $H_2O_2$  que la planta requiere para una degradación eficiente de efluentes cianurados. Mediante 4 ensayos con volúmenes de  $H_2O_2$  de 0.5, 1, 1.5 y 2ml, manteniendo un pH de 10.5 a 11.5, en cada uno se trató 1 L de efluente cianurado con una concentración inicial promedio de 130 ppm de CNL. Los resultados demuestran que el mejor tiempo de agitación es 225 minutos dando respectivamente una concentración final ppm de 19.51, 18.47, 18.34 y 18.31 siendo este último el de mayor degradación 85.94%.

Gutiérrez (2018, p. 86, 89), investigó el proceso de eliminación de sustancias tóxicas en efluentes contaminados con cianuros en plantas metalúrgicas de oro utilizando peróxido de hidrógeno, se hicieron 2 pruebas para 4 muestras a diferentes dosis (0.5, 1, 2 y  $4\text{cm}^3$ ) a un tiempo de agitación de 30 minutos, durante este tiempo se observó que la solución cambió de color de amarillo a transparente. Para la segunda prueba se utilizaron las dosis 2, 4, 8, y  $16\text{cm}^3$  a un tiempo de agitación de 2 horas. Dando como mejor resultado usar  $16\text{cm}^3$  de peróxido en un periodo de tiempo de 2 horas a una agitación de 400 RPM.

Machaca y Yana (2017, p. 49), en su tesis titulada "Remoción de cianuro de aguas residuales minero metalúrgicas por procesos de oxidación avanzada y fotocátalisis solar", trabajó con tres métodos de tratamiento que pueden utilizar la radiación solar como única fuente de energía, para los procesos de: peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ); sulfato ferroso ( $FeSO_4$ ) y peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ). Como consecuencia de la investigación se logró remover de 1806.60 mg/L hasta 266.0 mg/L equivalente en porcentaje a 85.28% utilizando como agente oxidante heterogénea peróxido de hidrogeno ( $H_2O_2$ ) – sulfato ferroso ( $FeSO_4$ ) en un tiempo total de 120 minutos, en la segunda prueba se logró remover de una muestra inicial de 1806.6 mg/L hasta

1265.45 mg/L equivalente en porcentaje a 29.95% utilizando como agente oxidante sulfato ferroso, en un tiempo total 120 minutos, finalmente en la tercera prueba se logró remover desde 1806.60 mg/L hasta 1695.55 equivalente en porcentaje a 6.15% utilizando como agente oxidante el peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ), en un tiempo total de 120min, en las tres pruebas se trabajó a un pH inicial de 12.00 y un pH final de 10.85. El uso del peróxido de hidrógeno en combinación con sulfato ferroso en presencia de dióxido de titanio expuestos a un proceso de fotocatalisis con radiación UV demuestra ser la mejor alternativa para la remoción de cianuro.

Rupay, F. (2016, p. 84, 85, 92), en su investigación "Remoción del cianuro con el complejo ( $CuSO_4 - H_2O_2$ ) de los efluentes cianuración de oro para evitar riesgos a la salud y al ambiente", tuvo como fin degradar el cianuro presente en efluentes generados en laboratorio, mediante la aplicación de la oxidación del complejo ( $CuSO_4 - H_2O_2$ ), antes del análisis se obtuvo una concentración de CN de 102mg/L con un pH de 10.15, seguidamente se aplicó el método en 4 tiempos obteniendo los siguientes resultados:

- Para una concentración de 1150 mg/L del complejo y un pH de 10.10 se logró la reducción de CN- a 95mg/L (40 min), 55mg/L (80 min), 23mg/L (120 min), 0.32mg/L (160 min).
- Para una concentración de 1200 mg/L del complejo y un pH de 10.06 se logró la reducción de CN- a 86mg/L (40 min), 50mg/L (80 min), 19mg/L (120 min), 0.30mg/L (160 min).
- Para una concentración de 1250 mg/L del complejo y un pH de 10.04 se logró la reducción de CN- a 77mg/L (40 min), 45mg/L (80 min), 15mg/L (120 min), 0.28mg/L (160 min).
- Para una concentración de 1300 mg/L del complejo y un pH de 10 se logró la reducción de CN- a 70mg/L (40 min), 40mg/L (80 min), 10mg/L (120 min), 0.00mg/L (160 min).

Finalmente se logró reducir la concentración del cianuro a un valor permitido menor a 1mg/L con pH entre 5.5 y 10.5, por lo tanto, dicha metodología aplicada resultó eficiente.

Mego (2016, p. 5-95), en su investigación para evaluar la eficiencia de tratamiento en la remoción de cianuro y metales pesados (arsénico, cobre y mercurio) en lamina

Coimolache, midió la concentración de estos elementos en el efluente de la planta de procesos, antes de proceso alguno de tratamiento, luego se comparó con los resultados obtenidos después del tratamiento por filtración con ósmosis inversa. Los resultados muestran que con la combinación de los dos métodos se cumple satisfactoriamente todos los parámetros exigidos por la normatividad ambiental vigente; asimismo, se obtiene una alta eficiencia de remoción: 100% en cianuro y aproximadamente 99,9% en arsénico, cobre y mercurio.

Por su parte Diaz (2016, p 73, 74, 104-110) realizó una investigación para la remoción de CN en pulpa y solución de lavado de espesador de relave en Minera Inmaculada, hasta alcanzar valores bajo los niveles máximos permisibles por los estándares de la legislación medio ambiental, para luego poder evacuar la solución cianurada sobrenadante (efluente) al medio ambiente, previo tratamiento físico - químico. Para su mejor comprensión se presenta en los capítulos siguientes: En el primer capítulo se describe las generalidades de la mina Inmaculada, como son ubicación y accesibilidad, la descripción de mina, geología y planta de procesamiento. En el segundo capítulo se detalla la normatividad medioambiental para efluentes de cianuración, así como el marco legal y las normativas de las leyes nacionales medio ambientales. y la descripción de la materia. En el tercer capítulo se describe la materia o efluente a tratar y su comportamiento químico, así como el marco conceptual del cianuro. se trata el control de calidad en sus diferentes métodos para la determinación del cianuro. En el cuarto capítulo se hace referencia a los diferentes métodos de degradación del cianuro. En el quinto capítulo se tiene el desarrollo de la parte experimental para degradar el cianuro presente en los efluentes, así como el resultado y su discusión.

Cahuana, E. (2016, p. 54-61), en su investigación "Manejo ambiental de efluentes del proceso de cianuración de oro en la planta de beneficio de la corporación minera Ananea S.A.", tuvo como finalidad reducir el CN de los efluentes a través de la aplicación del proceso de oxidación con  $H_2O_2$ . La concentración inicial de cianuro se registró con 1541.21 mg/L, y finalmente se evidenció que el proceso resulta más eficiente con un tiempo de 60 minutos, a un pH de 11 y agitación constante, además de dosis de 2, 3 y 2.5 mg/L de sulfato de hierro, sulfato de cobre y peróxido de

hidrógeno respectivamente, removiendo en un 99.5% el compuesto (concentración final 0.02ppm).

Anculle (2015, p 107) aplicó el método de oxidación con  $H_2O_2$  para reducir el cianuro que estaba presente en el agua residual de la planta de beneficio Sotrami, en donde el cianuro es reducido a iones cianato el cual es mucho menos tóxico que el cianuro, los factores experimentales fueron el volumen de peróxido, pH (10.5) y el tiempo de agitación en el tanque, adicionalmente se utilizó el sulfato de cobre como catalizador, llegando a reducir el cianuro libre en la solución muestra a los valores de 0.3 y 0.21 ppm con un volumen de  $H_2O_2$  de 84ml, esto sucede debido a que el cianuro libre se oxida a cianato.

Castillón (2015, p. 132, 133) en su investigación utiliza el peróxido de hidrógeno y el cloro para remover cianuro de la Planta Laytaruma. Se trataron 27 muestras, el tratamiento mantuvo un pH mayor a 10.5 y la agitación se mantuvo a 300 RPM de 30 a 90 minutos en la prueba de jarras, las dosis utilizadas fueron de 0.12 a 0.17g/L de peróxido de hidrógeno al 50% y de 0.02 a 0.07g/L de cloro al 100%, el mejor resultado se obtuvo con una dosis de peróxido de 0.17g/L y con una dosis de 0.07g/L. Se encuentra que con la combinación de estos 2 oxidantes mejora ligeramente la remoción y el proceso es más rápido. Recomiendan que no se exceda las dosis de peróxido ni de hipoclorito ya que podría formarse cloraminas que son contaminantes.

Para una mejor comprensión de la investigación, es necesario conocer los conceptos relacionados al tema, los cuales se detallan a continuación:

El Cianuro ( $CN^-$ ) es un anión conformado por carbono y nitrógeno, además de estar unidos por un enlace triple, con la capacidad de reaccionar con metales pesados, aunque este en bajas concentraciones. En cuanto a su toxicidad es altamente peligroso, puesto que los tejidos puedes absorberlo fácilmente. (GIL, E., 2005, p.7).

El Cianato ( $CNO^-$ ), es aquel producto generado durante el procesamiento de minerales, debido a la reacción de un ion cianuro libre y cúprico o durante el proceso de tratamiento de un efluente por oxidación utilizando un oxidante (peróxido de hidrógeno o el Ion hipoclorito) (Navarro, 2017, p.30).

Un Impacto Ambiental, se refiere a la alteración positiva o negativa de uno o más componentes del ambiente, debido a las acciones provocadas por un proyecto, o acción humana. Se pueden distinguir impactos directos que son ocasionados por la acción humana directamente con el componente, impactos indirectos, que son ocasionados a partir de acciones de otros componentes relacionados con el medio: (Ley N° 27446, Ley del sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental, 2001, p.83).

Estándar de calidad ambiental (ECA), de acuerdo con el Ministerio del Ambiente, se denomina estándar de calidad ambiental a los valores máximos permitidos que un contaminante puede estar en un medio receptor.

Límite Máximo Permisible (LMP), es aquella medida de concentración o grado de un elemento, sustancia o parámetro fisicoquímico – biológico que caracteriza a un efluente líquido, que en su condición de exceso puede causar daños en el ser humano y ambiente. (D.S. 010-2010-MINAM, p.2).

Las muestras sintéticas o acondicionadas, son aquellas muestras; en este caso de agua; que son elaboradas comúnmente en laboratorios, en las cuales se logra un nivel de calidad deseado (Baeza, A, et al., 2007, p.7).

La remoción, es la acción o el proceso mediante el cual se elimina, quita o borra una parte o el total de algo, es decir modificar una situación o estado actual de una solución o elemento en un porcentaje requerido o deseado. (Baca, A., 2016, p.24).

Así también es necesario tener conocimientos sobre los procesos a utilizar:

El cianuro es un compuesto químico formado por un átomo de carbono y uno de nitrógeno, los cuales están conectados por tres enlaces que comúnmente se encuentra en aguas residuales y en el ambiente, tiene la capacidad de unirse con otros elementos químicos y metales (Sacher, W., 2011, p.19).

Así mismo se clasifica en relación a la fuerza de enlace en tres categorías: Cianuro libre ( $CN^-$ ), cianuro de fácil disociación y cianuros totales.

- Características: Es un compuesto que en ciertas situaciones puede emanar olor a “Almendras amargas”, su peso molecular es de 27.3, es un elemento estable en pH 11 y 13, y es muy soluble en agua.
- Usos: El cianuro es comúnmente usado en la industria metalúrgica para la obtención de metal como oro y plata, así mismo en la industria del acero, la joyería, laboratorios químicos, fabricación de plásticos, pegamentos, pinturas, herbicidas, plaguicidas, entre otros. (Ramírez, A., 2010, p.54)
- Toxicidad: En el ambiente el compuesto cianuro es altamente contaminante ya que tiene la capacidad de ser soluble en agua contaminando las aguas superficiales y subterráneas e indirectamente impactando en la fauna y flora, por otro lado en las personas la exposición de este metal a más de 300 ppm puede llegar a ser muy nocivo en pocos minutos, llegando a producir riesgos en la salud del ser humano desde dificultades en la respiración, convulsiones, vómitos hasta daños cerebrales, problemas del corazón, coma e incluso la muerte.
- Clasificación: De acuerdo con Fernández, B., (2007), el compuesto cianuro puede clasificarse en: (p.39-40)

Compuestos Simples, son aquellos compuestos iónicos capaces de disociarse en el agua y ocasionando la liberación de un catión y un ion cianuro. Este compuesto puede ser convertido en cianatos cuando este es sometido a un proceso de oxidación.

Compuestos Complejos, son aquellos compuestos de cianuro con la capacidad de liberar un catión y anión en el agua produciendo un elemento con un catión y varios iones cianuro como  $\text{Cu}(\text{CN})_3^{2-}$  (triciano cuprito).

**Tabla 1.** Clasificación del cianuro de acuerdo con su estabilidad

CLASIFICACIÓN	COMPUESTOS
1.- Cianuro Libre	$\text{CN}^-$ , HCN
2.- Cianuros Simples	NaCN, KCN, $\text{Ca}(\text{CN})_2$ , $\text{Hg}(\text{CN})_2$
2.1.- Fácilmente Solubles	$\text{Zn}(\text{CN})_2$ , $\text{Cd}(\text{CN})_2$ , $\text{Cu}(\text{CN})_2$ , $\text{Ni}(\text{CN})_2$ , AgCN

2.2.- Insolubles	Sales Neutras	
3.- Débiles	Cianuros Complejos	Zn(CN) <sub>4</sub> <sup>-2</sup> , Cd(CN) <sub>3</sub> <sup>-1</sup> , Cd(CN) <sub>4</sub> <sup>-2</sup>
4.- Moderadamente Fuertes	Cianuros Complejos	Cu(CN) <sub>2</sub> <sup>-1</sup> , Cu(CN) <sub>3</sub> <sup>-2</sup> , Ni(CN) <sub>4</sub> <sup>-2</sup> , Ag(CN) <sub>2</sub> <sup>-1</sup>
5.- Fuertes	Cianuros Complejos	Fe(CN) <sub>6</sub> <sup>-4</sup> , Co(CN) <sub>6</sub> <sup>-4</sup> , Au(CN) <sub>2</sub> , Fe(CN) <sub>6</sub> <sup>-3</sup>

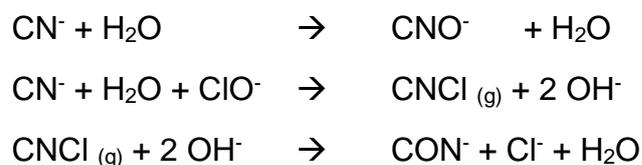
Fuente: Scoott e Ingles, 1987

Proceso de oxidación, en el proceso de oxidación para el tratamiento de cianuro, se tiene como oxidantes comúnmente conocidos el cloro, peróxido de hidrógeno e hipoclorito de sodio, logrando una efectividad de reducción a cianatos los cuales son menos contaminantes que el cianuro como compuesto (Anculle, 2015, p 107).

Tratamiento con cloración (hipoclorito), el tratamiento de cloración es un método en el cual se emplea un blanqueador comúnmente conocido como cloro debido a su reacción con sustancias orgánicas (agentes tenso activos). Para Gómez, P. (2012), este tratamiento fue uno del más eficaz ya que logra eliminar el cianuro hasta mínimas cantidades, teóricamente se requiere de 3 a 8 gramos de Cl<sub>2</sub> para el tratamiento de un gramo de CN oxidado. (p.12).

El hipoclorito es un elemento derivado del cloro, usualmente empleado para la desinfección del agua, se caracteriza por contener un átomo de cloro en estado de oxidación (ClO<sup>-</sup>) que en el proceso de oxidación para tratamiento de cianuro consiste en oxidar el anión este puede convertirse en cianato de cloro, posteriormente en una estabilidad a pH ácido se descompone hasta formar amoníaco y bicarbonato (Ariel, J., et al., 2010, p.10).

En el siguiente cuadro se podrá visualizar la comparación de métodos de oxidación para la reducción de cianuro.



**Tabla 2. Comparación de métodos de oxidación**

<b>TECNOLOGÍA</b>	<b>OBJETIVO</b>	<b>VENTAJA</b>	<b>DESVENTAJA</b>
<b>Oxidación química por cloración.</b>	Oxidación del CN <sup>-</sup> en dos etapas: CN <sup>-</sup> = CON <sup>-</sup> CNO <sup>-</sup> = CO <sub>2</sub> + N <sub>2</sub>	Fácil manejo en el control de dosificación.	Debido a que tiene reacción exotérmica con concentraciones altas de cianuro, puede producir combinación gaseosa toxica.
<b>Oxidación química por sulfato ferroso.</b>	Formación de complejos eliminados en forma de lodo.	Bajo coste de operación, fácil control y manipulación en la dosificación.	Formación de lodos, efluente color azul, formación de ferrocianuro que se descompone en cianuro libre con presencia de luz solar.
<b>Oxidación química por peróxidos.</b>	Oxidación de cianuro a cianatos.	Precipitación de metales en forma de óxidos e hidróxidos.	Cianuros se oxidan a cianatos.
<b>Oxidación química con ozono.</b>	Oxidación de cianuro a dióxido de carbono y nitrógeno.	El ozono también oxida fenoles y cromóforos que se transforman en sustancias no tóxicas e incoloras.	La generación del ozono se genera in situ. Dificultad al manipular y controlar la dosificación.
<b>Oxidación electrolítica.</b>	Oxidación de cianuro a cianato.	Eficiente al reducir cianuro por debajo de 1ppm. No requiere el uso de reactivos químicos.	Elevado costo del tratamiento. Aplicado a volumen de agua menos de 100L.

Fuente: Gómez, P., 2012, p.17

El Procedimiento del tratamiento de oxidación con hipoclorito de sodio consiste en 2 etapas:

La primera etapa consiste en una estabilización de pH o descarbonatación, es decir se adiciona de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  o lechada de cal para elevar el pH a un valor de 10.5, reduciendo también los niveles de Ca, Mg y alcalinidad. La curva de potencial de oxidación reducción (ORP) se muestra en la siguiente figura:

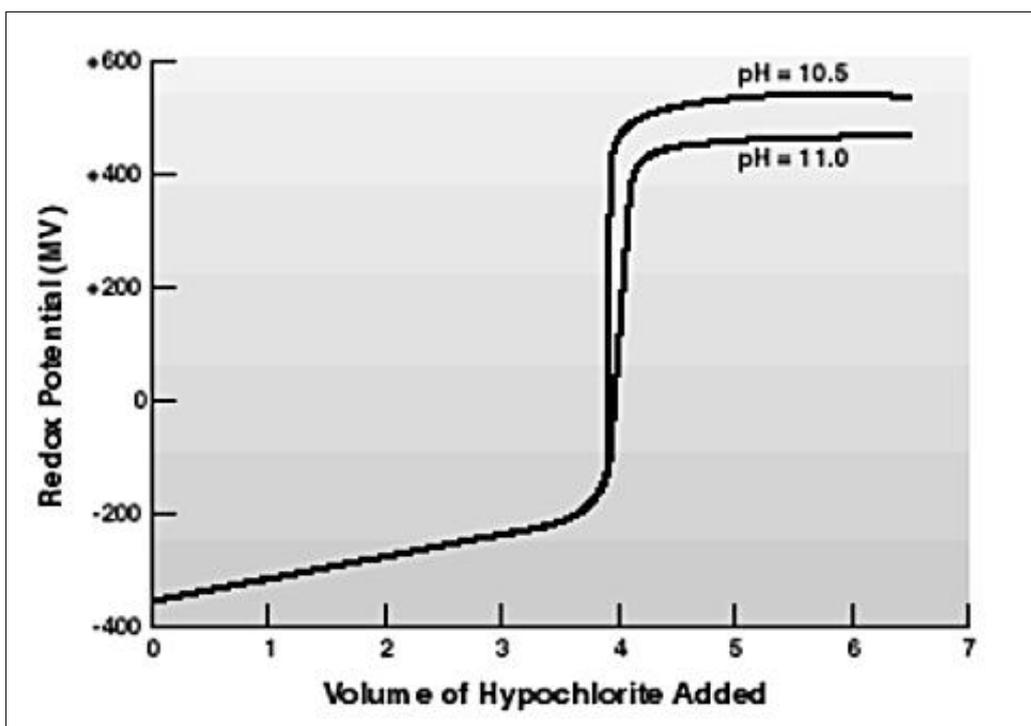


Figura 1. Curva de potencial de oxidación reducción

En la figura 1 se puede visualizar como el pH pasa de un valor de 11.0 a 10.5 lo cual es parte de la estabilización.

En la segunda etapa es necesario la neutralización de agua residual para un vertimiento con pH adecuado, es por lo cual se adiciona ácido clorhídrico y mantener un pH entre 7.5 y 8.5, lo cual permitirá la oxidación rápida de los cianuros a cianatos. Cabe agregar que los cianatos pueden hidrolizar lentamente a causa de la presencia de cloro formando así carbonatos de amonio y sodio.

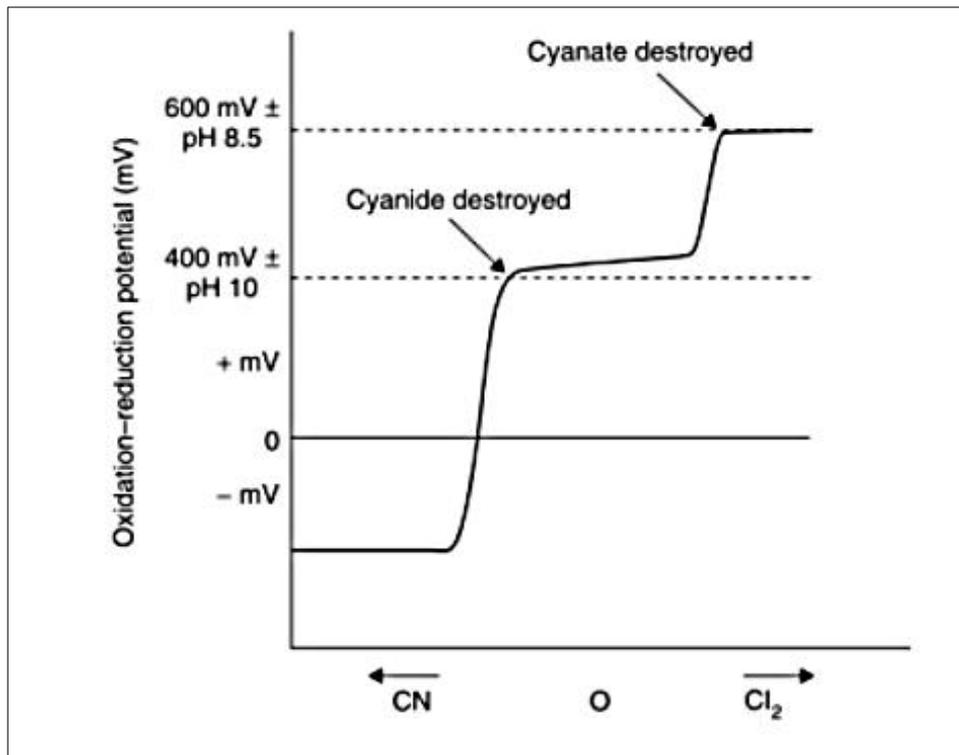


Figura 2. Curva de potencial Redox de destrucción de cianuro

En la figura 2 se puede ver que el cianuro se oxida en mayor grado si se encuentra entre un rango de pH de 8.5 a 10.

Las ventajas del método oxidación con hipoclorito de sodio son las siguientes:

- ✓ El método es comúnmente usado y con experiencias previas en su aplicación en otros campos.
- ✓ La reacción de hipoclorito de sodio es rápida.
- ✓ Los metales son precipitados como hidroxilos.
- ✓ El cloro es un compuesto disponible y accesible en diferentes formas.
- ✓ El costo del proceso es relativamente bajo.
- ✓ Es factible y de fácil control para su viabilidad.

En cuanto a los Estándares y límites aplicados al cianuro, de acuerdo con la legislación peruana existen valores como LMP y ECA que debe contener un efluente o cuerpo de agua con referencia al compuesto cianuro, tal como lo menciona Rupay (2016), no existe un reglamento o criterios que determinen que la

presencia de dicho compuesto en algún residuo se debe considerar como residuos peligrosos. En tanto para caracterizar el compuesto cianuro en nuestro país se considera los valores establecidos de ECA y LMP en el D.S. N° 010-2019-MINAM y D.S. N° 004-2017-MINAM.

**Tabla 3. LMP y ECA para el Cianuro**

NORMATIVA	APLICACIÓN	VALOR
<b>Categoría 1: Poblacional y Recreacional</b>		
D.S. N° 004-2017-MINAM (Estándares de Calidad Ambiental para agua)	<b>Subcategoría A:</b> Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable	A1: Cianuro total = 0.07 mg/L A2 y A3: Cianuro libre = 0.2 mg/L
	<b>Subcategoría B:</b> Aguas superficiales destinadas para recreación	B1 y B2: Cianuro libre = 0.022 mg/L B1: Cianuro wad = 0.08 mg/L
	<b>Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales</b>	
	<b>C1:</b> Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras.	Cianuro wad = 0.004 mg/L
	<b>C2:</b> Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras	
	<b>C4:</b> Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas	Cianuro wad = 0.0052 mg/L
<b>Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales</b>		
	<b>D1:</b> Riego de vegetales.	Cianuro wad = 0.1 mg/L
	<b>D2:</b> Bebida de animales.	
<b>Categoría 4: Conservación del ambiente acuático</b>		
	<b>E1:</b> Lagunas y Lagos.	Cianuro libre = 0.0052 mg/L
	<b>E2:</b> Ríos	
	<b>E3:</b> Ecosistemas costeros y marinos	Cianuro libre = 0.001 mg/L
D.S. 010-2010-MINAM (Límites Máximos Permisibles para actividades)	Limite en cualquier momento.	1 mg/L
	Límite para el promedio anual	0.8 mg/L

<b>NORMATIVA</b>	<b>APLICACIÓN</b>	<b>VALOR</b>
Minero metalúrgicas)		
Environmental Protección Agency (EPA), Estados Unidos	Agua potable:	0.2 miligramos/litro
	Agua de ecosistema acuático	0.05 miligramos/litro
Alemania y Suiza	Aguas de superficie:	0.01 miligramos por litro
	Aguas de alcantarillado:	0.5 miligramos por litro
México		0.2 miligramos por litro
Central Pollution Control Board, India		0.2 miligramos por litro

*Fuente: Elaboración propia*

Para el desarrollo del presente estudio se tomó como base principal la normativa Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM, que aprueban los Límites Máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividad minero – metalúrgicas, siendo el valor considerado para el metal Cianuro de 1 mg/L (límite en cualquier momento) hasta 0.8 mg/L (límite para el promedio anual).

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación es APLICADA con enfoque cuantitativo, ya que se lograron estudiar las relaciones que existen entre las variables.

El diseño de investigación se refiere a las estrategias y metodologías que han sido elaboradas anticipadamente para tender el proceso de la investigación (Hernández et. al, 2014, p.120). Por lo cual, el informe de investigación es de diseño EXPERIMENTAL, puesto que se manipulan una o varias variables asignadas al azar y se busca la relación causa – efecto.

#### 3.2. Variables y operacionalización

La matriz de operacionalización de variables se muestra en el Anexo N° 01.

##### 3.2.1. Variable independiente

**Proceso de Oxidación:** En el proceso de oxidación para el tratamiento de cianuro, se tiene como oxidantes al peróxido de hidrógeno e hipoclorito de sodio, comúnmente conocido como cloro, logrando una efectividad de reducción a cianatos los cuales son menos contaminantes que el cianuro como compuesto (Anculle, 2015, p. 107).

**Tabla 4.** *Indicador y unidades de variable independiente*

Indicador	Unidades
Dosis	mg/L
Tiempo	Min
Concentración	mg/L

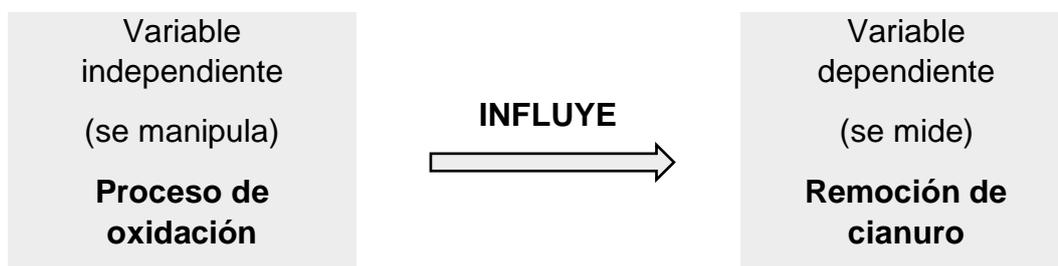
##### 3.2.2. Variable dependiente

**Remoción de cianuro:** Es la eliminación del cianuro del agua, esta variable depende del método de oxidación y de las dosis empleadas.

**Tabla 5.** *Indicador y unidades de variable dependiente*

<b>Indicador</b>	<b>Unidades</b>
<b>Concentración inicial y final</b>	mg/L
<b>Remoción</b>	%
<b>pH inicial y final</b>	mg/L
<b>Temperatura</b>	°C
<b>Cianuro</b>	mg/L

Es decir, mediante la aplicación del proceso de oxidación (V.I) se podrá observar su efectividad en la remoción de cianuro (V.D).



### **3.3. Población (criterios de selección), muestra, muestreo, unidad de análisis**

#### **3.3.1. Población**

Para Hernández, R. (2014, p. 206), la población refiere al conjunto de elementos o casos que tienen las mismas características y especificaciones.

Para el presente estudio se consideró como población a la cantidad de muestra sintética o acondicionada elaborada en el laboratorio, que fue de 200 litros.

#### **3.3.2. Muestra**

La muestra es aquel subgrupo de la población, del cual se efectuará la recolección de datos, esta muestra debe ser representativa. (Hernández, R., 2014, p. 207).

Por lo tanto, en la investigación se consideró como muestra para el análisis y tratamiento la cantidad de 100 litros.

### **3.3.3. Muestreo, unidad de análisis**

El tipo de muestreo aplicado en la presente investigación fue de tipo no probabilística o dirigida, que consiste en seleccionar la muestra de acuerdo con las características de la investigación, es decir que las muestras fueron elaboradas tomando en cuenta las características y finalidad del tratamiento.

## **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

### **3.4.1. Técnicas de recolección de datos**

La técnica aplicada al presente estudio fue **observacional**, puesto que a medida que se realizó el tratamiento de las muestras se observó el comportamiento de las variables.

### **3.4.2. Instrumentos de recolección de datos**

Para el desarrollo de la investigación se utilizaron instrumentos de laboratorio como pH-metro, multiparámetro, espectrofotómetro, entre otros.

## **3.5. Procedimientos**

### **3.5.1. Obtención de muestra sintética**

Para la obtención de muestras sintética a nivel laboratorio, se consideró 100 mg/L de cianuro disuelto en agua pura, de tal modo que al iniciar el tratamiento se tenga la concentración mencionada.

Ahora bien, el tratamiento inició con la caracterización del efluente preparado, de tal modo que se determine el pH, T° y concentración de cianuro, seguidamente pasamos al método de jarras con las dosis especificadas para el tratamiento.

### **3.5.2. Características del tratamiento**

Para el tratamiento del efluente con cianuro se consideró como volumen de muestra constante 1000 ml y la cual estará en base a dos oxidantes: **Peróxido**

**de Hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>):** con una concentración patrón de 50 g/L equivalente a 50% e **Hipoclorito de Sodio (NaClO):** con una concentración patrón de 100 g/L o 100%.

El tratamiento se realizó con un volumen constante de muestra de 1000 ml por tratamiento y corrida respectivamente y una concentración de cianuro de 100 mg/L, las dosis constantes del oxidante hipoclorito de sodio (NaClO), fueron de 20, 30, 40, 50 y 70 mg/L, versus las dosis de peróxido de hidrógeno aplicada a cada tratamiento fue de 100, 130, 150, 170 y 200 mg/L respectivamente considerando dos tiempos de tratamiento de 15 y 30 minutos.

Por otro lado, se tuvo una corrida de tratamiento más 3 repeticiones para cada una, considerando finamente los resultados promedio. En la siguiente tabla se describe las características del tratamiento aplicado.

**Tabla 6.** *Características del tratamiento*

<b>PATRÓN OXIDANTE</b>	<b>PERÓXIDO DE HIDRÓGENO (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)</b>	<b>HIPOCLORITO DE SODIO (NaClO)</b>
<b>Concentración (g/L)</b>	50	100
<b>Dosis (mg/L)</b>	100, 130, 150, 170 y 200	20, 30, 40, 50 y 70
<b>Tiempo de agitación (min)</b>	15 y 30	
<b>Corridas</b>	1	
<b>Repeticiones</b>	3	
<b>Volumen de muestra (ml)</b>	1 000	

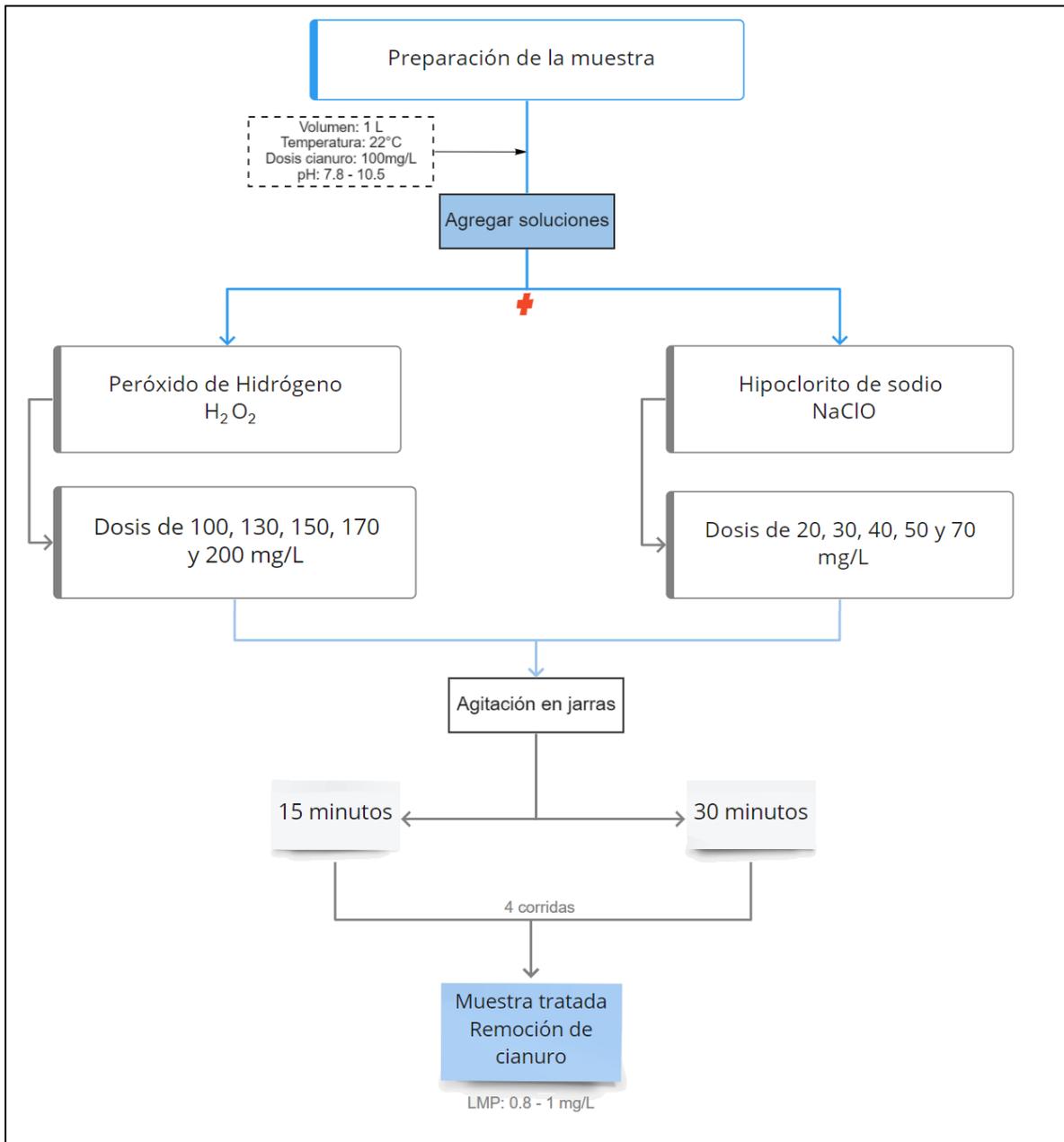


Figura 3. Diagrama del procedimiento

La figura 3 muestra el diagrama del procedimiento explicando paso a paso cómo se desarrolla el presente trabajo de investigación, el cual indica las soluciones oxidantes, el procedimiento que se llevará a cabo, la variable del tiempo y a lo que se desea llegar, que es reducir la concentración de cianuro a niveles aceptables según el LMP.

### **3.6. Método de análisis de datos**

#### **3.6.1. Estadísticos**

La información obtenida estará medida en función a porcentaje simple, frecuencia simple y promedio de los valores obtenidos. Por otro lado, se consideró utilizar la prueba T Student, cuyo análisis permitió comparar y analizar los valores de LMP con los valores obtenidos de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Así también se utilizó el Software IBM SPSS y MINITAB 2019.

#### **3.6.2. Representación**

De acuerdo con los resultados obtenidos, estos se representarán mediante diagramas de distribución, tablas de doble entrada, histogramas y figuras de barra, caja de bigotes, con lo cuales se visualicen e interpreten fácilmente los resultados. La elaboración de estas figuras se realizó en el Software Microsoft Excel 2016 y Software IBM SPSS.

#### **3.6.3. Técnica de Comprobación de Hipótesis**

Para identificar la prueba de hipótesis adecuada a la presente investigación se aplicaron las pruebas de ANOVA y TUKEY para los diferentes valores, así también para la contrastación de la tercera hipótesis se utilizó la T-Student. El propósito es poder aceptar o rechazar la hipótesis planteada en un inicio, se tuvo en cuenta una comparación múltiple por medio de un diseño al azar donde  $\alpha = 0.05$ . Se consideraron estas pruebas ya que se contó con datos para cada variable.

Para ello se han considerado la hipótesis nula (H<sub>0</sub>) y la hipótesis alterna (H<sub>a</sub>), con la finalidad de verificar el requisito de normalidad, necesario para las pruebas paramétricas.

### **3.7. Aspectos éticos**

En todo el documento se respetó la norma ISO-690, así como la estructura del informe de investigación proporcionada por la Universidad César Vallejo.

Se respetó la propiedad intelectual de los autores de los diversos estudios de investigación consultados, por lo cual se citó de manera adecuada los antecedentes y bibliografía de las fuentes utilizadas.

Durante la elaboración de la investigación se tomó en cuenta la honradez, no sólo en la formulación de resultados, sino también se tuvo un respeto por los datos observados, los cuales no fueron editados/deformados con fines de demostrar nuestra hipótesis.

## IV. RESULTADOS

A continuación, se mostrarán los resultados obtenidos durante el proceso experimental en laboratorio, desde la obtención de las muestras, su análisis hasta el tratamiento.

### 4.1 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se mostrarán los resultados obtenidos durante el proceso experimental en laboratorio, desde la obtención de las muestras, su análisis, hasta el tratamiento.

#### 4.1.1 Caracterización del efluente sintético cianurado

En el siguiente cuadro se muestran los resultados de la caracterización del efluente sintético cianurado antes de iniciar el proceso de tratamiento por procesos de Oxidación Avanzada mediante el uso de peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) e hipoclorito de sodio ( $NaClO$ ).

**Tabla 7.** Caracterización del efluente sintético cianurado

MUESTRA	T (°C)	pH Inicial	pH Final	CN <sup>-</sup> (mg/L)	Volumen (L)	LMP*
M-1	22.5	7.8	10.5	100	1	0.8 a 1 mg/L

*T: Temperatura*

*pH: Potencial de Hidrógeno*

*CN: Cianuro*

*LMP\*: Límite Máximo Permisible D.S. N° 010-2010-MINAM*

De la tabla podemos observar que la concentración inicial de nuestra muestra contaminada fue de 100 mg/L de Cianuro, preparada en un litro y acondicionada un pH de 10.5, además la normativa a comparar indica que el cianuro sobrepasa en un 100%.

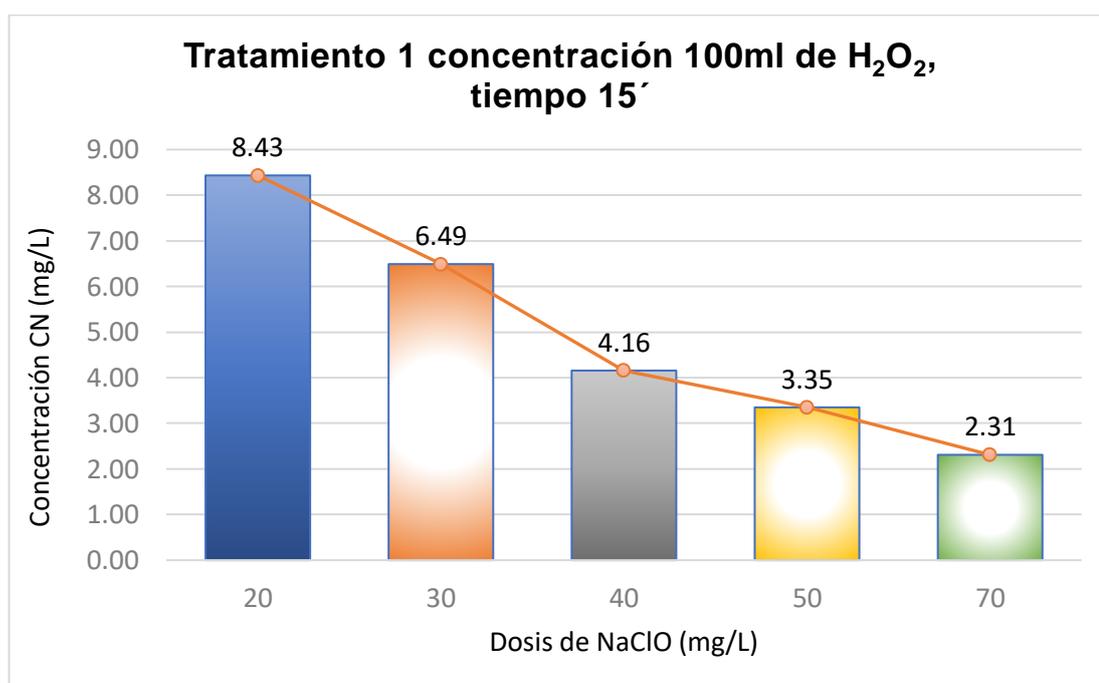
#### 4.1.2 Tratamiento 1 concentración 100 mg/L (15')

En el tratamiento 1, se consideró 100 mg/L como dosis del peróxido de hidrógeno y un tiempo de contacto de 15 minutos.

**Tabla 8.** Tratamiento 1 concentración 100 de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, tiempo 15´

MUESTRA	TIEMPO DE CONTACTO: 15´				
	Dosis H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)	100	100	100	100
Dosis NaClO (mg/L)	20	30	40	50	70
CN´(mg/L)	8.53	6.41	4.14	3.33	2.25
REPETICIONES					
1	8.43	6.51	4.11	3.35	2.32
2	8.49	6.38	4.21	3.41	2.33
3	8.38	6.58	4.15	3.29	2.28
PROMEDIO	8.43	6.49	4.16	3.35	2.31

Fuente: Elaboración propia



**Figura 4.** Tratamiento 1 concentración 100 de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, tiempo 15´

En la Figura 4 se pueden observar los resultados que se obtuvieron al utilizar una dosis fija de 100mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y una dosis variable de NaClO durante un tiempo de agitación de 15 minutos, disminuyendo la concentración desde 8.42 mg/L con 20mg/L de dosis y encontrándose que una mayor remoción se logra con una dosis de NaClO de 70 mg/L llegando a una concentración de 2.31 mg/L, en promedio a las corridas realizadas.

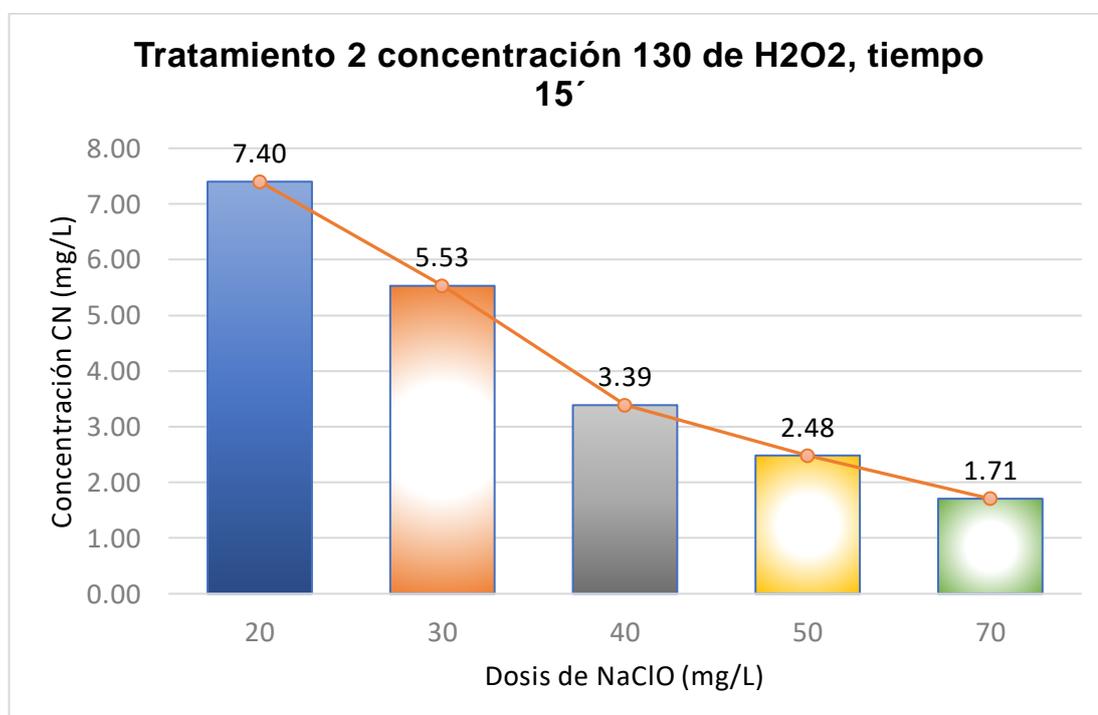
#### 4.1.3 Tratamiento 2 concentración 130 mg/L (15')

En el tratamiento 2, se consideró 130 mg/L como dosis del peróxido de hidrógeno y un tiempo de contacto de 15 minutos.

**Tabla 9.** *Tratamiento 2 concentración 130 de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, tiempo 15'*

MUESTRA	TIEMPO DE CONTACTO: 15'				
Dosis H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)	130	130	130	130	130
Dosis NaClO (mg/L)	20	30	40	50	70
CN(mg/L)	7.33	5.61	3.44	2.43	1.65
REPETICIONES					
1	7.43	5.56	3.40	2.51	1.72
2	7.39	5.48	3.41	2.48	1.71
3	7.38	5.55	3.35	2.46	1.69
PROMEDIO	7.40	5.53	3.39	2.48	1.71

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 5.** *Tratamiento 2 concentración 130 de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, tiempo 15'*

En la Figura 5 se pueden observar los resultados que se obtuvieron al utilizar una dosis fija de 130mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y una dosis variable de NaClO durante un tiempo de agitación de 15 minutos, disminuyendo la concentración desde 7.40 mg/L con 20mg/L de dosis y encontrándose que una mayor remoción se logra con una dosis de NaClO de 70 mg/L llegando a una concentración de 1.71 mg/L, en promedio a las corridas realizadas.

#### 4.1.4 Tratamiento 3 concentración 150 mg/L (15')

En el tratamiento 3, se consideró 150 mg/L como dosis del peróxido de hidrógeno y un tiempo de contacto de 15 minutos.

**Tabla 10.** Tratamiento 3 concentración 150 de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, tiempo 15'

MUESTRA	TIEMPO DE CONTACTO: 15'				
Dosis H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)	150	150	150	150	150
Dosis NaClO (mg/L)	20	30	40	50	70
CN'(mg/L)	3.41	2.15	1.66	1.05	0.75
REPETICIONES					
1	3.31	2.16	1.55	1.02	0.85
2	3.40	2.14	1.51	1.03	0.97
3	3.38	2.13	1.68	1.07	0.77
PROMEDIO	3.36	2.14	1.58	1.04	0.86

Fuente: Elaboración propia.

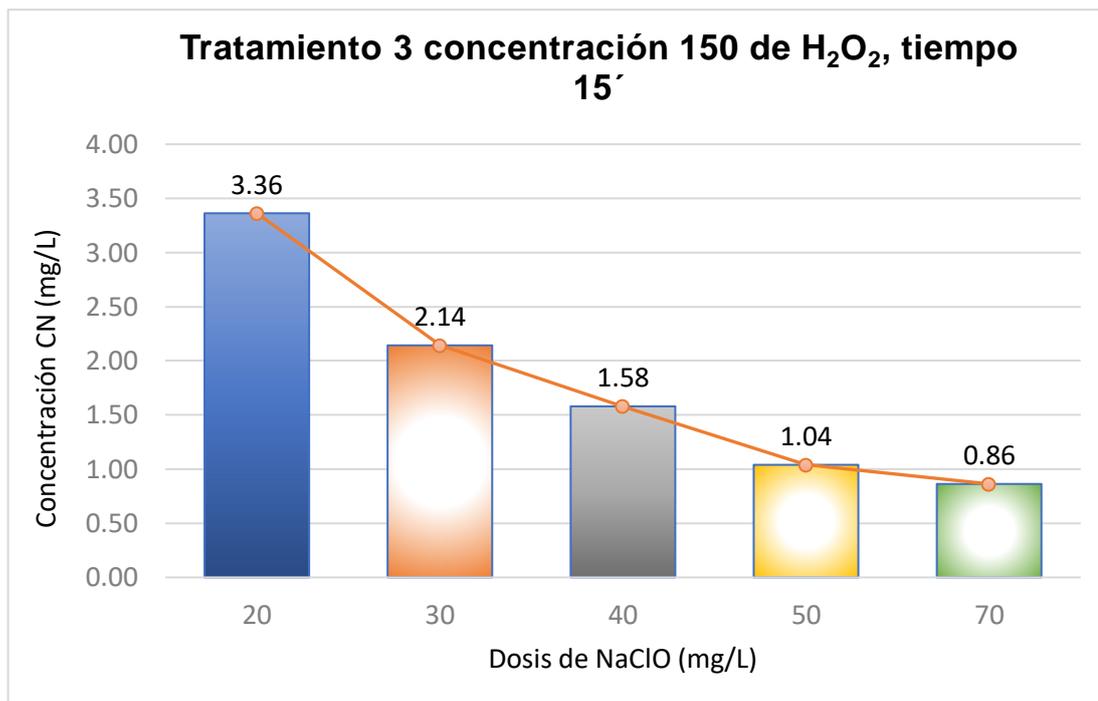


Figura 6. Tratamiento 3 concentración 150 de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, tiempo 15''

En la Figura 6 se pueden observar los resultados que se obtuvieron al utilizar una dosis fija de 150mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y una dosis variable de NaClO durante un tiempo de agitación de 15 minutos, disminuyendo la concentración desde 3.36 mg/L con 20mg/L de dosis y encontrándose que una mayor remoción se logra con una dosis de NaClO de 70 mg/L llegando a una concentración de 0.86 mg/L, en promedio a las corridas realizadas.

#### 4.1.5 Tratamiento 4 concentración 170 mg/L (15')

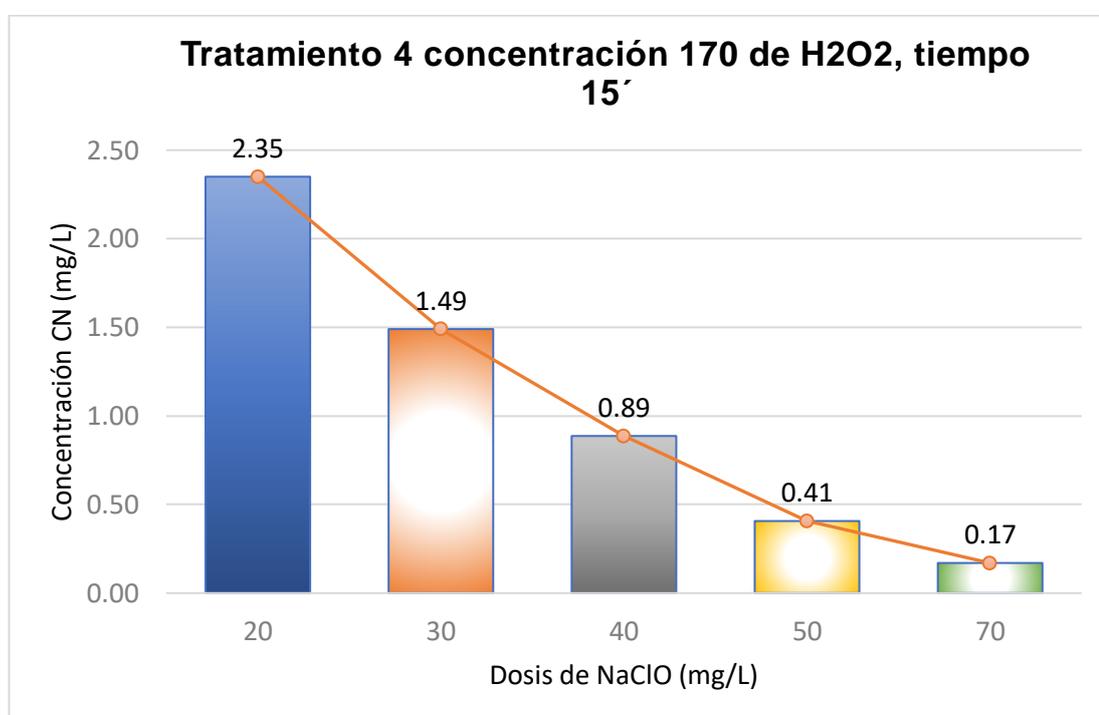
En el tratamiento 4, se consideró 170 mg/L como dosis del peróxido de hidrógeno y un tiempo de contacto de 15 minutos.

Tabla 11. Tratamiento 4 concentración 170 de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, tiempo 15'

MUESTRA	TIEMPO DE CONTACTO: 15'				
Dosis H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)	170	170	170	170	170
Dosis NaClO (mg/L)	20	30	40	50	70

MUESTRA	TIEMPO DE CONTACTO: 15'				
	CN'(mg/L)	2.33	1.41	0.94	0.34
REPETICIONES					
1	2.35	1.51	0.83	0.35	0.17
2	2.41	1.38	0.95	0.48	0.16
3	2.29	1.58	0.88	0.39	0.18
PROMEDIO	2.35	1.49	0.89	0.41	0.17

Fuente: Elaboración propia.



*Figura 7.* Tratamiento 4 concentración 170 de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, tiempo 15'

En la Figura 7 se pueden observar los resultados que se obtuvieron al utilizar una dosis fija de 170mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y una dosis variable de NaClO durante un tiempo de agitación de 15 minutos, disminuyendo la concentración desde 2.35 mg/L con 20mg/L de dosis y encontrándose que una mayor remoción se logra con una dosis de NaClO de 70 mg/L llegando a una concentración 0.17 mg/L, en promedio a las corridas realizadas.

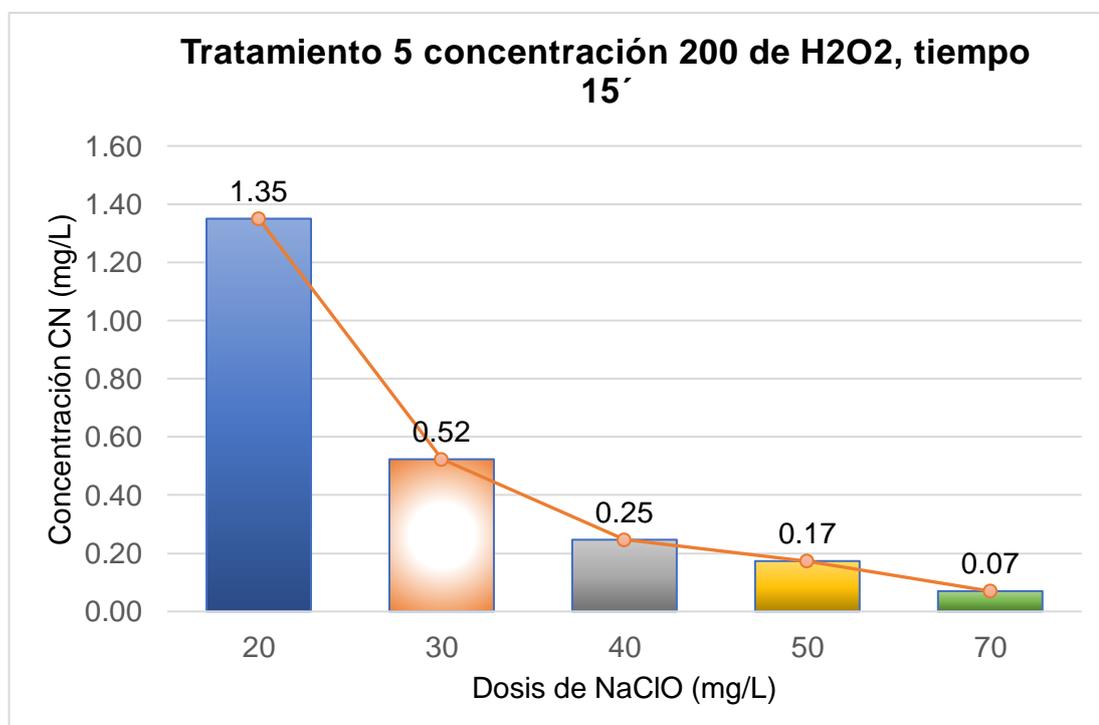
#### 4.1.6 Tratamiento 5 concentración 200 mg/L (15')

En el tratamiento 5, se consideró 200 mg/L como dosis del peróxido de hidrógeno y un tiempo de contacto de 15 minutos.

**Tabla 12.** *Tratamiento 5 concentración 200 de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, tiempo 15'*

MUESTRA	TIEMPO DE CONTACTO: 15'				
Dosis H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)	200	200	200	200	200
Dosis NaClO (mg/L)	20	30	40	50	70
CN (mg/L)	1.33	0.41	0.25	0.16	0.05
REPETICIONES					
1	1.35	0.51	0.23	0.15	0.07
2	1.41	0.48	0.25	0.18	0.06
3	1.29	0.58	0.26	0.19	0.08
PROMEDIO	1.35	0.52	0.25	0.17	0.07

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 8.** *Tratamiento 5 concentración 200 de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, tiempo 15'*

En la Figura 8 se pueden observar los resultados que se obtuvieron al utilizar una dosis fija de 200mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y una dosis variable de NaClO durante un tiempo de agitación de 15 minutos, disminuyendo la concentración desde 1.35 mg/L con 20mg/L de dosis y encontrándose que una mayor remoción se logra con una dosis de NaClO de 70 mg/L llegando a una concentración de 0.07 mg/L, en promedio a las corridas realizadas.

#### 4.1.7 Tratamiento 6 concentración 100 mg/L (30')

En el tratamiento 6, se consideró 100 mg/L como dosis del peróxido de hidrógeno y un tiempo de contacto de 30 minutos.

**Tabla 13.** *Tratamiento 6 concentración 100 de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, tiempo 30'*

MUESTRA	TIEMPO DE CONTACTO: 30'				
Dosis H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)	100	100	100	100	100
Dosis NaClO (mg/L)	20	30	40	50	70
CN <sup>-</sup> (mg/L)	7.63	5.48	3.54	2.73	1.85
REPETICIONES					
1	7.63	5.51	3.47	2.75	1.82
2	7.69	5.48	3.41	2.71	1.79
3	7.58	5.46	3.45	2.69	1.88
PROMEDIO	7.63	5.48	3.44	2.72	1.83

Fuente: Elaboración propia.

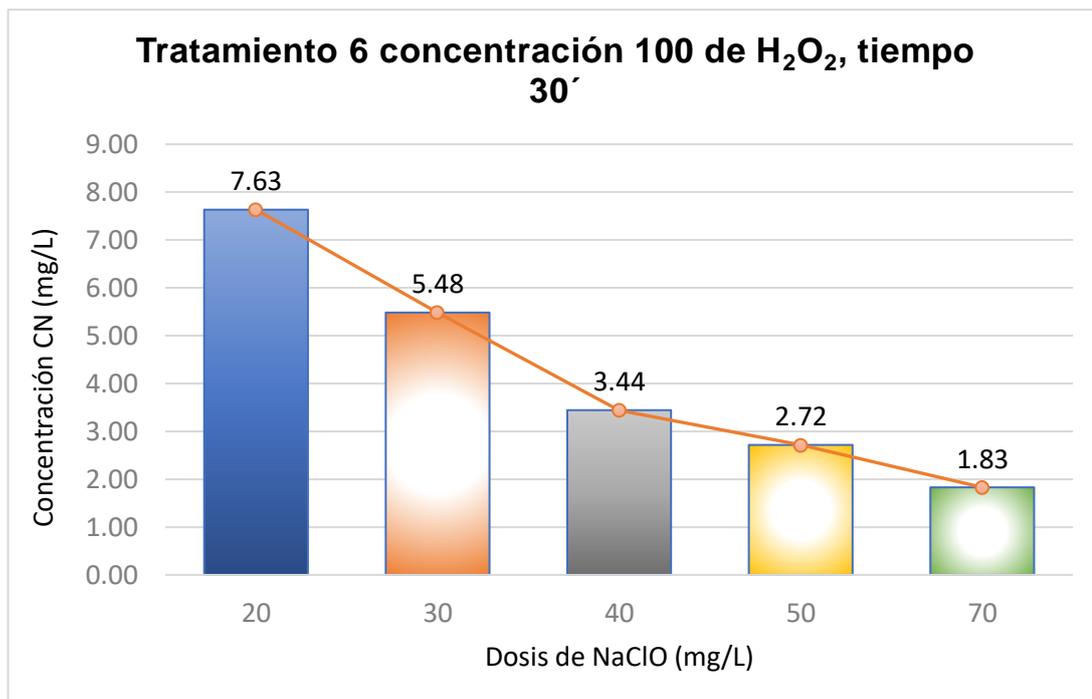


Figura 9. Tratamiento 6 concentración 100 de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, tiempo 30´

En la Figura 9 se pueden observar los resultados que se obtuvieron al utilizar una dosis fija de 100mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y una dosis variable de NaClO durante un tiempo de agitación de 30 minutos, disminuyendo la concentración desde 7.63 mg/L con 20mg/L de dosis y encontrándose que una mayor remoción se logra con una dosis de NaClO de 70 mg/L llegando a una concentración de 1.83 mg/L, en promedio a las corridas realizadas.

#### 4.1.8 Tratamiento 7 concentración 130 mg/L (30´)

En el tratamiento 7, se consideró 130 mg/L como dosis del peróxido de hidrógeno y un tiempo de contacto de 30 minutos.

Tabla 14. Tratamiento 7 concentración 130 de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, tiempo 30´

MUESTRA	TIEMPO DE CONTACTO: 30´				
	20	30	40	50	70
Dosis H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)	130	130	130	130	130
Dosis NaClO (mg/L)	20	30	40	50	70
CN(mg/L)	6.38	4.65	2.54	1.53	1.01

MUESTRA	TIEMPO DE CONTACTO: 30'				
REPETICIONES					
1	6.36	4.52	2.57	1.51	1.02
2	6.43	4.49	2.56	1.49	1.01
3	6.37	4.51	2.55	1.52	1.03
PROMEDIO	6.39	4.51	2.56	1.51	1.02

Fuente: Elaboración propia.

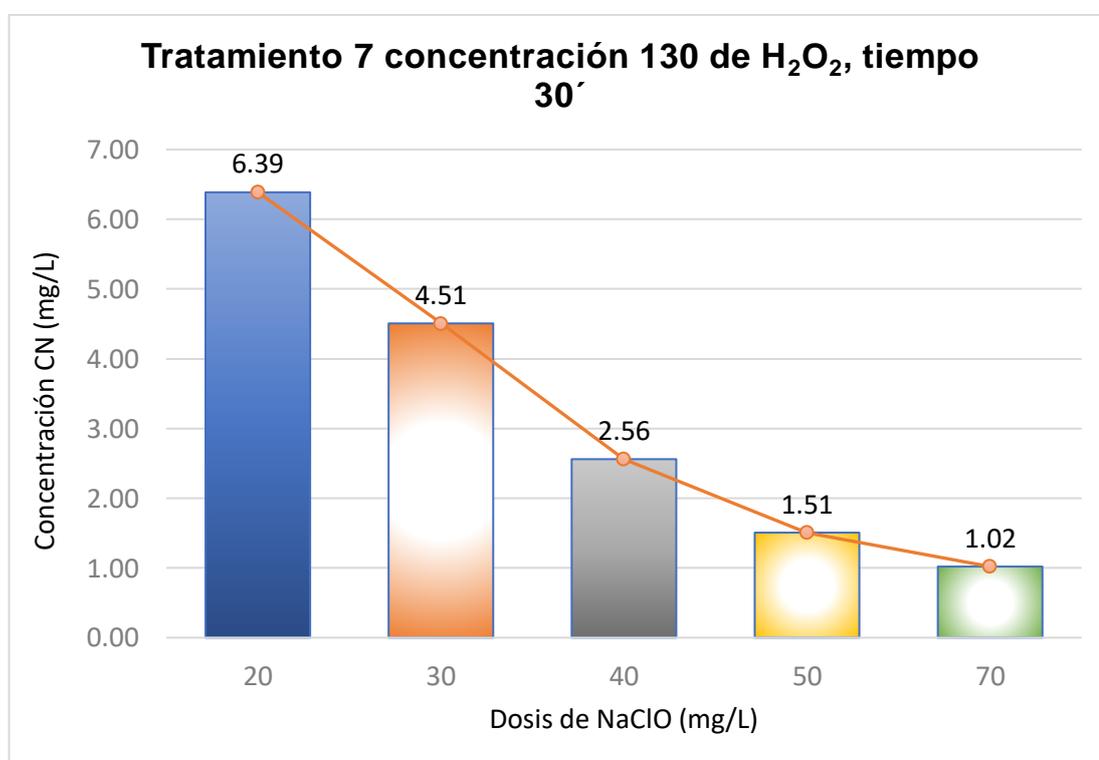


Figura 10. Tratamiento 7 concentración 130 de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, tiempo 30'

En la Figura 10 se pueden observar los resultados que se obtuvieron al utilizar una dosis fija de 130mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y una dosis variable de NaClO durante un tiempo de agitación de 30 minutos, disminuyendo la concentración desde 6.36 mg/L con 20mg/L de dosis y encontrándose que una mayor remoción se logra con una dosis de NaClO de 70 mg/L llegando a una concentración 1.02 mg/L, en promedio a las corridas realizadas.

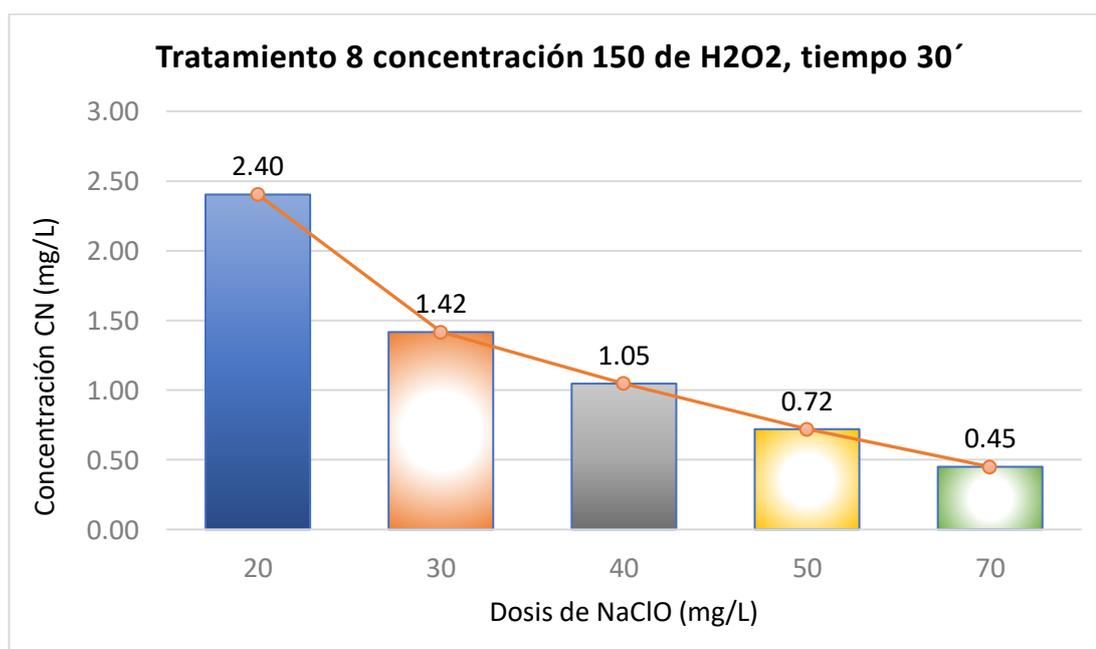
#### 4.1.9 Tratamiento 8 concentración 150 mg/L (30')

En el tratamiento 8, se consideró 150 mg/L como dosis del peróxido de hidrógeno y un tiempo de contacto de 30 minutos. una dosis de 70 mg/L, puesto que tuvo mayor remoción del cianuro.

**Tabla 15.** *Tratamiento 8 concentración 150 de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, tiempo 30'*

MUESTRA	TIEMPO DE CONTACTO: 30'				
Dosis H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)	150	150	150	150	150
Dosis NaClO (mg/L)	20	30	40	50	70
CN <sup>-</sup> (mg/L)	2.41	1.39	1.06	0.71	0.45
REPETICIONES					
1	2.41	1.38	1.05	0.72	0.45
2	2.42	1.44	1.01	0.73	0.47
3	2.38	1.43	1.08	0.71	0.43
PROMEDIO	2.40	1.42	1.05	0.72	0.45

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 11.** *Tratamiento 8 concentración 150 de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> , tiempo 30'*

En la Figura 11 se pueden observar los resultados que se obtuvieron al utilizar una dosis fija de 150mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y una dosis variable de NaClO durante un tiempo de agitación de 30 minutos, disminuyendo la concentración desde 2.40 mg/L con 20mg/L de dosis y encontrándose que una mayor remoción se logra con una dosis de NaClO de 70 mg/L llegando a una concentración de 0.45 mg/L, en promedio a las corridas realizadas.

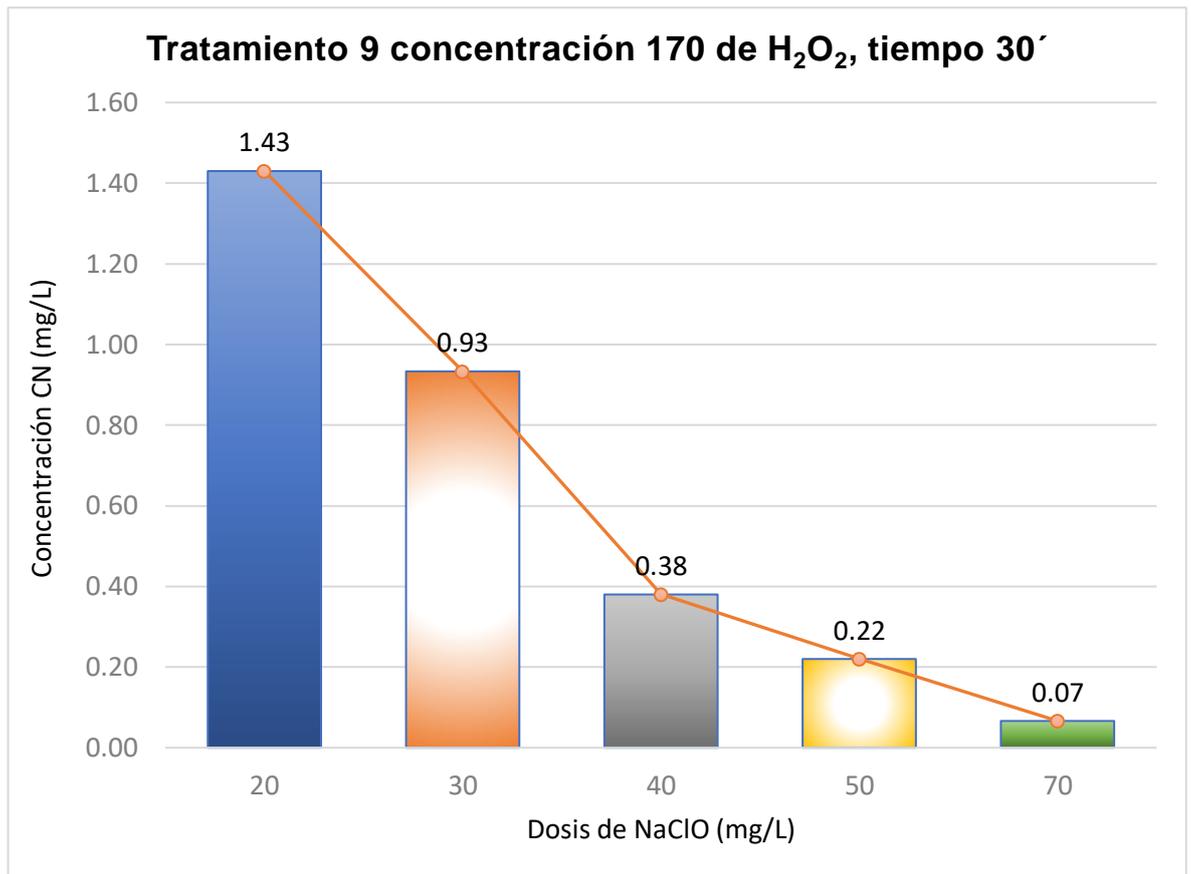
#### 4.1.10 Tratamiento 9 concentración 170 mg/L (30´)

En el tratamiento 9, se consideró 170 mg/L como dosis del peróxido de hidrógeno y un tiempo de contacto de 30 minutos.

**Tabla 16.** *Tratamiento 9 concentración 170 de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, tiempo 30´*

<b>MUESTRA</b>	<b>TIEMPO DE CONTACTO: 30´</b>				
<b>Dosis H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (mg/L)</b>	170	170	170	170	170
<b>Dosis NaClO (mg/L)</b>	20	30	40	50	70
<b>CN´(mg/L)</b>	1.43	0.96	0.38	0.21	0.11
<b>REPETICIONES</b>					
<b>1</b>	1.45	0.93	0.37	0.22	0.09
<b>2</b>	1.41	0.95	0.38	0.23	0.10
<b>3</b>	1.43	0.92	0.39	0.21	0.009
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.43</b>	<b>0.93</b>	<b>0.38</b>	<b>0.22</b>	<b>0.07</b>

Fuente: Elaboración propia.



*Figura 12.* Tratamiento 9 concentración 170 de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, tiempo 30´

En la Figura 12 se pueden observar los resultados que se obtuvieron al utilizar una dosis fija de 170mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y una dosis variable de NaClO durante un tiempo de agitación de 30 minutos, disminuyendo la concentración desde 1.43 mg/L con 20mg/L de dosis y encontrándose que una mayor remoción se logra con una dosis de NaClO de 70 mg/L llegando a una concentración de 0.07 mg/L, en promedio a las corridas realizadas.

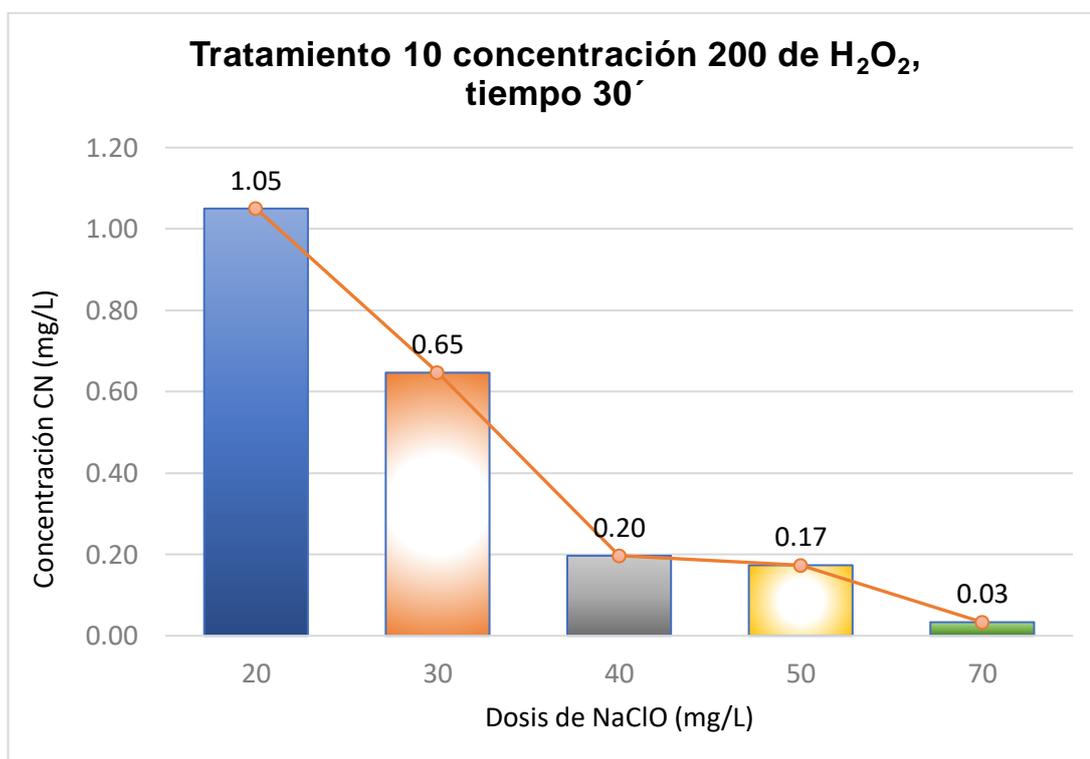
#### 4.1.11 Tratamiento 10 concentración 200 mg/L (30´)

En el tratamiento 10, se consideró 200 mg/L como dosis del peróxido de hidrógeno y un tiempo de contacto de 30 minutos.

**Tabla 17.** Tratamiento 10 concentración 200 de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, tiempo 30´

MUESTRA	TIEMPO DE CONTACTO: 30´				
	Dosis H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)	200	200	200	200
Dosis NaClO (mg/L)	20	30	40	50	70
CN (mg/L)	1.08	0.65	0.21	0.16	0.047
REPETICIONES					
1	1.05	0.61	0.20	0.15	0.03
2	1.01	0.68	0.19	0.18	0.03
3	1.09	0.65	0.20	0.19	0.04
PROMEDIO	1.05	0.65	0.20	0.17	0.03

Fuente: Elaboración propia.



*Figura 13.* Tratamiento 10 concentración 200 de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, tiempo 30´

En la Figura 13 se pueden observar los resultados que se obtuvieron al utilizar una dosis fija de 200mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y una dosis variable de NaClO durante un

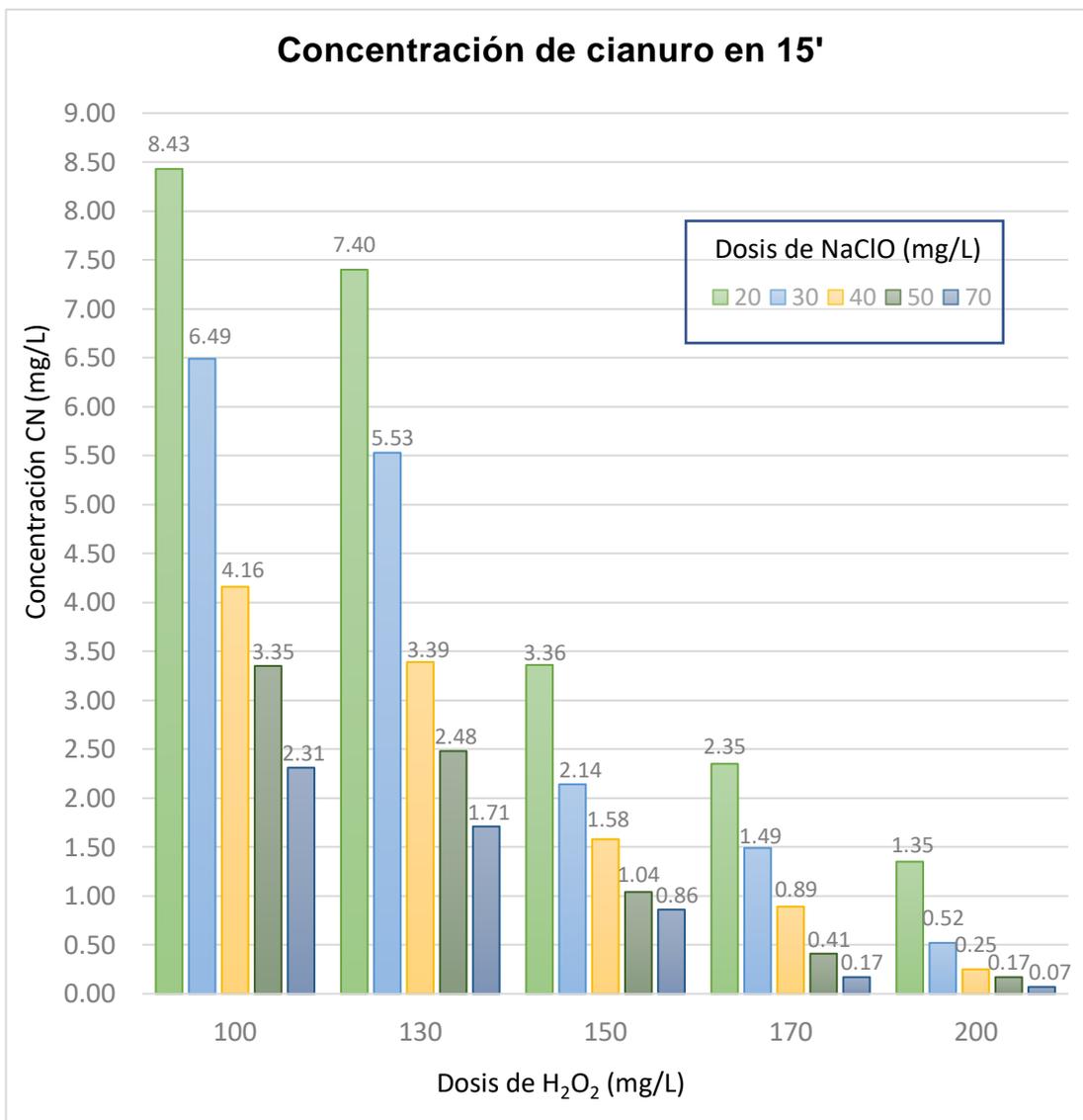
tiempo de agitación de 30 minutos, disminuyendo la concentración desde 1.05 mg/L con 20mg/L de dosis y encontrándose que una mayor remoción se logra con una dosis de NaClO de 70 mg/L llegando a una concentración de 0.03 mg/L, en promedio a las corridas realizadas.

#### 4.1.12 Resumen de tratamientos por tiempo

Luego de realizar los tratamientos en diferentes dosis de peróxido de hidrógeno e hipoclorito de sodio, finalmente se obtuvo que la mejor dosis de remoción del contaminante cianuro se logra a partir de 70 mg/L de NaClO y 200 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, con un tiempo de contacto de 15 y 30 minutos, tal como se visualiza en el siguiente cuadro:

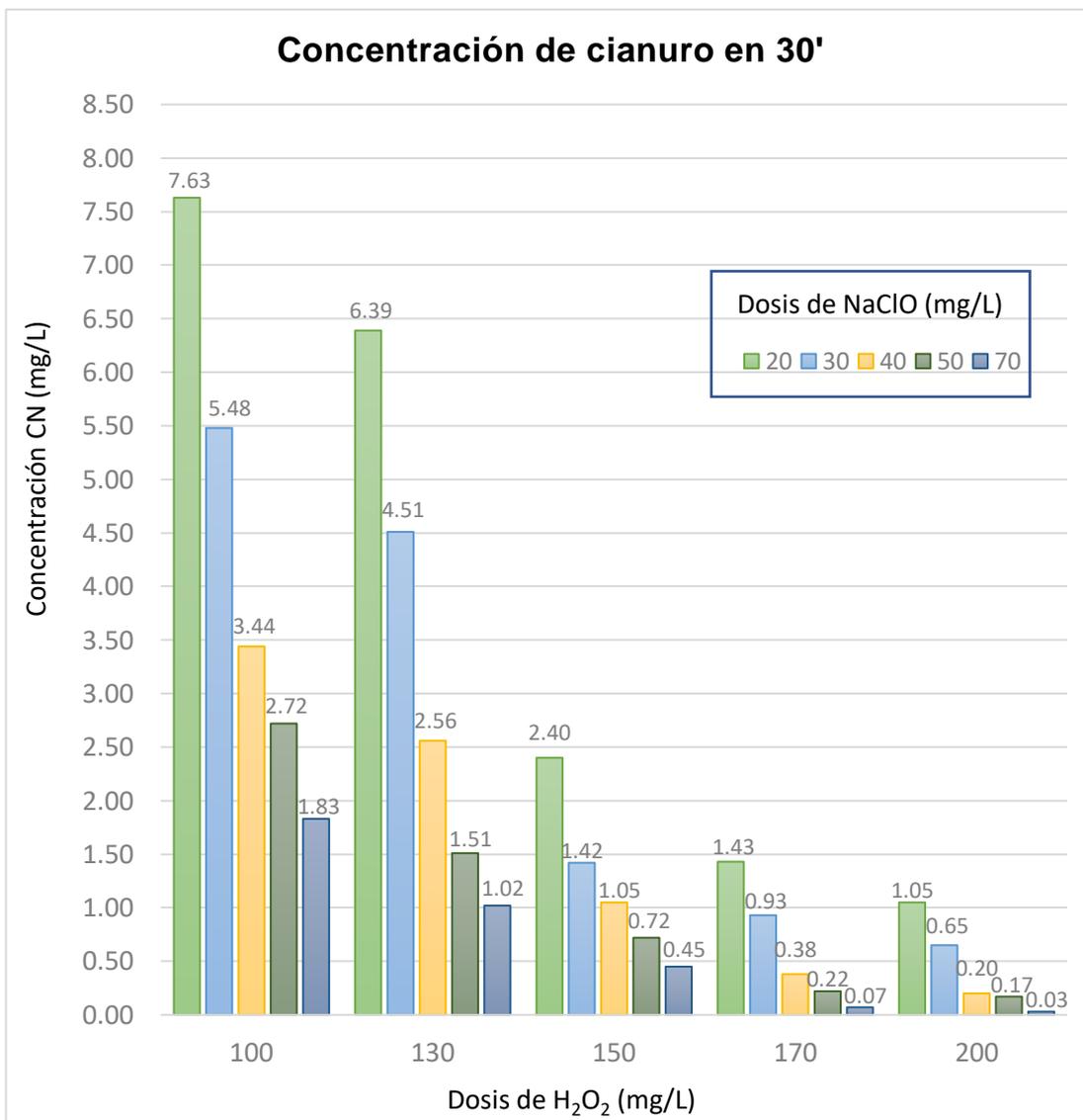
**Tabla 18.** Resumen de tratamientos por tiempo

Resultados a 15 minutos					
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /NaClO	20	30	40	50	70
100	8.43	6.49	4.16	3.35	2.31
130	7.40	5.53	3.39	2.48	1.71
150	3.36	2.14	1.58	1.04	0.86
170	2.35	1.49	0.89	0.41	0.17
200	1.35	0.52	0.25	0.17	0.07
Resultados a 30 minutos					
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /NaClO	20	30	40	50	70
100	7.63	5.48	3.44	2.72	1.83
130	6.39	4.51	2.56	1.51	1.02
150	2.40	1.42	1.05	0.72	0.45
170	1.43	0.93	0.38	0.22	0.07
200	1.05	0.65	0.20	0.17	0.03



*Figura 14. Comparación de resultados con diferentes dosis en 15'*

En la Figura 14 se pueden observar todos los resultados promedios que se obtuvieron al utilizar las dosis de 100, 130, 150, 170 y 200 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y las dosis de 20, 30, 40, 50 y 70 mg/L de NaClO durante un tiempo de agitación de 15 minutos, donde se muestra que la mayor reducción se consigue con dosis de 200 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y diferentes dosis de NaClO.



*Figura 15. Comparación de resultados con diferentes dosis en 30'*

En la Figura 15 se pueden observar todos los resultados promedios que se obtuvieron al utilizar las dosis de 100, 130, 150, 170 y 200 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y las dosis de 20, 30, 40, 50 y 70 mg/L de NaClO durante un tiempo de agitación de 30 minutos, donde se muestra que la mayor reducción se consigue con dosis de 200 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y diferentes dosis de NaClO.

**Tabla 19.** Eficiencia en la remoción por tiempo de tratamiento

<b>TIEMPO DE CONTACTO: 15 MIN</b>					
<b>Tratamiento</b>	<b>Dosis de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b>	<b>Dosis de NaClO</b>	<b>Concentración inicial</b>	<b>Concentración final</b>	<b>Porcentaje de remoción</b>
3	150	70	100	0.86	99.14 %
4	170	40	100	0.89	99.11 %
4	170	50	100	0.41	99.59 %
4	170	70	100	0.17	99.83 %
5	200	30	100	0.52	99.48 %
5	200	40	100	0.25	99.75 %
5	200	50	100	0.17	99.83 %
5	200	70	100	0.07	99.93 %
<b>TIEMPO DE CONTACTO: 30 MIN</b>					
<b>Tratamiento</b>	<b>Dosis de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b>	<b>Dosis de NaClO</b>	<b>Concentración inicial</b>	<b>Concentración final</b>	<b>Porcentaje de remoción</b>
8	150	50	100	0.72	99.28 %
8	150	70	100	0.45	99.55 %
9	170	30	100	0.93	99.07 %
9	170	40	100	0.38	99.62 %
9	170	50	100	0.22	99.78 %
9	170	70	100	0.07	99.93 %
10	200	30	100	0.65	99.35 %
10	200	40	100	0.20	99.80 %
10	200	50	100	0.17	99.83 %
10	200	70	100	0.03	99.97 %

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 20.** Resultados y comparación con LMP en 15 minutos

<b>NaClO/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b>	<b>100</b>	<b>130</b>	<b>150</b>	<b>170</b>	<b>200</b>
<b>20</b>	8.43	6.49	4.16	3.35	2.31
<b>30</b>	7.40	5.53	3.39	2.48	1.71
<b>40</b>	3.36	2.14	1.58	1.04	0.86
<b>50</b>	2.35	1.49	0.89	0.41	0.17
<b>70</b>	1.35	0.52	0.25	0.17	0.07

Donde:

	LMP<1
	menor LMP

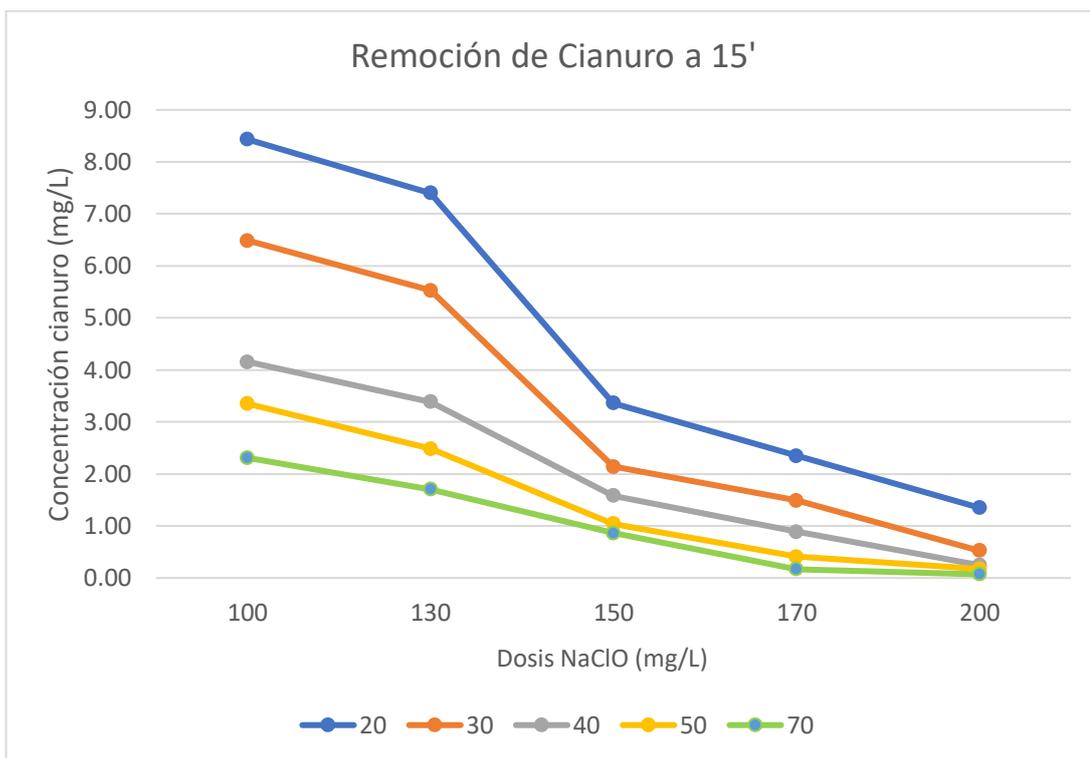


Figura 16. Comparación de resultados con diferentes dosis el 15'

Tabla 21. Resultados que cumplen con el LMP a 15'

NaClO/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	100	130	150	170	200
20					
30					
40					0.86
50			0.89	0.41	0.17
70		0.52	0.25	0.17	0.07

Donde:

	LMP<1
	menor LMP

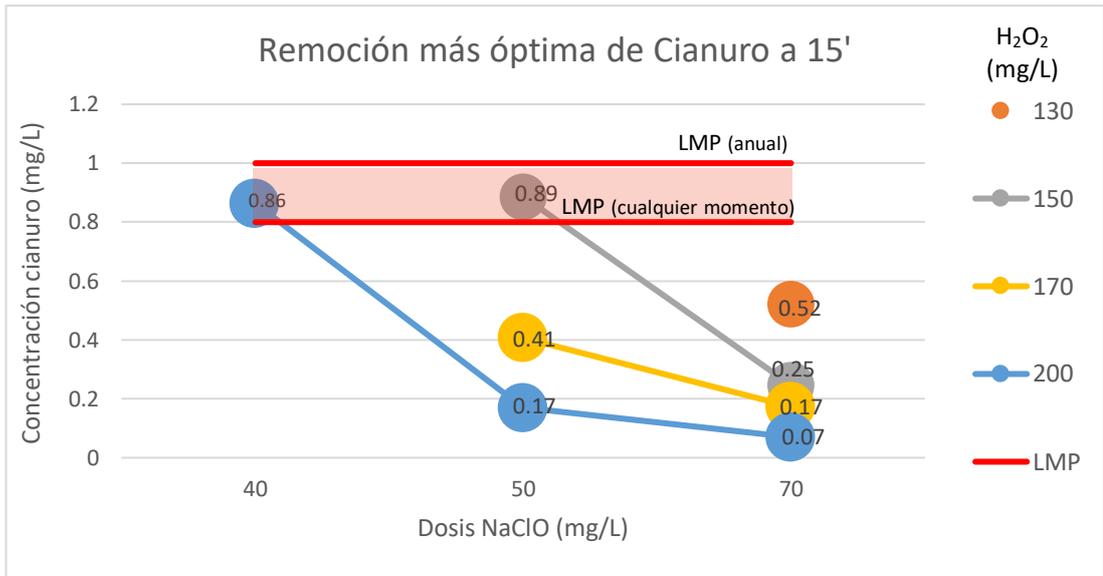


Figura 17. Remoción de cianuro dentro del LMP en muestras a 15'

Tabla 22. Resultados y comparación con LMP en 30 minutos

NaClO/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	100	130	150	170	200
20	7.63	5.48	3.44	2.72	1.83
30	6.39	4.51	2.56	1.51	1.02
40	2.40	1.42	1.05	0.72	0.45
50	1.43	0.93	0.38	0.22	0.07
70	1.05	0.65	0.20	0.17	0.03

Donde:

	LMP < 1
	menor LMP

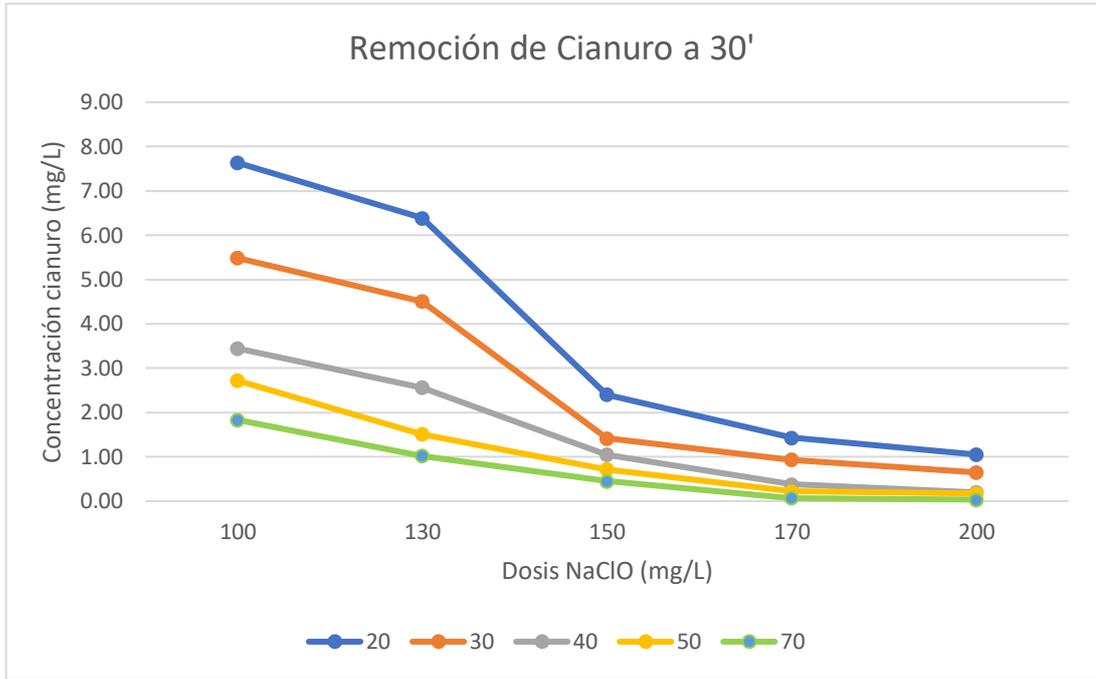


Figura 18. Comparación de resultados con diferentes dosis el 30'

Tabla 23. Resultados que cumplen con el LMP a 30'

NaClO/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	100	130	150	170	200
20					
30					
40				0.72	0.45
50		0.93	0.38	0.22	0.07
70		0.65	0.20	0.17	0.03

Donde:

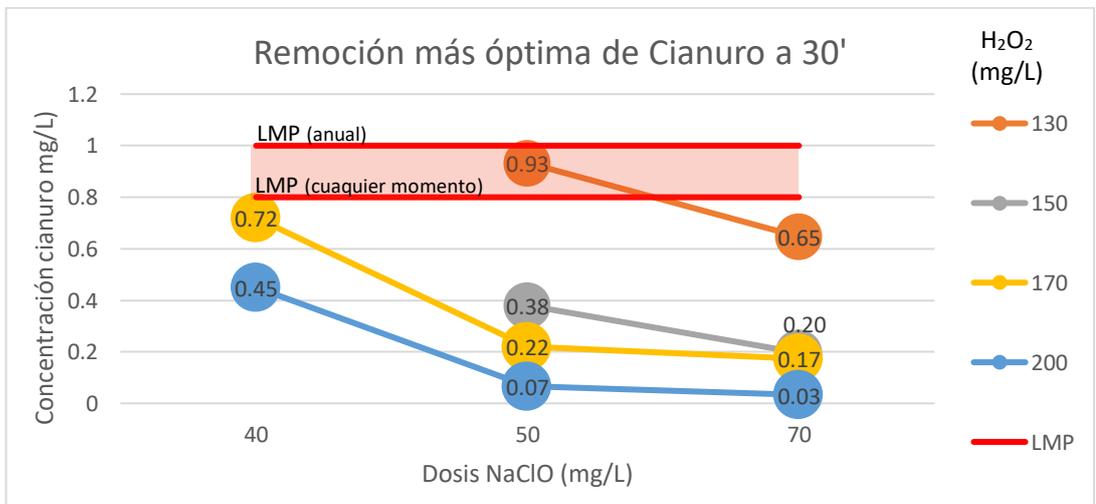
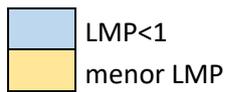


Figura 19. Remoción de cianuro dentro del LMP en muestras a 30'

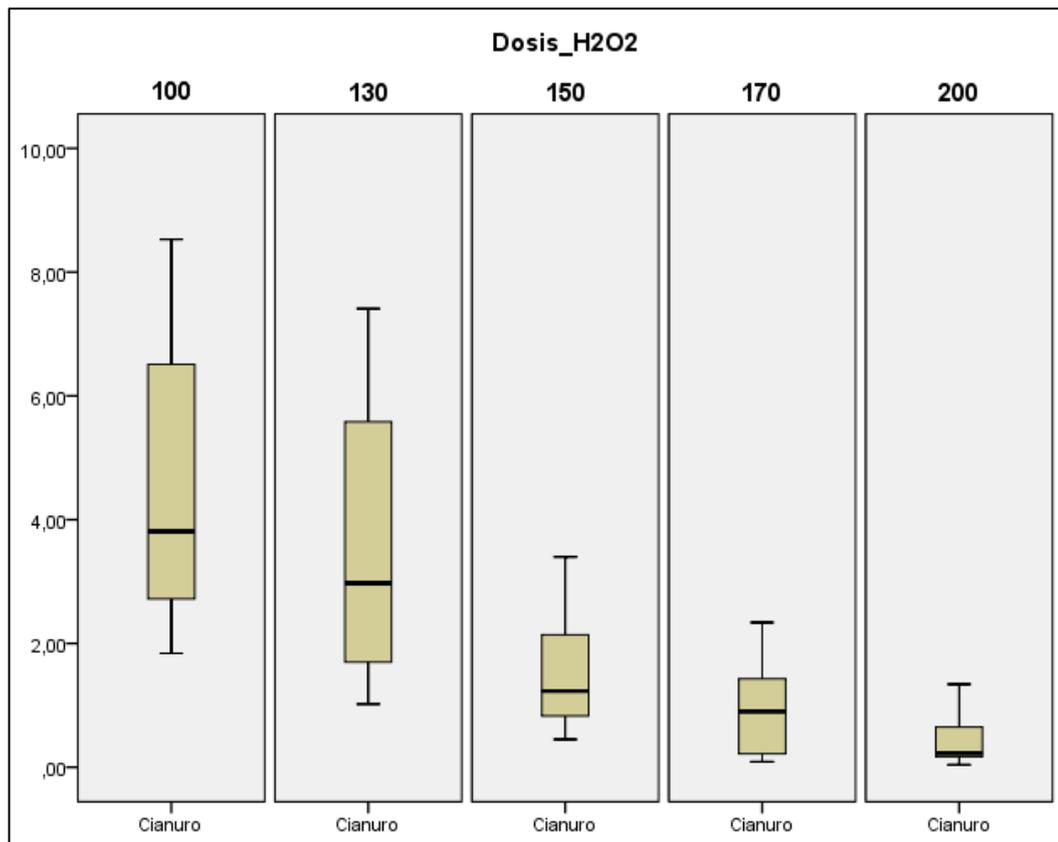
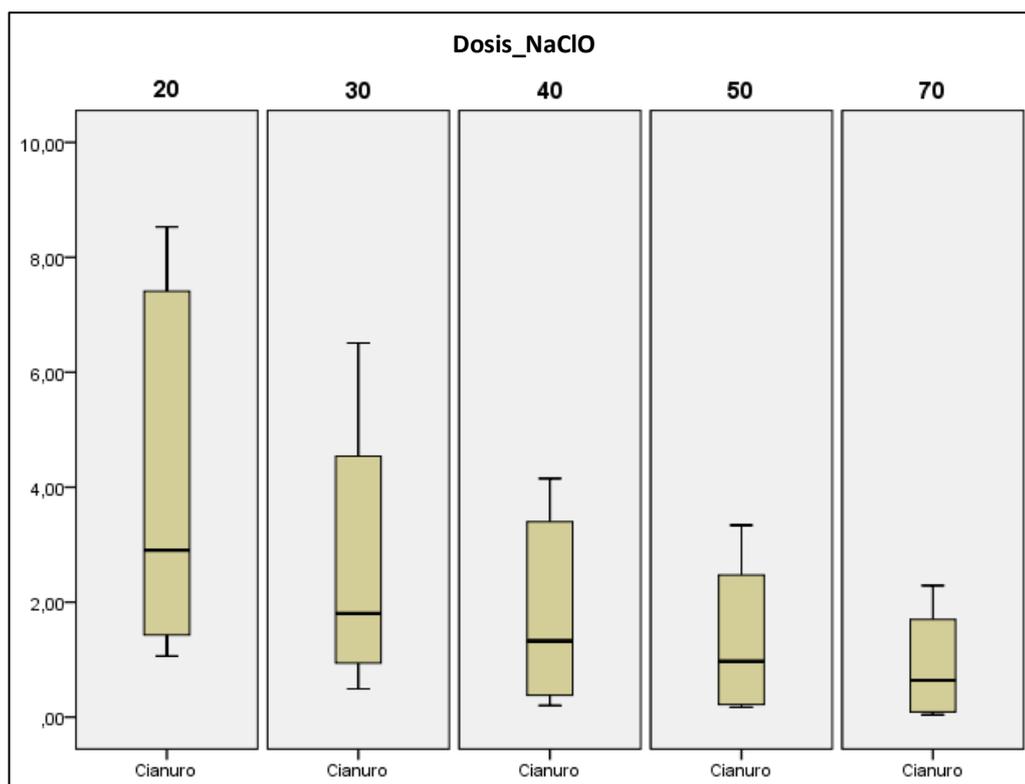


Figura 20. Tratamiento de cianuro con dosis de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

La figura número 20 nos muestra la variabilidad de datos con referencia a la mediana en cada situación para un tratamiento de 15 minutos, comparando los resultados a cada dosis de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, para las dosis de 100mg/L, 130mg/L, 150mg/L y 200 mg/L encontramos que existe una mayor dispersión de datos en el tercer cuartil y una menor dispersión en el segundo cuartil encontrando que los datos aquí están juntos. Respecto a la dosis de 170mg/L vemos que existe una mayor dispersión en el segundo cuartil lo que refleja que en este rango de resultados los datos están más juntos que en el tercer cuartil donde están más dispersos.



*Figura 21. Tratamiento de cianuro con dosis de NaClO*

La figura número 21 nos muestra la variabilidad de datos con referencia a la mediana en cada situación para un tratamiento de 30 minutos, comparando los resultados a cada dosis de  $H_2O_2$  encontramos que existe una mayor dispersión de datos en el tercer cuartil lo que refleja que en este rango de resultados los datos están más separados y una menor dispersión en el segundo cuartil encontrando que los datos aquí están juntos.

## 4.2 CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

### 4.3.1 Objetivo Específico 1

**OE1:** Determinar la dosis óptima del peróxido de hidrógeno y del hipoclorito de sodio en la remoción de cianuro para un tiempo de 15 min en muestras condicionadas a nivel laboratorio.

**HE1:** La dosis óptima del peróxido de hidrógeno y del hipoclorito de sodio influye en la remoción de cianuro para un tiempo de 15 min en muestras acondicionadas a nivel laboratorio.

### Peróxido de Hidrógeno

**Hipótesis Nula:** La dosis del peróxido de hidrógeno no influye en la remoción de cianuro para un tiempo de 15 min en muestras acondicionadas a nivel laboratorio.

**Hipótesis Alternativa:** La dosis del peróxido de hidrógeno influye significativamente en la remoción de cianuro para un tiempo de 15 min en muestras acondicionadas a nivel laboratorio.

**Tabla 24.** Prueba ANOVA de un factor para dosis H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en 15 min

ANOVA de un factor					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	75,570	4	18,893	6,805	,001
Intra-grupos	55,523	20	2,776		
Total	131,093	24			

Fuente: Resultados extraídos del programa SPSS.

Al 5% de significación y sobre la base de la prueba ANOVA se concluye que el **peróxido de hidrógeno** si tiene un efecto significativo en la remoción de cianuro para un **tiempo de 15 min** en muestras acondicionadas a nivel laboratorio (Sig=0.001<0.05) lo cual permite rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alterna.

En tanto en la siguiente tabla se detalla los resultados obtenidos de la prueba de Tukey con la cual se identificó la mejor dosis de peróxido de hidrógeno.

**Tabla 25.** Prueba TUKEY para identificar dosis de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en 15 min

Dosis H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
200	5	,4640		
170	5	1,1540	1,1540	
150	5		1,8020	
130	5		4,1120	4,1120
100	5			4,9640
Sig.		,712	,073	,925

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5,000.

Al 5% de significación y sobre la base de Tukey se puede concluir que 170 y 200 mg/L son la dosis del peróxido de hidrógeno que generan mejores resultados en la disminución de cianuro.

### **Hipoclorito de Sodio**

**Hipótesis Nula:** La dosis del oxidante hipoclorito de sodio no influye en la remoción de cianuro para un tiempo de 15 min en muestras acondicionadas a nivel laboratorio.

**Hipótesis Alternativa:** La dosis del oxidante hipoclorito de sodio influye significativamente en la remoción de cianuro para un tiempo de 15 min en muestras acondicionadas a nivel laboratorio.

**Tabla 26.** Prueba ANOVA de un factor NaClO en 15 min

ANOVA de un factor					
Cianuro					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	41,121	4	10,280	2,285	,096
Intra-grupos	89,972	20	4,499		
Total	131,093	24			

Fuente: Resultados extraídos del programa SPSS.

Al 5% de significación y sobre la base de la prueba ANOVA se concluye que el oxidante hipoclorito de sodio no tiene un efecto significativo en la remoción de cianuro para un tiempo de 15 min en muestras acondicionadas a nivel laboratorio (Sig=0.096 > 0.05 permite aceptar la hipótesis nula).

#### 4.3.2 Objetivo Especifico 2

**OE2:** Determinar la dosis optima del peróxido de hidrógeno y del oxidante hipoclorito de sodio en la remoción de cianuro para un tiempo de 30 min en muestras condicionadas a nivel laboratorio.

**HE2:** La dosis óptima del peróxido de hidrógeno e hipoclorito de sodio influye en la remoción de cianuro para un tiempo de 30 min en muestras acondicionadas a nivel laboratorio.

#### Peróxido de Hidrógeno

**Hipótesis Nula:** La dosis del peróxido de hidrógeno no influye en la remoción de cianuro para un tiempo de 30 min en muestras acondicionadas a nivel laboratorio.

**Hipótesis Alterna:** La dosis del peróxido de hidrógeno influye significativamente en la remoción de cianuro para un tiempo de 30 min en muestras acondicionadas a nivel laboratorio.

**Tabla 27.** Prueba ANOVA de un factor para dosis H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en 30 min

ANOVA de un factor					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	52,621	4	13,155	5,966	,003
Intra-grupos	44,098	20	2,205		
Total	96,719	24			

Fuente: Resultados extraídos del programa SPSS.

Al 5% de significación y sobre la base de la prueba ANOVA se concluye que el **peróxido de hidrógeno** si tiene un efecto significativo en la remoción de cianuro para un **tiempo de 30 min** en muestras acondicionadas a nivel laboratorio (Sig=0.003<0.05) lo cual permite rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alterna.

En tanto en la siguiente tabla se detalla los resultados obtenidos de la prueba de Tukey con la cual se identificó la mejor dosis de peróxido de hidrógeno.

**Tabla 28.** Prueba TUKEY para identificar dosis de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en 30 min

Dosis H2O2	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
200	5	,4240	
170	5	,6120	
150	5	1,2080	
130	5		3,1960
100	5		4,0280
Sig.		,054	,899

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5,000.

Al 5% de significación y sobre la base de Tukey se puede concluir que 150, 170 y 200 mg/L son la dosis del peróxido de hidrógeno que generan mejores resultados en la disminución de cianuro.

### **Hipoclorito de Sodio**

**Hipótesis Nula:** La dosis del oxidante hipoclorito de sodio no influye en la remoción de cianuro para un tiempo de 30 min en muestras acondicionadas a nivel laboratorio.

**Hipótesis Alterna:** La dosis del oxidante hipoclorito de sodio influye significativamente en la remoción de cianuro para un tiempo de 30 min en muestras acondicionadas a nivel laboratorio.

**Tabla 29.** Prueba ANOVA de un factor NaClO en 30 min

ANOVA de un factor					
Cianuro					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	30,394	4	7,598	2,291	,095
Intra-grupos	66,325	20	3,316		
Total	96,719	24			

Fuente: Resultados extraídos del programa SPSS.

Al 5% de significación y sobre la base de la prueba ANOVA se concluye que el oxidante hipoclorito de sodio no tiene un efecto significativo en la remoción de cianuro para un tiempo de 30 min en muestras acondicionadas a nivel laboratorio (Sig=0.095 > 0.05 permite aceptar la hipótesis nula).

#### 4.3.3 Objetivo Especifico 3

**OE3:** Determinar la concentración final de las muestras de cianuro después del proceso de oxidación.

**HE3:** La concentración final del compuesto cianuro, después del proceso de oxidación con hipoclorito de sodio en las muestras acondicionadas fue menor al LMP.

**Hipótesis Nula:** La concentración final del compuesto cianuro, después del proceso de oxidación con peróxido de hidrógeno e hipoclorito de sodio, en las muestras acondicionadas no fue menor al LMP.

**Hipótesis Alternativa:** La concentración final del compuesto cianuro, después del proceso de oxidación con peróxido de hidrógeno e hipoclorito de sodio, en las muestras acondicionadas fue menor al LMP.

**Tabla 30. Prueba ANOVA de un factor para concentración final de cianuro**

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	132,776	9	14,753	5,924	,000
Intra-grupos	99,621	40	2,491		
Total	232,396	49			

Fuente: Resultados extraídos del programa SPSS.

Al 5% de significación y sobre la base de la prueba ANOVA se concluye que las concentraciones finales de cianuro al final tienen valores significativamente menores a los LMP (Sig=0.00 < 0.05 permite rechazar la hipótesis nula y con ellos aceptar la hipótesis alterna).

En tanto en la siguiente tabla se detalla los resultados obtenidos de la prueba de Tukey.

**Tabla 31. Prueba TUKEY para identificar dosis de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en 30 min.**

Dosis H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
30; 200	5	,4240		
15; 200	5	,4640		
30; 170	5	,6120		
15; 170	5		1,1540	
30; 150	5		1,2080	
15; 150	5		1,8020	1,8020
30; 130	5		3,1960	3,1960
30; 100	5		4,0280	4,0280
15; 130	5		4,1120	4,1120
15; 100	5			4,9640
Sig.		,179	,122	,077

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5,000.

Sobre la base de la prueba de Tukey se concluye que las concentraciones más bajas de cianuro al final se encuentran con las siguientes combinaciones: 30 min y 200 de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 15 y 200, así también con 30 y 170. Siendo los resultados mínimos 0.03 mg/L, 0.07 mg/L y 0.17 mg/L respectivamente, todas estando debajo de los LMP (1 mg/L).

Sobre la base de la prueba T de Student para una muestra se encontró que los niveles de peróxido de hidrógeno 100, 130 y 150 generan valores de cianuro superiores a 0.8, por el contrario, los niveles de 170 y 200 generan valores de cianuro menor o iguales que 0.8.

## V. DISCUSIÓN

Según las investigaciones de diversos autores como Hou D. (2020), Merino E. (2020), Amauche H. (2019), Fungene T. (2018), Garay J. y Llatas R. (2019), Barrientos J. (2018) se desarrolló la remoción de cianuros utilizando el peróxido de hidrógeno con la intervención de un catalizador, lo cual es una de las formas más eficientes con relación al tiempo de tratamiento y grado de remoción del cianuro; sin embargo, aquí no consideran el factor económico, que en comparación con nuestra investigación sí es importante el tema económico ya que está enfocada en ser aplicada en la minería informal o la minería artesanal de oro, por otro lado Capatinta F. y Cárdenas A. (2020) realizaron un análisis de diferentes métodos para la remoción del cianuro utilizando UV-  $H_2O_2$ ,  $O_3$  y Ácido Caro, como conclusión indican que el uso del  $H_2O_2$  posee la metodología más sencilla y que es el método más usado en los tratamientos de efluentes de mineras auríferas, nuestros resultados indican que el peróxido de hidrógeno es efectivo y más aún en unión con el hipoclorito de sodio.

Si bien se utilizaron diferentes catalizadores y se obtuvieron resultados favorables, también existen oxidantes que demuestran lo contrario, como lo indican Aranguri G. y Reyes I. (2018) cuando el peróxido de hidrógeno se combina con otro agente oxidante, como el metabisulfito de sodio, se demuestra que cada uno es más efectivo solo que en combinación, debido a que el peróxido en este caso se consume con mayor rapidez, lo que no sucede en nuestro caso al usar peróxido de hidrógeno con hipoclorito de sodio, estos oxidantes funcionan mejor juntos.

En cuanto a las investigaciones de Kamrani M. (2019) y Ganji S. y Hayati M. (2018), ambos analizaron la remoción de cianuro de efluentes auríferos, donde se realizó el tratamiento usando 3 métodos diferentes, entre ellos el uso de hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio y el peróxido de hidrógeno junto a un catalizador. Se concluye que el tratamiento con hipoclorito de sodio es el mejor oxidante, considerando los factores de tiempo, costo y degradación de cianuro, se debe tener en cuenta que las concentraciones utilizadas por estos autores son mayores a las utilizadas en nuestra investigación, así también comprobamos que usando el

peróxido de hidrógeno junto con el hipoclorito de sodio da mejores resultados que usando las soluciones por separado, como muestran Kamrani y Ganji.

Asimismo, Lizarazo P. y Villota K. (2017) en su trabajo de investigación con la finalidad de poder desarrollar una propuesta para una PTAR de una empresa electromecánica, utilizó el peróxido de hidrógeno y el hipoclorito de sodio como alternativas, donde se concluye que la mejor alternativa era el uso del NaClO ya que no requiere de agentes químicos para la adecuación de su pH.

Por su parte Garnier A. (2017) En su investigación buscaba el proceso más adecuado para el tratamiento de aguas residuales cianuradas de una planta de galvanoplastia, en una primera opción se eligió entre el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y el NaClO ya que ambos fueron los que se adaptaban mejor a los criterios de evaluación frente a los otros procedimientos como carbón activado, Ac Caro, electrolisis entre otros. Al realizar las pruebas de degradación, en ambos procesos se obtuvo resultados favorables, es cuando se toma la decisión de utilizar ambos teniendo como resultados respuestas muy superiores ya que se utilizaban menos concentraciones y la remoción es superior al 99.9%.

Con respecto a uso de las muestras condicionadas a nivel laboratorio, en la investigación realizada por Pueyo N., Ovelleiro J. y Rodríguez-Chueca J. (2016) realizaron la remoción de cianuro utilizando 2 muestras, una condicionada en laboratorio y la otra tomada de los efluentes de una fábrica de coquización, en ambos casos se utilizó el peróxido de hidrógeno demostrando que la remoción para la muestra real fue superior en 43% que a la muestra condicionada.

Apoyándonos en estas investigaciones, se propone el uso en conjunto de peróxido de hidrógeno e hipoclorito de sodio como agentes oxidantes para la remoción de cianuro en muestras de aguas contaminadas condicionadas a nivel laboratorio.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se tiene que para la remoción de cianuro en muestras acondicionadas el tiempo de contacto más eficiente es de 30 minutos con una concentración de peróxido de hidrógeno de 200 mg/L lo que por el contrario para Cahuana. E. (2017), en su investigación para reducir cianuro de aguas residuales mediante la oxidación con peróxido de hidrógeno encontró que el tiempo

más eficiente para dicho tratamiento es de 60 minutos, considerando un pH 11 y una concentración de peróxido de 2.5 mg/L.

Por otro lado Gaviria, A. y Meza, L. (2006), durante el tratamiento realizado a efluentes de una plata minera utilizando el peróxido de hidrógeno con una dosis de 2.5 kg y como oxidante utilizó hipoclorito de sodio con una dosis de 5 kg en un tiempo de 20 minutos obteniendo una remoción del cianuro del casi 93%, no obstante dichas dosis resultan se mayores a las utilizadas en nuestra investigación además que considera un tiempo menor al considerado en el presente estudio, pero aun así el autor reafirma que dicha alternativa resulta económicamente viable a cualquier otra.

A medida que se desarrolló la investigación se encontró que en ambos tiempos de 15 y 30 minutos los resultados tienden a ser favorables, y el uso de peróxido de hidrógeno tiene un efecto significativo en la remoción de cianuro, lo que contrariamente afirma Gómez, P. (2012), quien en su investigación encontró que el aplicar la metodología de oxidación química para efluentes cianurados de industrias y el utilizar el oxidante peróxido de hidrógeno resulta menos eficaz y con largo tiempo de reacción.

## VI. CONCLUSIONES

- Con los resultados obtenidos, se pudo demostrar que la aplicación del método de oxidación avanzada con peróxido de hidrógeno e hipoclorito de sodio resulta ser altamente eficiente para la reducción de cianuro contenido en agua contaminada.
- La dosis óptima del peróxido de hidrógeno y del hipoclorito de sodio para la remoción de cianuro para un tiempo de 15 minutos es de 200 mg/L y 70 mg/L respectivamente, en muestras acondicionadas a nivel laboratorio.
- La dosis óptima del oxidante peróxido de hidrógeno y del hipoclorito de sodio para la remoción de cianuro para un tiempo de 30 minutos también es de 200 mg/L y 70 mg/L respectivamente, en muestras acondicionadas a nivel laboratorio.
- Al aplicar la prueba ANOVA, se pudo concluir que el peróxido de hidrógeno tiene un efecto significativamente alto en la remoción de cianuro tanto en función de 15 minutos y 30 minutos respectivamente. Mientras que el oxidante hipoclorito de sodio no tiene un efecto significativo en la remoción de cianuro para ninguno de los tiempos planteados.
- Por otro lado, se pudo verificar que a medida que la dosificación tanto del peróxido de hidrógeno (100, 130, 150, 170 y 200 mg/L) como la del oxidante hipoclorito de sodio (20, 30, 40, 50 y 70 mg/L) aumenta, la concentración del compuesto cianuro va en disminución llegando hasta un valor de 0.03 mg/L, cumpliendo de tal modo con los Límites Máximos Permisibles conforme a la ley peruana, lo que significa que a un mayor tiempo existe una mayor remoción siendo la dosis y el tiempo directamente proporcionales a la remoción. No obstante, durante el desarrollo de la investigación se concluye que las dosis de peróxido de hidrógeno que generan mejores resultados en la disminución de cianuro son de 170 y 200 mg/L en función de 30 minutos obteniendo valores

menores a 0.8mg/L. Además, se demostró que las dosis de hipoclorito de sodio de 50 y 70 mg/L generan valores de cianuro menores a 1 mg/L.

- La concentración final del compuesto cianuro, después del proceso de oxidación con hipoclorito de sodio, en las muestras acondicionadas fue de 0.07mg/L (99.93% de remoción) a un tiempo de contacto de 15 minutos y de 0.03mg/L (99.97% de remoción) a un tiempo de contacto de 30 minutos, siendo menor a los LMP (0.1mg/L)

## VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda aumentar el número de pruebas o repeticiones para cada dosis y tiempo, de tal modo verificar y comprobar los resultados con mayor exactitud y certeza.
- Se recomienda tener en cuenta que las dosificaciones de hipoclorito de sodio y peróxido de hidrógeno no excedan de 500 mg/L ya que su exceso puede ocasionar la formación de cloraminas contaminantes.
- Se recomienda implementar la metodología propuesta aplicada a la remoción de otros metales contenidos en efluentes, de tal modo comparar su efectividad.
- Realizar un monitoreo constante de temperatura y pH en cada experimentación, puesto que estas características pueden influenciar en la viabilidad de la metodología.
- Se recomienda aplicar otro tipo de oxidante diferente al hipoclorito de sodio de tal modo poder comparar las reacciones ante el contaminante.
- Dentro de las instalaciones del laboratorio, se recomienda utilizar constantemente los equipos de protección personal ya que estos protegen al investigador de cualquier reacción que pueda darse.

## REFERENCIAS

Elizalde Merino, J.S. (2020) Oxidación fotocatalítica para la remoción del ión cianuro en aguas residuales minero-metalúrgicas (trabajo de titulación). UTMACH, Facultad De ciencias Químicas Y De La Salud, Machala, Ecuador. p. 53. Disponible en:  
<http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/16306>

HOU, Dongzhuang, et al. Decomposition of Cyanide from Gold Leaching Tailings by Using Sodium Metabisulphite and Hydrogen Peroxide. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 2020. Disponible en:  
<https://www.hindawi.com/journals/amse/2020/5640963/>

ESTRADA, Claudia; FRANCO, Gloria; VANEGAS, Narmer. Evaluación de la remoción de cianuro y metales pesados en efluentes líquidos provenientes del beneficio de oro de la pequeña minería, mediante adsorción con carbón activado y peróxido de hidrógeno en Segovia, Antioquia, Colombia. Tesis (Maestro en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente) Universidad de Manizales. *Dyna*, 2020, vol. 87, no 212, p. 9. Disponible en:  
[https://ridum.umanizales.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12746/3653/1/Estrada\\_Montoya\\_Claudia\\_Catalina\\_2019.pdf](https://ridum.umanizales.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12746/3653/1/Estrada_Montoya_Claudia_Catalina_2019.pdf)

SÁEZ, Lara Paloma, et al. Cyanate assimilation by the alkaliphilic cyanide-degrading bacterium *Pseudomonas pseudoalcaligenes* CECT5344: mutational analysis of the cyn gene cluster. *International journal of molecular sciences*, 2019, vol. 20, no 12, p. 3008. Disponible en:  
<https://doi.org/10.3390/ijms20123008>

KAMRANI, M., et al. Degradation of cyanide from gold processing effluent by H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, NaClO and Ca (ClO)<sub>2</sub> combined with sequential catalytic process. *Bul Chem Commun*, 2019, vol. 51, no 3, p. 384-393. Disponible en:  
[http://www.bcc.bas.bg/bcc\\_volumes/Volume\\_51\\_Number\\_3\\_2019/BCC-51-3-2019-384-393-Kamrani-5052.pdf](http://www.bcc.bas.bg/bcc_volumes/Volume_51_Number_3_2019/BCC-51-3-2019-384-393-Kamrani-5052.pdf)

AUQUILLA, Luis; DAMIAN, Clara. Reducción de cianuro de agua residual proveniente de una empresa metalúrgica por tratamiento oxidativo con peróxido de hidrógeno. Tesis (Ingeniería Química) Universidad de Cuenca, Ecuador. 2019, p. 27-56. Disponible en:  
<https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/33590/1/Trabajo%20de%20titulaci%C3%B3n.pdf>

AMAOUICHE, Hamza, et al. Removal of cyanide in aqueous solution by oxidation with hydrogen peroxide catalyzed by copper oxide. *Water Science and Technology*, 2019, vol. 80, no 1, p. 126-133. Disponible en:  
<https://iwaponline.com/wst/article/80/1/126/68976/Removal-of-cyanide-in-aqueous-solution-by>

BAE, Mooki, et al. Destruction of cyanide and removal of copper from waste printed circuit boards leach solution using electro-generated hypochlorite followed by magnetite adsorption. *Metals*, 2019, vol. 9, no 9, p. 963. Disponible en:  
<https://doi.org/10.3390/met9090963>

ESPARZA, Jefferson Morillo, et al. Combined Treatment Using Ozone for Cyanide Removal from Wastewater: A Comparison. *Revista Internacional De Contaminacion Ambiental*, 2019, vol. 35, no 2, p. 459-467. Disponible en:  
<https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.02.16>

Martinez, Paula. 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. Fundación Universidad de América, Bogotá. 2019. P. Disponible en:  
<https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/7601>

ANNING, Cosmos, et al. Determination and detoxification of cyanide in gold mine tailings: A review. *Waste Management & Research*, 2019, vol. 37, no 11, p. 1117-1126. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1177%2F0734242X19876691>

TU, Yobu; HAN, Peiewi; WEI, Lianqi; ZHANG, Xiaomeng; YU, Bo; QIAN, Peng; YE, Shufeng. Removal of cyanide adsorbed on pyrite by H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oxidation under alkaline conditions. *Journal of Environmental Sciences*, Beijing, China. 2018, p. 287-292. Disponible en:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1001074218308039?via%3Dihub>

ASCUÑA, Víctor, et al. Tratamiento de soluciones de cianuro y precipitación de metales cianicidas por reacción con peróxido de hidrógeno y soda caustica, el método perso; obtención de lodos económicamente útiles. *Revista Bolivariana de Química*. 2018, vol. 35, no 5, p. 155-161. Disponible en:  
[http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S0250-54602018000500005&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S0250-54602018000500005&script=sci_arttext)

FUNGENE, T. et al. Decomposition of hydrogen peroxide in alkaline cyanide solutions. *Johannesburg*. 2018, v. 118, no 12, p. 1259-1264, Dec 2018. Disponible en:  
[http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2225-62532018001200006&lng=en&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2225-62532018001200006&lng=en&nrm=iso&tlng=en)

DEAL Robin, Article NASF Surface Technology white papers, vol 83, no 6, Ohio, 2018, p. 3. Disponible en:  
<https://www.pfonline.com/articles/cyanide-destruction-a-new-look-at-an-age-old-problem>

BARRIENTOS LEZCANO, Juan Camilo, et al. Estudio de la reacción de oxidación química de cianuro para el tratamiento de aguas residuales de una empresa minera. 2018. Tesis de Licenciatura. Universidad EAFIT. Disponible en:

<http://hdl.handle.net/10784/13131>

GANJI, Seyyed Mohammad Seyyed Alizadeh; HAYATI, Mohammad. Selecting an appropriate method to remove cyanide from the wastewater of Moteh gold mine using a mathematical approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 2018, vol. 25, no 23, p. 23357-23369. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-018-2424-1>

ARANGURI, Gonzalo; REYES, Iván. Cyanide Degradation from Mining Effluent Using Two Reagents: Sodium Metabisulphite and the Metabisulphite Mixture with Hydrogen Peroxide. *TECCIENCIA*, 2018, vol. 13, no 25, p. 70-79. Disponible en: <https://doi.org/10.18180/tecciencia.2018.25.1>

ACUÑA Daniela, RAMOS Karen, Tesis pregrado Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador, 2017, p. 98. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/99763/D-CD70220.pdf>

NYAMUNDA, Benias C., et al. Review of the impact on water quality and treatment options of cyanide used in gold ore processing. *Water Quality*, 2017, vol. 183, p. 230, 231. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.5772/65706>

LIZARAZO Paula; VILLOTA Katya, Tesis de pregrado Fundación Universidad de America, bogota, Colombia, 2017, p. 47, 48, 51, 52, 53, 57 y 58. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6573/1/6122863-2017-2-IQ.pdf>

GARNIER NOGUERA, André David. Dimensionamiento de un proceso para el tratamiento de agua residual con contenido de cianuro de oro, cianuro de potasio, cianuro de cobre y cianuro de sodio; producto del proceso de recubrimiento de metales. 2017. Disponible en:

<http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/5415/1/41784.pdf>

ROMERO, Jennifer, Tesis de pregrado Universidad Libre Bogotá. 2016, p. 64.

Disponible en:

<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/9514/EVALUACION%20DE%20LA%20OXIDACION%20QUIMICA%20EN%20EL%20TRATAMIENTO%20DEL%20DRENAJE%20CIDO%20PRODUCTO%20DE%20LA%20ACTIVIDAD.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Pueyo, N., Rodríguez-Chueca, J., Ovelleiro, J.L. et al. Limitations of the Removal of Cyanide from Coking Wastewater by Treatment with Hydrogen Peroxide. *Water Air Soil Pollut* 227, 222 (2016). Disponible en:

<https://doi.org/10.1007/s11270-016-2915-y>

ESTRADA, Luna; DEL CARMEN, Yadira. Tratamiento de aguas residuales del lavado de piezas de acero provenientes de tratamientos térmicos y termoquímicos para disminuir la presencia de cianuros de la empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A. 2016. Disponible en:

<https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2503/2/RESUMEN%20EJECUTIVO.pdf>

SJAHRUL, M., et al. Elimination cyanide with hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) and calcium hypochlorite (Ca(OCl)<sub>2</sub>) on gold mine waste from North Luwu, South Sulawesi. *American Journal of Environmental Protection*, 2016, vol. 5, no 4, p. 97. Disponible en:

<http://www.ajenvprot.com/article/163/10.11648.j.ajep.20160504.14>

CRUZ RODRIGUEZ, Abby Solange da. Detoxification of effluents with cyanide. Application on a cyanided gossan ore. 2016. p 6, 14, 15, 34

<http://hdl.handle.net/2445/125377>

## NACIONALES:

GUTIÉRREZ PASCUAL, Caleb Joel. Implementación del método de destrucción de cianuro con oxidación avanzada en el tratamiento de efluentes de la planta minera IRLSA–Unidad Corihuarmi. 2021. Disponible en:  
<http://hdl.handle.net/20.500.12894/6796>

CAPATINTA, Fiorella; CARDENAS, Alfredo, Trabajo de Investigacion Universidad Catolica San Pablo, Arequipa, Perú, 2020, p. 27 - 30, 33 y 34. Disponible en:  
[https://repositorio.ucsp.edu.pe/bitstream/20.500.12590/16370/1/CAPATINTA\\_HACHIRE\\_FIO\\_CIA.pdf](https://repositorio.ucsp.edu.pe/bitstream/20.500.12590/16370/1/CAPATINTA_HACHIRE_FIO_CIA.pdf)

GARAY, Josue; LLATAS, Ronald. Remoción de cianuro de sodio y cobre con peróxido de hidrógeno, sulfato de cobre y sulfhidrato de sodio de los efluentes de lixiviación en empresas mineras productoras de oro y plata. Tesis (Ingeniería de Minas) Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú. 2019, p. 34 - 39, 52 y 53. Disponible en:  
<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/21967/Garay%20Pablo%20Josue%20Yonathan%20%20-%20Ronald%20Marcos%20Llatas%20Legoas.PDF?sequence=1&isAllowed=y>

CHUMBES YUCRA, Miguel Angel; ARI ACHAHUI, Jose Luis. Degradación fotocatalítica de cianuro en efluentes de empresas mineras auríferas y argentíferas. 2019. Disponible en:  
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/9420>

COCA, Dante. Optimización del consumo de reactivos para la reducción de costos en la Planta de Tratamiento de Efluentes de la Empresa Minera La Arena SA. Tesis (Ingeniero Metalurgista) Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion, Cerro de Pasco, 2019, p. 41. Disponible en:

[http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1432/1/T026-70672597\\_T.pdf](http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1432/1/T026-70672597_T.pdf)

LÓPEZ OTINIANO, Carlos Joel. Determinación del tiempo de agitación y volúmen óptimo del peróxido de hidrógeno en la degradación del efluente cianurado de la planta de tratamiento de aguas de la empresa consorcio minero horizonte. 2018.. Disponible en:

[https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/12410/LopezOtiniano\\_C.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/12410/LopezOtiniano_C.pdf?sequence=3&isAllowed=y)

GUTIÉRREZ NINAQUISPE, Fredy Reynaldo. Análisis del proceso de eliminación de sustancias toxicas de efluentes contaminados con cianuro en plantas metalúrgicas de obtención del oro. 2018. Disponible en:

<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6079>

MACHACA, David; YANA, Pedro, Tesis de pregrado Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. 2017, p. 19, 62 - 67. Disponible en:

[http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/8803/Machaca\\_Machaca\\_David\\_Eloy\\_Yana\\_Hancco\\_Pedro.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/8803/Machaca_Machaca_David_Eloy_Yana_Hancco_Pedro.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

RUPAY, Felipe. Remoción del cianuro con el complejo (CuSO<sub>4</sub> – H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) de los efluentes cianuración de oro para evitar riesgos a la salud y al ambiente. Tesis (Doctor Seguridad y control en minería) Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo. 2016, p. 122. Disponible en:

<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/4169>

MEGO, Enrique. Evaluación de la oxidación química con peróxido de hidrógeno y ósmosis inversa aen el tratamiento de efluentes de minera Coimolache. Tesis (Maestro en Desarrollo y medio Ambiente) Universidad Nacional de Cajamarca, Perú. 2016, p. 5-95. Disponible en:

<http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1301>

DIAZ VERA, Mauricio Manuel. Experimentación para la destrucción de cianuro en pulpa y solución de lavado del espesador de relave Minera Inmaculada. Arequipa, Perú. 2016, p. 73 - 74, 104 - 110. Disponible en:  
<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3357/IMdivemm07.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CAHUANA, Edwin. Manejo ambiental de efluentes del proceso de cianuración de oro en la planta de beneficio de la Corporación Minera Ananea SA. Tesis (Ingeniero Metalurgista) Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. 2016. p. 162. Disponible en:  
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4191>

ANCULLE, Flor; PUMA, Silvia. Aplicación del método de oxidación química con peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) para la reducción del cianuro presente en los efluentes de la planta de beneficio Sotrami SA. Tesis (Ingeniería Química) Universidad Nacional de San Agustín. 2015, p. 107. Disponible en:  
<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/9712/IQanqufm%26puviss.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CASTILLÓN HILARIO, Flor Angel. Dosificación de cloro y peróxido de hidrógeno en el tratamiento de aguas cianuradas en minera Laytaruma SA. 2015. Disponible en:  
[https://web.archive.org/web/20180505005132id\\_/http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/3963/1/castillon\\_hf.pdf](https://web.archive.org/web/20180505005132id_/http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/3963/1/castillon_hf.pdf)

BES, Sarai; Silva, Adrián y Bengoa, Christophe. Manual técnico sobre procesos de oxidación avanzada aplicados al tratamiento de aguas residuales industriales. 2019. 60pp. Disponible en:  
[http://www.cytred.org/sites/default/files/manual\\_sobre\\_oxidaciones\\_avanzadas\\_0.pdf](http://www.cytred.org/sites/default/files/manual_sobre_oxidaciones_avanzadas_0.pdf)

GAVIRIA, Ana C.; MEZA, Luis A. Análisis de alternativas para la degradación del cianuro en efluentes líquidos y sólidos del municipio de Segovia, Antioquia y en la planta de beneficio de la empresa mineros nacionales, municipio de Marmato, Caldas. *Dyna*, 2006, vol. 73, no 149, p. 31-34. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/496/49614904.pdf>

GÓMEZ LEIVA, Patricia, et al. Degradación de cianuros mediante oxidación química en efluentes industriales. 2012. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10651/3986>

Organización Mundial de la Salud (2017) Documento Técnico N.º 1: riesgos para la salud relacionados con el trabajo y el medioambiente asociados a la extracción de oro artesanal o a pequeña escala, 2017. Pag 2 – 9. Disponible en: <http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/259452/9789243510279-spa.pdf;jsessionid=3900D8CF9DDCE33A9877E7AD86DF1D38?sequence=1>

Muñoz Acosta, A. (2020). Minería ilegal genera contaminación ambiental por el uso de insumos químicos sin control en el distrito de Tambopata, La Pampa-región Madre de Dios, 2019. Pag 8. Disponible en: <http://repositorio.ulasamericas.edu.pe/handle/upa/1006>

De La Mata Castañeda, M. (2017). El proceso de Formalización Minera y su relación con el Desarrollo Sostenible de la Región Madre de Dios, durante el año 2016. Pag 28. Disponible en: <http://repositorio.ict.ejercito.mil.pe/handle/123456789/220>

## ANEXOS

### Anexo N° 1: Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES Y UNIDADES
Independiente:  <b>Proceso de oxidación</b>	En el proceso de oxidación para el tratamiento de cianuro, se tiene como oxidantes comúnmente conocidos son el cloro, peróxido de hidrógeno e hipoclorito de sodio, logrando una efectividad de reducción a cianatos los cuales son menos contaminantes que el cianuro como compuesto. (Gómez, P., 2012, p.18).	El primer procedimiento será estabilizar de pH, ya sea adicionando $\text{Ca(OH)}_2$ para elevar el pH a 10.5 o adicionando HCl para mantener un pH entre 7.5 y 8.5, lo cual permitirá la oxidación rápida de los cianuros a cianatos.  Se adiciona en cada muestra diferentes dosis de $\text{H}_2\text{O}_2$ conjuntamente con el NaClO, realizándose una agitación durante 15 minutos y paralelamente a 30 minutos.	Características del compuesto oxidante	Dosis (mg/L)
				Tiempo (min)
				Concentración patrón (mg/L)
Dependiente:  <b>Remoción de cianuro</b>	La remoción es la acción o el proceso mediante el cual se elimina, quita o borra una parte o el total de algo, es decir modificar una situación o estado actual de una solución o elemento en un porcentaje requerido o deseado. (Baca, A., 2016, p.24).	Se realiza una comparación de resultados para cada tiempo y para cada dosificación, de manera que se determine cuales son las mejores dosis de oxidante que permiten que haya un porcentaje óptimo de remoción de la concentración de cianuro llegando a un resultado menor al LMP (0.8 a 1mg/L)	Porcentaje de remoción	Concentración inicial (mg/L)
				Concentración final (mg/L)
				Remoción (%)
			Características de la muestra acondicionada	pH inicial
				pH final
				Temperatura (°C)
				Cianuro (mg/L)

## Anexo N° 2: Matriz de consistencia

	PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES		METODOLOGÍA
<b>GENERAL</b>	¿En qué medida el proceso de oxidación con peróxido de hidrógeno e hipoclorito de sodio influye en la remoción de la concentración de cianuro de muestras contaminadas a nivel laboratorio?	Remover el cianuro mediante procesos de oxidación con peróxido de hidrógeno e hipoclorito de sodio en muestras contaminadas a nivel de laboratorio.	La aplicación del proceso de oxidación con peróxido de hidrógeno e hipoclorito de sodio influye significativamente en la remoción de cianuro contenido en muestras contaminadas a nivel de laboratorio.	<b>INDEPENDIENTE</b>	<p><b>PROCESO DE OXIDACIÓN</b></p> <p><b>Indicadores:</b> Dosis Tiempo Concentración</p>	Tipo de investigación: Aplicada Diseño de Investigación: Experimental Enfoque de investigación: Cuantitativa
<b>ESPECÍFICOS</b>	¿Cuál es la dosis óptima del peróxido de hidrógeno e hipoclorito de sodio en la remoción de cianuro para un tiempo de 15 minutos en muestras acondicionadas a nivel laboratorio?	Determinar la dosis óptima del peróxido de hidrógeno e hipoclorito de sodio en la remoción de cianuro para un tiempo de 15 minutos en muestras acondicionadas a nivel laboratorio.	La dosis óptima del peróxido de hidrógeno y hipoclorito de sodio influye en la remoción de cianuro para un tiempo de 15 min en muestras acondicionadas.	<b>DEPENDIENTE</b>	<p><b>REMOCIÓN DE CIANURO</b></p> <p><b>Indicadores:</b> Concentración inicial y final Remoción pH Temperatura</p>	Población: cantidad de muestra sintética o acondicionada elaborada en el laboratorio  Muestra: 100 ml.
	¿Cuál es la dosis óptima del peróxido de hidrógeno e hipoclorito de sodio en la remoción de cianuro para un tiempo de 30 minutos en muestras acondicionadas a nivel laboratorio?	Determinar la dosis óptima del peróxido de hidrógeno e hipoclorito de sodio en la remoción de cianuro para un tiempo de 30 minutos en muestras acondicionadas a nivel laboratorio.	La dosis óptima del peróxido de hidrógeno e hipoclorito de sodio influye en la remoción de cianuro para un tiempo de 30 min en muestras acondicionadas.			
	¿Cuál es la concentración final de las muestras acondicionadas con cianuro después del proceso de oxidación?	Determinar la concentración final de las muestras de cianuro después del proceso de oxidación.	La concentración final del cianuro, después del proceso de oxidación fue menor a los LMP.			

## ANEXOS

### Matriz de consistencia

	PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES		DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
<b>GENERAL</b>	¿En qué medida el proceso de oxidación con peróxido de hidrógeno e hipoclorito de sodio influye en la remoción de la concentración de cianuro de muestras contaminadas a nivel laboratorio?	Remover el cianuro mediante procesos de oxidación con peróxido de hidrógeno e hipoclorito de sodio en muestras contaminadas a nivel de laboratorio.	La aplicación del proceso de oxidación con peróxido de hidrógeno e hipoclorito de sodio influye significativamente en la remoción de cianuro contenido en muestras contaminadas a nivel de laboratorio.	<b>INDEPENDIENTE</b>	<b>PROCESO DE OXIDACIÓN</b>	En el proceso de oxidación para el tratamiento de cianuro, se tiene como oxidantes comúnmente conocidos son el cloro, peróxido de hidrógeno e hipoclorito de sodio, logrando una efectividad de reducción a cianatos los cuales son menos contaminantes que el cianuro como compuesto. (Gómez, P., 2012, p.18).	El primer procedimiento será estabilizar de pH, ya sea adicionando Ca(OH) <sub>2</sub> para elevar el pH a 10.5 o adicionando HCl para mantener un pH entre 7.5 y 8.5, lo cual permitirá la oxidación rápida de los cianuros a cianatos.  Se adiciona en cada muestra diferentes dosis de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> conjuntamente con el NaClO, realizándose una agitación durante 15 minutos y paralelamente a 30 minutos.	Características del compuesto oxidante	Dosis (mg/L)
									Tiempo (min)
									Concentración patrón (mg/L)
<b>ESPECÍFICOS</b>	¿Cuál es la dosis óptima del peróxido de hidrógeno e hipoclorito de sodio en la remoción de cianuro para un tiempo de 15 minutos en	Determinar la dosis óptima del peróxido de hidrógeno e hipoclorito de sodio en la remoción de cianuro para un tiempo de 15 minutos en	La dosis óptima del peróxido de hidrógeno y hipoclorito de sodio influye en la remoción de cianuro para un tiempo de 15 min en	<b>DEPENDIENTE</b>	<b>REMOCIÓN DE CIANURO</b>	La remoción es la acción o el proceso mediante el cual se elimina, quita o borra una parte o el total de algo, es decir modificar una situación o estado	Se realiza una comparación de resultados para cada tiempo y para cada dosificación, de manera que se determine cuales son las mejores dosis de oxidante que permiten que haya un	Porcentaje de remoción	Concentración inicial (mg/L)
									Concentración final (mg/L)

	PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
	minutos en muestras acondicionadas a nivel laboratorio?	muestras acondicionadas a nivel laboratorio.	muestras acondicionadas.			actual de una solución o elemento en un porcentaje requerido o deseado. (Baca, A., 2016, p.24).		Remoción (%)
	¿Cuál es la dosis óptima del peróxido de hidrógeno e hipoclorito de sodio en la remoción de cianuro para un tiempo de 30 minutos en muestras acondicionadas a nivel laboratorio?	Determinar la dosis óptima del peróxido de hidrógeno e hipoclorito de sodio en la remoción de cianuro para un tiempo de 30 minutos en muestras acondicionadas a nivel laboratorio.	La dosis óptima del peróxido de hidrógeno e hipoclorito de sodio influye en la remoción de cianuro para un tiempo de 30 min en muestras acondicionadas.				Características de la muestra acondicionada	pH inicial
								pH final
								Temperatura (°C)
	¿Cuál es la concentración final de las muestras acondicionadas con cianuro después del proceso de oxidación?	Determinar la concentración final de las muestras de cianuro después del proceso de oxidación.	La concentración final del cianuro, después del proceso de oxidación fue menor a los LMP.					Cianuro (mg/L)

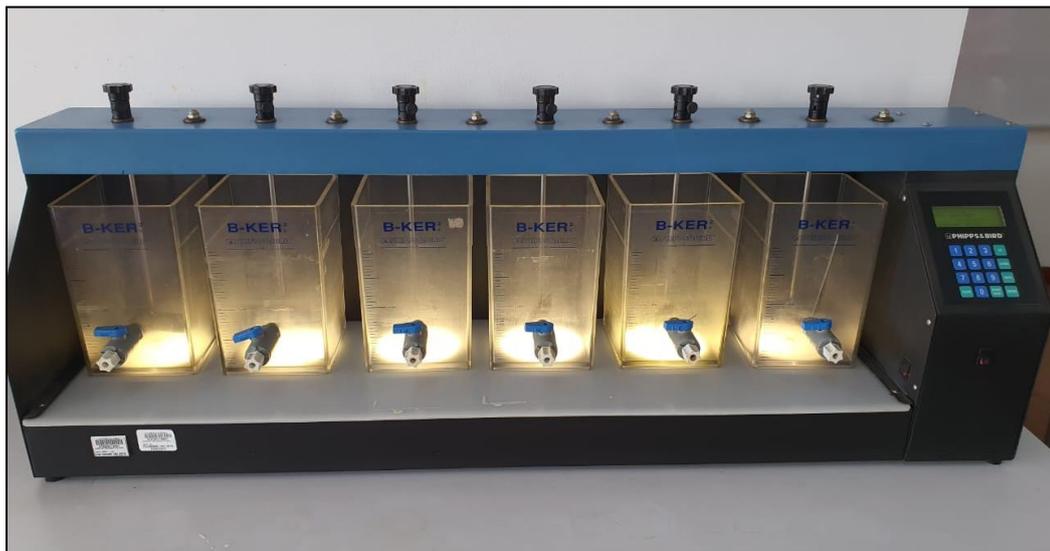
## GALERÍA FOTOGRÁFICA



**MUESTRAS ACONDICIONADAS (H<sub>2</sub>O  
Y CN<sup>-</sup>)**



**EQUIPO ESPECTROFOTÓMETRO  
DE ABSORCIÓN MOLECULAR**



**EQUIPO PROGRAMABLE DE JARRAS**

## CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS CIANURO



## ANÁLISIS DE MUESTRAS EN MÉTODO DE JARRAS

