

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION

ESCUELA DE POSGRADO



T E S I S

Degradación del cianuro con peróxido de hidrogeno en la Planta de

Beneficio de la Empresa AUREX S.A.

Para optar el grado de Maestro en:

Gestión del Sistema Ambiental

Autor:

Bach. Janeth Marivel HUAMAN MARTEL

Asesor:

Mg. Edwin Elías SANCHEZ ESPINOZA

Cerro de Pasco – Perú – 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION

ESCUELA DE POSGRADO



T E S I S

Degradación del cianuro con peróxido de hidrogeno en la Planta de

Beneficio de la Empresa AUREX S.A.

Sustentada y aprobada ante los miembros de jurados:

Mg. Eusebio ROQUE HUMAN
PRESIDENTE

Mg. Manuel Antonio HUAMAN DE LA CRUZ
MIEMBRO

Mg. Lucio ROJAS VITOR
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión
Escuela de Posgrado
Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 083-2025- DI-EPG-UNDAC

La Unidad de Investigación de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, ha realizado el análisis con exclusiones en el Software Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Presentado por:
Janeth Marivel HUAMAN MARTEL

Escuela de Posgrado:
MAESTRIA EN GESTIÓN DEL SISTEMA AMBIENTAL

Tipo de trabajo:
TESIS

TÍTULO DEL TRABAJO:
“DEGRADACIÓN DEL CIANURO CON PEROXIDO DE HIDROGENO EN LA PLANTA DE BENEFICIO DE LA EMPRESA AUREX S.A.”

ASESOR (A): Mg. Edwin Elías SANCHEZ ESPINOZA

Índice de Similitud:
19%

Calificativo
APROBADO

Se adjunta al presente el informe y el reporte de evaluación del software similitud.

Cerro de Pasco, 30 de junio del 2025



Firmado digitalmente por BALDEON
DIEGO Jheysen Luis FAU
20154605046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 01.07.2025 09:25:26 -05:00

DOCUMENTO FIRMADO DIGITALMENTE
Dr. Jheysen Luis BALDEON DIEGO
DIRECTOR

DEDICATORIA

Dedico esta tesis con todo mi cariño y gratitud a las personas que han sido fundamentales en mi vida y en este proceso. A mis amados padres, Elizabeth y Celestino, quienes han sido mi fuente de inspiración y el pilar que me ha sostenido en cada paso. Su incansable dedicación, amor incondicional y el ejemplo de esfuerzo y perseverancia que me han brindado son los cimientos sobre los cuales he construido mis sueños. Gracias por dedicar sus vidas a mi educación y por siempre estar a mi lado.

A mi compañero de vida, Fredy, cuyo amor inquebrantable ha sido una luz constante en los momentos de duda. Su apoyo incondicional y su confianza en mí fueron esenciales para superar los desafíos que se presentaron en este camino. Sin su presencia y colaboración, este logro no habría sido posible.

A mis hermanos, Zoila, Oliver, Katty y Ángel, a quienes admiro profundamente. Gracias por su amor sincero y por ser siempre mi red de apoyo incondicional. Su aliento ha sido un impulso vital en cada etapa de mi vida.

Finalmente, a mis docentes de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, especialmente de la Facultad de Ingeniería y las Escuelas de Ingeniería Metalurgia y Geología. Su guía, conocimiento y compromiso han sido cruciales para el desarrollo de este trabajo y para mi crecimiento profesional. A todos ustedes, les expreso mi más sincero agradecimiento.

AGRADECIMIENTO

La realización de una tesis de maestría es un trabajo complejo y de gran envergadura que no podría llevarse a cabo sin el apoyo y la colaboración de diversas personas. A lo largo de este proceso, he tenido la fortuna de contar con el respaldo de muchas personas a las cuales deseo expresar mi más sincero agradecimiento.

En primer lugar, quiero agradecer profundamente a mi asesor de tesis, Mg. Edwin Elías Sánchez Espinoza, Catedrático de la Escuela de Postgrado, por su invaluable orientación, dedicación y compromiso durante todo el desarrollo de este trabajo. Su orientación no solo ha sido clave en la mejora del contenido de esta tesis, sino también en el fortalecimiento de mi capacidad crítica y de análisis. Le agradezco sinceramente por su confianza y por ser una guía constante a lo largo de este proceso.

También quiero expresar mi reconocimiento y agradecimiento a todo el personal de la Empresa Aurex S.A., así como a todas las personas que, de una u otra manera, me brindaron su colaboración desinteresada. Su apoyo fue crucial para el éxito de esta tesis.

Finalmente, desde lo más profundo de mi ser, quiero agradecer a mi familia por todo el amor, comprensión y apoyo incondicional que siempre me han brindado. A mis padres, en particular, les agradezco por brindarme oportunidades que ellos mismos no tuvieron,

A todos ustedes, mi más sincero y profundo agradecimiento.

RESUMEN

La investigación realizada evaluó la degradación del cianuro (CN^-) en efluentes líquidos mediante la oxidación química con peróxido de hidrógeno (H_2O_2), con el objetivo de identificar las condiciones óptimas para reducir su concentración en aguas contaminadas. Los resultados muestran que tanto el volumen de peróxido como el tiempo de reacción influyen significativamente en la eficacia de la degradación del cianuro.

En pruebas realizadas con 55 ml de peróxido y un tiempo de agitación de 4.5 horas, las concentraciones de cianuro final fueron relativamente altas (4.3-4.5 ppm), indicando una menor eficiencia bajo estas condiciones. Sin embargo, al aumentar el tiempo de reacción a 7.5 horas, se logró una reducción significativa de la concentración de cianuro (1.7-1.9 ppm), aunque de forma limitada.

Por otro lado, al incrementar el volumen de peróxido a 85 ml, se obtuvo una mayor disminución en la concentración de cianuro. Con un tiempo de reacción de 4.5 horas, las concentraciones fueron mucho más bajas (1.0-1.1 ppm), y al aumentar el tiempo a 7.5 horas, se alcanzó la concentración más baja (0.21-0.3 ppm), destacando la importancia de ambos factores (volumen de peróxido y tiempo de reacción) en el proceso.

Estos resultados sugieren que el aumento tanto del volumen de peróxido como del tiempo de reacción favorece la reducción de la concentración de cianuro, siendo las condiciones más efectivas con 85 ml de peróxido y un tiempo de reacción de 7.5 horas. El tratamiento de los efluentes en la Planta de Beneficio de la empresa minera Aurex S.A. es viable, ya que las concentraciones finales de cianuro quedan por debajo de 1 ppm, cumpliendo con los límites establecidos por la legislación ambiental. Además, la recirculación del agua tratada podría ser utilizada para procesos como la lixiviación o el riego en las instalaciones.

El diseño experimental empleado, que incluyó un diseño de dos niveles con dos factores, permitió evaluar la influencia del volumen de peróxido y el tiempo de agitación en la eficiencia del tratamiento. Los resultados obtenidos abren la puerta para la optimización de los parámetros operativos, maximizando la eficiencia del proceso y proporcionando un enfoque más sostenible y eficaz para la remediación de aguas y suelos contaminados con cianuro.

Palabras Claves: Degradación del cianuro, efluentes líquidos y oxidación química con peróxido de hidrógeno

ABSTRACT

The research conducted evaluated the degradation of cyanide (CN^-) in liquid effluents through chemical oxidation with hydrogen peroxide (H_2O_2), with the aim of identifying the optimal conditions to reduce its concentration in contaminated water. The results show that both the volume of peroxide and the reaction time significantly influence the effectiveness of cyanide degradation.

In tests conducted with 55 ml of peroxide and a stirring time of 4.5 hours, the final cyanide concentrations were relatively high (4.3-4.5 ppm), indicating lower efficiency under these conditions. However, by increasing the reaction time to 7.5 hours, a significant reduction in cyanide concentration (1.7-1.9 ppm) was achieved, though it was limited.

On the other hand, when the peroxide volume was increased to 85 ml, a greater decrease in cyanide concentration was observed. With a reaction time of 4.5 hours, the concentrations were much lower (1.0-1.1 ppm), and when the time was increased to 7.5 hours, the lowest concentration (0.21-0.3 ppm) was achieved, highlighting the importance of both factors (peroxide volume and reaction time) in the process.

These results suggest that increasing both the peroxide volume and reaction time favors the reduction of cyanide concentration, with the most effective conditions being 85 ml of peroxide and a reaction time of 7.5 hours. The treatment of effluents at the Aurex S.A. beneficiation plant is feasible, as the final cyanide concentrations remain below 1 ppm, meeting the limits set by environmental legislation. Additionally, the recirculation of treated water could be used for processes such as leaching or irrigation within the plant.

The experimental design employed, which included a two-level design with two factors, allowed for the evaluation of the influence of peroxide volume and stirring time

on treatment efficiency. The results obtained open the door for the optimization of operational parameters, maximizing process efficiency, and providing a more sustainable and effective approach for the remediation of water and soils contaminated with cyanide.

Keywords: Cyanide degradation, liquid effluents and chemical oxidation with hydrogen peroxide

INTRODUCCIÓN

La contaminación por cianuro en los efluentes industriales es un problema ambiental crítico, especialmente en la minería, donde se utiliza para procesos de extracción de metales preciosos como el oro. El cianuro es un compuesto altamente tóxico que, incluso en concentraciones bajas, representa un grave riesgo para los ecosistemas acuáticos y la salud humana. Por esta razón, es fundamental desarrollar métodos efectivos para su remediación y descontaminación.

Una de las tecnologías más prometedoras para el tratamiento de aguas contaminadas con cianuro es el proceso de oxidación química utilizando peróxido de hidrógeno (H_2O_2), que convierte el cianuro en compuestos menos tóxicos. Sin embargo, la eficiencia de este proceso depende de varios factores operacionales, como el volumen de peróxido y el tiempo de reacción, que deben ser optimizados para lograr una reducción significativa de la concentración de cianuro.

Este estudio se centra en evaluar cómo el volumen de peróxido de hidrógeno y el tiempo de agitación afectan la degradación del cianuro (CN^-) en soluciones de relave provenientes de la Planta de Beneficio de la empresa minera Aurex S.A.. Para ello, se diseñó un diseño experimental de dos niveles con dos factores (2^2), considerando dos niveles de cada factor: 55 ml y 85 ml de peróxido, y tiempos de agitación de 4.5 horas y 7.5 horas.

Los resultados obtenidos muestran que tanto el volumen de peróxido como el tiempo de agitación tienen un impacto significativo en la reducción de la concentración de cianuro, con un mayor volumen de peróxido y tiempo de reacción favoreciendo una mayor degradación del contaminante. Específicamente, se observó que un volumen de 85 ml de peróxido y un tiempo de agitación de 7.5 horas lograron las concentraciones

más bajas de cianuro, alcanzando niveles inferiores a 1 ppm, que cumplen con los límites establecidos por la legislación ambiental e internacional.

Este tratamiento ofrece un enfoque efectivo y sostenible para la remediación de efluentes contaminados con cianuro, permitiendo el reuso del agua tratada en el proceso de lixiviación o incluso en aplicaciones como riego en las instalaciones mineras. Además, los resultados del diseño experimental permiten establecer un marco para optimizar las condiciones operativas en procesos industriales de tratamiento de efluentes, con el fin de maximizar la eficiencia del proceso de oxidación y contribuir al cumplimiento de normativas ambientales.

INDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

INDICE

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema.....	1
1.2. Delimitación de la investigación.....	2
1.3. Formulación del problema	3
1.3.1. Problema general.....	3
1.3.2. Problemas Específicos	4
1.4. Formulación de objetivos.....	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. Justificación de la investigación	4
1.6. Limitaciones de la investigación.....	6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio	8
2.2. Bases teóricas – científicas	11
2.3. Definición de términos básicos	13
2.3.1. Cianuro.	13

2.3.2.	Hidrolisis del cianuro.....	14
2.3.3.	Reacción con el dióxido de carbono (Co2).....	16
2.3.4.	Oxidación.	16
2.3.5.	Complejos derivados del cianuro.	16
2.3.6.	Uso del cianuro.....	22
2.3.7.	Degradación de cianuro.....	23
2.3.8.	Peróxido de hidrógeno (H ₂ O ₂).....	23
2.3.9.	Planta de beneficio	25
2.3.10.	Oxidación avanzada.	26
2.3.11.	Efluentes mineros	26
2.3.12.	Normativa ambiental.....	26
2.3.13.	Parámetros operativos.....	26
2.4.	Formulación de hipótesis	27
2.4.1.	Hipótesis general	27
2.4.2.	Hipótesis específicas	27
2.5.	Identificación de variables.	27
2.5.1.	Variable independiente.	27
2.5.2.	Variable dependiente.	27
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores	28

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1.	Tipo de investigación	31
3.2.	Nivel de Investigación.	31
3.3.	Métodos de investigación.....	32
3.4.	Diseño de investigación	33

3.4.1.	Tipo de diseño de investigación:	33
3.5.	Población y muestra	36
3.5.1.	Población	36
3.5.2.	Muestra	37
3.5.3.	Muestreo, unidad de análisis.....	39
3.6.	Técnicas e instrumento de recolección de datos	39
3.6.1.	Técnicas de recolección de datos.	39
3.6.2.	Instrumentos de recolección de datos.	39
3.7.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	40
3.8.	Tratamiento estadístico.	41
3.9.	Orientación ética filosófica y epistémica	41

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Descripción del trabajo de campo	43
4.1.1	Planteamiento de las pruebas.	44
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados	46
4.3.	Prueba de hipótesis.....	51
4.4.	Discusión de resultados.....	54
4.4.1.	Análisis de varianza	54

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama Eh-pH del CN-H ₂ O asumiendo que el HCNO y el CNO son estables a condiciones normales.....	15
Figura 2. tratamiento de oxidación química del efluente líquido con cianuro.	46

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Identificación de factores y niveles del diseño experimental	34
Tabla 2. Identificación de factores y niveles del diseño experimental	35
Tabla 3. Descripción cualitativa y cuantitativa de metales presentes de una muestra del efluente cianurado	38
Tabla 4. Descripción cualitativa y cuantitativa de metales presentes de una muestra del efluente cianurado.	38
Tabla 5. Cantidad de CN total en muestras diferentes de la Planta de beneficio de la empresa Aurex S.A.....	39
Tabla 6. Parámetros y valores de las pruebas realizadas	45
Tabla 7. Consumo de Nitrato de Plata en el análisis volumétrico para encontrar la cantidad de cianuro libre en cada muestra.....	47
Tabla 8. Contenido de Cianuros Totales	49
Tabla 9. Factores y Niveles a Experimentar	50
Tabla 10. Resultados Experimentales.....	50
Tabla 11. Matriz de valores codificados y reales de variables	50
Tabla 12. Combinación con mayor efectividad de degradación de cianuro.....	51
Tabla 13. Análisis de Varianza para ppm finales de CN - Suma de Cuadrados	58

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1. Se realiza la inserción de datos en la hoja Statgraphic.	55
Gráfico 2. Análisis de varianza.....	56
Gráfico 3. Selección de factores y variable dependiente.	56
Gráfico 4. Selección de tablas y graficas resultado.	57
Gráfico 5. Grafica de medias y 95% de Fisher LSD.	57
Gráfico 6. Grafica de Interacciones.	58

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

La planta de beneficio de la empresa Aurex S.A. genera residuos líquidos con concentraciones de cianuro debido a su proceso de cianuración de minerales de oro y plata. Este compuesto es utilizado como lixivante en un ambiente alcalino para optimizar la extracción de metales preciosos. Sin embargo, los desechos resultantes contienen niveles elevados de cianuro, un compuesto químico altamente tóxico que representa un riesgo significativo para el medio ambiente y la salud humana si no es gestionado adecuadamente (Akcil & Mudder, 2003).

El deterioro ambiental, provocado por sustancias químicas, es una preocupación generalizada que afecta tanto al entorno como a la salud humana. La contaminación se ha convertido en un problema crucial para la humanidad debido a la gravedad de sus efectos, especialmente al expandirse. Aunque varios de los riesgos actuales para las personas y el medio ambiente ya han sido

identificados, algunos otros podrían manifestarse después de un largo periodo de tiempo.

Es conocido que la polución ambiental impacta en el agua, el aire y la tierra. En este escenario, el enfoque se centrará en la polución del agua, que está siendo afectada por el cianuro y otros contaminantes. Este compuesto es especialmente peligroso para la fauna, la flora y la salud humana, ya que todos ellos dependen de este recurso. El cianuro es una sustancia altamente tóxica y perjudicial para la salud, y su ingestión por encima de los niveles permitidos puede causar enfermedades graves e incluso la muerte.

Por lo tanto, la problemática a resolver consiste en determinar la eficacia de la aplicación del peróxido de hidrógeno para la degradación del cianuro en los residuos líquidos generados en la planta de beneficio Andes de la empresa minera Aurex S.A., producto de la recuperación de los metales Au y Ag mediante la utilización del cianuro como lixivante en un ambiente alcalino, con el objetivo de contribuir al cumplimiento de los estándares ambientales y a la sostenibilidad de las operaciones mineras.

1.2. Delimitación de la investigación.

La presente investigación se delimita al estudio de la degradación del cianuro mediante el uso de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) en los residuos líquidos generados por la planta de beneficio de la empresa Aurex S.A., ubicada en el centro poblado de Yurajhuanca, distrito de Simón Bolívar. El enfoque se centra exclusivamente en los procesos de cianuración de minerales de oro y plata, que son las principales actividades de la planta, y en los métodos para tratar el cianuro remanente en los efluentes.

Delimitación espacial: El ámbito de estudio está restringido a las instalaciones de la planta de beneficio Aurex S.A., donde se recolectarán y analizarán muestras de los residuos líquidos generados durante los procesos de lixiviación.

Delimitación temporal: La investigación abarcará un período comprendido entre enero y diciembre de 2021, durante el cual se llevaron a cabo la recolección de datos, los experimentos de laboratorio y el análisis de resultados.

Delimitación temática: La investigación se enfoca específicamente en evaluar la eficiencia del peróxido de hidrógeno como agente oxidante para la degradación del cianuro. No se considerarán otros métodos de tratamiento, como la cloración o los procesos biológicos, aunque se mencionarán brevemente en la revisión de literatura para contextualizar el problema.

Delimitación técnica: Se emplearán técnicas de análisis químico para medir las concentraciones de cianuro antes y después del tratamiento con peróxido de hidrógeno, tales como la espectrofotometría de absorción molecular y los análisis de parámetros fisicoquímicos relacionados. Los experimentos se realizarán bajo condiciones controladas de laboratorio y a escala piloto, según los parámetros operativos habituales de la planta.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cómo afecta la aplicación de peróxido de hidrógeno en la degradación del cianuro (CN^-) presente en los efluentes líquidos generados por la planta de beneficio de la empresa Aurex S.A.?

1.3.2. Problemas Específicos

- a) ¿Cuál es el efecto del volumen de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) en la reducción de la concentración de cianuro en los efluentes líquidos?
- b) ¿Cómo influye el tiempo de reacción en la eficiencia de degradación del cianuro mediante el uso de H_2O_2 ?
- c) ¿Qué condiciones operativas (pH, temperatura, agitación) son necesarias para maximizar la eficacia del tratamiento con peróxido de hidrógeno en la remediación de aguas contaminadas?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la eficacia de la oxidación química del cianuro (CN^-) en efluentes líquidos mediante la aplicación de peróxido de hidrógeno (H_2O_2), estableciendo las condiciones óptimas de tratamiento para reducir su concentración a niveles inferiores a 1 ppm en la planta de beneficio de Aurex S.A.

1.4.2. Objetivos específicos.

- a) Determinar el impacto del volumen de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) en la concentración de cianuro en los efluentes líquidos.
- b) Evaluar cómo el tiempo de reacción afecta la eficiencia de degradación del cianuro.
- c) Identificar las condiciones operativas óptimas para el tratamiento de efluentes contaminados con cianuro utilizando H_2O_2 .

1.5. Justificación de la investigación

La extracción de oro y plata mediante el proceso de cianuración es una práctica ampliamente utilizada en la industria minera debido a su alta eficiencia en la recuperación de metales preciosos. Sin embargo, uno de los principales

desafíos asociados a esta técnica es la generación de residuos líquidos que contienen concentraciones significativas de cianuro, un compuesto altamente tóxico que representa un riesgo crítico para el medio ambiente y la salud humana si no es manejado adecuadamente (Akcil & Mudder, 2003).

En el caso de la planta de beneficio de la empresa Aurex S.A., la presencia de cianuro en sus efluentes constituye una preocupación ambiental prioritaria, ya que el incumplimiento de las normativas vigentes puede derivar en sanciones legales, daños ecológicos y afectaciones a las comunidades cercanas. Por ello, resulta imperativo implementar soluciones innovadoras y sostenibles para la gestión de este contaminante.

El uso del peróxido de hidrógeno (H_2O_2) como agente oxidante en la degradación del cianuro es una alternativa eficiente y económicamente viable. Esta tecnología no solo permite reducir las concentraciones de cianuro a niveles aceptables según las normativas ambientales, sino que también se alinea con los principios de prevención de la contaminación y mejora continua establecidos por la norma ISO 14001, promoviendo la sostenibilidad operativa de la empresa (Asamoah et al., 2020).

Desde una perspectiva académica, esta investigación contribuye al desarrollo de conocimientos aplicados en la remediación ambiental dentro del sector minero. Además, los resultados obtenidos pueden servir como referencia para otras plantas de beneficio con problemáticas similares, promoviendo la adopción de prácticas responsables en la industria.

Finalmente, la investigación tiene un impacto social relevante al contribuir a la protección del medio ambiente y la salud pública, beneficiando tanto a las comunidades locales como al entorno natural. Por estas razones, el

estudio de la degradación del cianuro con peróxido de hidrógeno en la planta de beneficio de Aurex S.A. es una iniciativa necesaria, pertinente y de alto valor científico y práctico.

Justificación Social.

La presente investigación ayudara a resolver el problema del desconocimiento de la población aledaña a la empresa minera Aurex SAC. Consiente de que toda actividad genera un impacto al ambiente y por lo tanto al ser humano y el entorno en que se desarrolla se ve directamente perjudicado, en la actualidad las empresas conscientes y responsables manejan dentro de sus problemas a resolver, estudios y controles a los procedimientos y actividades que se realicen en sus diferentes proyectos, con el fin de determinar mediante el estudio de parámetros determinados, cuáles serían los mecanismos adecuados para llevar un control ambiental y reducir las afectaciones y el tiempo que podrían sufrir las comunidades involucradas dentro de sus proyectos.

Justificación Económica.

Existe interés de parte de parte de la empresa Aurex SAC. Con el objetivo de eliminar la contaminación de los efluentes mineros, se previene la aparición de efectos negativos en la salud y, consecuentemente, la economía excesiva en los costos de tratamiento sanitario.

1.6. Limitaciones de la investigación

Se reconoce que factores externos, como la variabilidad en la composición de los residuos líquidos o las restricciones presupuestarias y logísticas, pueden influir en los resultados obtenidos. Sin embargo, estos aspectos serán considerados en el análisis y discusión para garantizar la validez de las conclusiones.

El estudio solo abarca los efluentes de la Planta de Beneficio de la Empresa Minera Aurex SAC, situada en el distrito de Simon Bolivar de Rancas, Por tanto la limitación fue el acceso a las instalaciones de Compañía Minera Aurex S.A. para la obtención de las muestras.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

Antecedentes Locales

Rupay Güere (2013) realizó una tesis de maestría en Ingeniería de Minas en la que estudió la destrucción del cianuro residual en pruebas de cianuración de oro utilizando peróxido de hidrógeno. Este trabajo destaca la eficacia del peróxido como agente oxidante en la eliminación de cianuro en condiciones controladas. [Enlace al documento.](#)

Cairo García (2021), en su investigación para la Universidad César Vallejo, analizó la remoción de cianuro mediante procesos de oxidación con peróxido de hidrógeno e hipoclorito de sodio. Los resultados mostraron que estas técnicas pueden ser efectivas para reducir las concentraciones de cianuro en efluentes mineros. [Enlace al documento.](#)

Antecedentes Nacionales

García Girón y Frank (2022) realizaron un análisis comparativo del tratamiento de efluentes cianurados con peróxido de hidrógeno y metabisulfito de

sodio. Su investigación determinó que, aunque el peróxido de hidrógeno tiene un costo menor por metro cúbico, el metabisulfito logró una reducción más efectiva del cianuro, alcanzando concentraciones finales de 12.94 mg/L en comparación con 23.23 mg/L para el metabisulfito.

Mamani Chávez (2010) evaluó el efecto de la adición de sulfato ferroso y peróxido de hidrógeno para remover cianuro en relaves mineros en la Compañía Minera MARSA. Su estudio mostró que esta combinación permite una remoción del 92% del cianuro, destacando su potencial para mitigar la contaminación del agua y el suelo agrícola circundante. [Enlace al documento.](#)

Fajardo et al. (2010) presentaron un estudio sobre el tratamiento químico de relaves auríferos utilizando peróxido de hidrógeno y formaldehído para la degradación del cianuro. Este trabajo se centra en optimizar las condiciones operativas para maximizar la eficiencia del tratamiento, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental en áreas mineras. [Enlace al documento.](#)

Rojas (2019) investigó la reducción del consumo de cianuro en la lixiviación del oro, analizando cómo el uso de peróxido de hidrógeno puede mejorar los procesos hidrometalúrgicos y minimizar el impacto ambiental asociado con el uso excesivo de cianuro en la minería. [Enlace al documento.](#)

González et al. (2021) realizaron un estudio sobre la remoción de cianuro en efluentes mineros mediante oxidación avanzada con peróxido de hidrógeno, evaluando su efectividad bajo diferentes condiciones experimentales y proponiendo mejoras para su implementación en procesos industriales.

Antecedentes Internacionales

Amaouche et al. (2019) investigaron la oxidación del cianuro utilizando peróxido de hidrógeno y óxido de cobre como catalizador. Su investigación

evidenció que la aplicación del catalizador incrementa notablemente la rapidez de la reacción, elevando la expulsión de cianuro del 60% al 94% al elevar la dosis del catalizador de 0.5 g/L a 5 g/L.

Zhang et al. (2020) realizaron un estudio sobre la eficacia del peróxido de hidrógeno en la degradación de cianuro en aguas residuales mineras. Los resultados mostraron que el peróxido es un agente oxidante efectivo, logrando concentraciones de cianuro por debajo de los límites permitidos mediante un proceso optimizado que incluye el control del pH y la temperatura.

Khan et al. (2021) exploraron el tratamiento de efluentes cianurados utilizando oxidación avanzada con peróxido de hidrógeno y ozono. Este estudio concluyó que la combinación de ambos oxidantes mejora significativamente la eficiencia en la eliminación de cianuro, alcanzando hasta un 98% de remoción en condiciones óptimas.

Li et al. (2018) llevaron a cabo una investigación sobre el uso de peróxido de hidrógeno para tratar soluciones cianuradas, donde se evaluaron diferentes condiciones operativas para maximizar la degradación del cianuro libre y complejo en aguas residuales mineras, logrando reducciones significativas en las concentraciones iniciales de cianuro.

Bai et al. (2022) estudiaron el efecto del peróxido de hidrógeno en combinación con otros agentes oxidantes para la degradación del cianuro en efluentes mineros, demostrando que esta combinación puede ser altamente efectiva, logrando una reducción del cianuro total por encima del 90% bajo condiciones controladas de temperatura y pH ajustado adecuadamente.

Estos antecedentes internacionales ofrecen una perspectiva amplia sobre las investigaciones realizadas en el campo de la degradación del cianuro

utilizando peróxido de hidrógeno, lo cual es relevante para tu tesis sobre el tema en la planta de beneficio Aurex S.A.

2.2. Bases teóricas – científicas

Mudder y Botz (2001) destacan que el cianuro es ampliamente utilizado en la minería para la lixiviación de oro y plata debido a su capacidad para formar complejos solubles con estos metales en soluciones alcalinas. Sin embargo, el manejo inadecuado de los residuos con cianuro plantea riesgos ambientales significativos, especialmente para fuentes de agua. Estos autores resaltan que los procesos de oxidación avanzada, como el uso de peróxido de hidrógeno, son efectivos para degradar el cianuro a productos menos tóxicos, como el cianato y el dióxido de carbono.

Akcil y Mudder (2003) explican que la oxidación química con peróxido de hidrógeno es una técnica eficiente para tratar efluentes que contienen cianuro, debido a su capacidad para reaccionar rápidamente bajo condiciones alcalinas controladas. Este método es particularmente útil en la degradación de cianuro libre y de algunos compuestos asociados, como los complejos de cianuro de metales pesados. Además, subrayan que la optimización del pH y la dosificación del oxidante son fundamentales para maximizar la eficiencia del proceso.

Rodríguez y López (2020), en sus estudios sobre remediación ambiental en plantas mineras de Brasil, enfatizan que el uso de peróxido de hidrógeno no solo es eficiente, sino que también representa una solución sostenible al generar subproductos mínimos y menos tóxicos. Según estos autores, el proceso de degradación del cianuro mediante peróxido requiere un control riguroso de las condiciones operativas, como la temperatura y la agitación.

Martínez y Gómez (2019) analizaron la interacción entre el cianuro y el peróxido de hidrógeno en soluciones industriales, demostrando que la reacción de oxidación depende del tipo de cianuro presente. En sus investigaciones, observaron que el cianuro libre es más susceptible a la degradación que los complejos metálicos, lo que sugiere que los tratamientos deben ser adaptados a la composición específica de los efluentes.

Álvarez y Gómez (2021), en el contexto de plantas de beneficio en Perú, describen cómo el peróxido de hidrógeno puede ser usado en combinación con catalizadores para acelerar la degradación del cianuro en aguas residuales. Sus hallazgos destacan la reducción del impacto ambiental de los efluentes al lograr una eliminación del cianuro que cumple con los estándares ambientales nacionales.

Universidad de Witwatersrand (2018) resalta que el uso del peróxido de hidrógeno es particularmente efectivo en efluentes alcalinos donde el cianuro está presente en forma libre o como cianatos. En su estudio, optimizaron los parámetros de operación, como el tiempo de reacción y la dosificación del oxidante, logrando resultados prometedores en la remediación de aguas contaminadas en Sudáfrica.

Quispe (2019), en su tesis sobre el tratamiento de cianuro en aguas residuales peruanas, afirma que la degradación con peróxido de hidrógeno es una de las alternativas más viables en términos económicos y técnicos. Su investigación identifica que el control del pH entre 9 y 11 es crucial para garantizar la máxima eficiencia del proceso de oxidación.

Ríos y Pérez (2020), en un análisis experimental de efluentes mineros en Ecuador, señalan que el peróxido de hidrógeno ofrece ventajas significativas

sobre otros oxidantes químicos, como el hipoclorito de sodio, debido a su mayor compatibilidad ambiental y menor generación de residuos secundarios.

Ministerio del Ambiente (2019) en un informe técnico sobre el manejo de residuos mineros en Perú, resalta que la implementación de procesos de oxidación avanzada, como el uso de peróxido de hidrógeno, es fundamental para garantizar el cumplimiento de las normativas ambientales y mitigar los riesgos asociados al cianuro.

Ramírez y Sánchez (2020) concluyen que la combinación de peróxido de hidrógeno con otras tecnologías, como la adsorción en carbón activado, puede potenciar la eliminación de cianuro en efluentes industriales, logrando no solo su degradación química, sino también la retención de compuestos tóxicos residuales.

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Cianuro.

Según Mejía, T. (2007). El cianuro es un compuesto químico, capaz de convertirse en un gas sin color, altamente tóxico, potencialmente mortal y corrosivo, que se degrada al interactuar con agua. Varias formas son reconocidas; el cianuro de hidrógeno (HCN), el cloruro de hidrógeno (ClCN), y en cristales como el cianuro de sodio (NaCN). Estas sales son sólidos blancos con un aroma amargo a almendra en entornos húmedos. El cianuro de potasio (KCN), que posee una densidad relativa de 1.52, tiene un punto de fusión de 653°C y un peso molecular de 65.1. En el proceso de cianuración en la minería, el cianuro se emplea para extraer oro, plata y platino del resto de material, a través del cual se diferencian los elementos solubles del material sólido inerte.

En esencia, el cianuro (CN-) se manifiesta como cianuro de hidrógeno (HCN), un gas, o como cianuro de potasio (KCN). Es posible que reaccione con

facilidad, incluso en concentraciones muy bajas, con metales pesados y valiosos. Generalmente se manifiesta en dos formas: cianuro libre y metalocianuros o complejos de cianuro; señala. (T. Mejía, 2007).

2.3.2. Hidrolisis del cianuro.

En el aire húmedo y en soluciones, el cianuro se hidroliza mediante la siguiente reacción (Vargas, 1995).

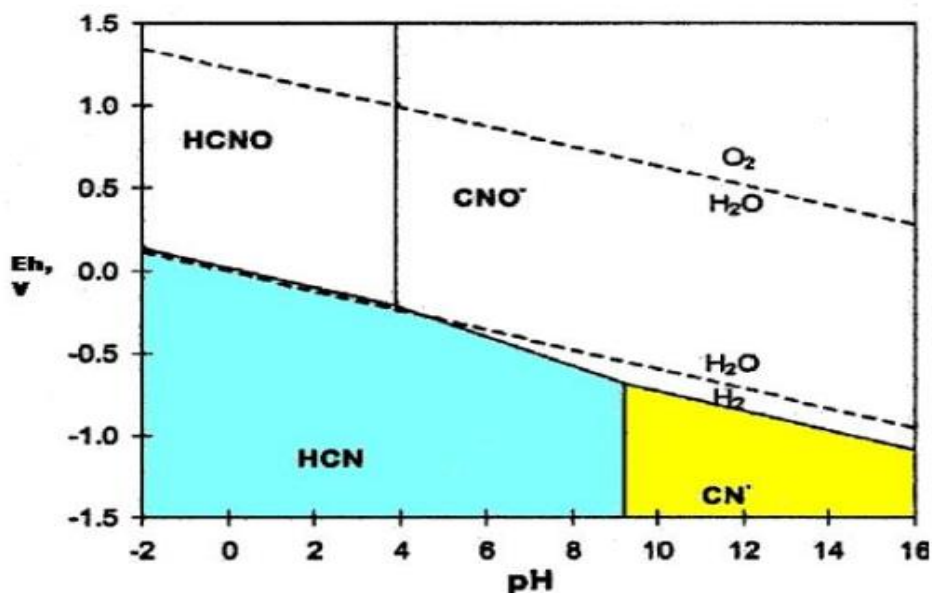


La constante de disociación del ácido hidrociánico es de $4,36 \times 10^{-10}$, y el equilibrio depende fuertemente del pH (Smith and Martell, 1976).

A pH 9,38 (valor del pKa) el 50 % del cianuro está presente como HCN, de modo que el “cianuro libre” es el término utilizado para describir tanto el ion cianuro (CN^-) que se disuelve en el agua del proceso como cualquier cianuro de hidrógeno (HCN) que se forma en la solución. Casi todo el cianuro libre está presente como HCN cuando hay bastantes iones hidrógeno presentes, es decir, a un valor de pH de 9,38 ó menos. El HCN, entonces, puede volatilizarse y dispersarse en el aire.

Cuando el pH es superior a 10,5, hay pocos iones hidrógeno presentes y casi todo el cianuro está presente como CN^- .

Figura 1. Diagrama Eh-pH del CN-H₂O asumiendo que el HCNO y el CNO⁻ son estables a condiciones normales



En condiciones normales de presión y temperatura, las concentraciones de HCN y CN⁻ son iguales a un valor de pH de aproximadamente 9,38. A un pH 11, el 99 % del cianuro permanece en la solución como CN⁻, mientras que a pH 7, el 99 % del cianuro existirá como HCN. Aunque el HCN es altamente soluble en agua, su solubilidad disminuye con el aumento de la temperatura y bajo condiciones altamente salinas. El gas y el líquido del HCN son incoloros y tienen el olor de almendras amargas, aunque no todos los individuos pueden detectar el olor. Estas formas de cianuro libre son importantes porque se consideran como los cianuros más tóxicos. Sin embargo, también son las formas que se eliminan fácilmente de las soluciones mediante bien elaborados procesos de tratamiento y mecanismos naturales de atenuación. Como resultado de la ruptura de la cadena de C por la hidrólisis, el HCN se transformará lentamente a la forma de amonio. Así:





Esta última reacción depende de la temperatura.

2.3.3. Reacción con el dióxido de carbono (CO₂).

En presencia de CO₂, el cianuro forma HCN de acuerdo con:



Por consiguiente, la alcalinidad libre debe estar presente para reaccionar con el ácido carbónico y mantener la disociación del HCN. Si se utiliza cal, formaría CaCO₃, el cual precipitará. En ausencia de álcalis, el HCN puede formar polímeros que precipitan en la forma de decoloraciones pardas o puede irse como gas a la fase vapor. (Habashi, 1967)

2.3.4. Oxidación.

Desde el punto vista de la oxidación, el ion cianuro puede ser rápidamente oxidado con el hipoclorito, el peróxido, el ozono, mezclas de dióxido de azufre/aire o por electrólisis. El oxígeno atmosférico reacciona lentamente con el cianuro a menos que sea catalizado.



2.3.5. Complejos derivados del cianuro.

a. El Ion Cianuro (CN⁻)

Este término se refiere únicamente al anión libre CN⁻ en solución (Fernández 2007).

b. Ácido cianhídrico molecular (HCN)

La molécula HCN, también conocida como ácido cianhídrico o cianuro de hidrógeno, es neutra. Es un gas o líquido de color blanco con un punto de ebullición de 25.7 grados Celsius. Es un ácido de baja densidad y muy soluble en agua, con una constante de disociación de $4,365 \times 10^{-10}$ y una pKa de 9,31 a 20 oC (Broderius, 1970), para una reacción equilibrada de equilibrio:

$\text{CN}^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{HCN}$ (Fernández 2007). Únicamente el HCN es volátil a partir de soluciones acuosas y sólo el CN^- tiene capacidad de formar complejos con distintos iones metálicos, siendo esta la propiedad química por la cual, este ion es utilizado en aplicaciones industriales.

Bajo condiciones habituales de temperatura y presión, los niveles de HCN y CN^- se mantienen en un valor de pH cercano a 9,4. Estas variantes de cianuro libre son relevantes ya que son vistos como los cianuros con mayor toxicidad. No obstante, también son las formas que se sustraen con mayor facilidad de las soluciones a través de procesos de tratamiento sofisticados y mecanismos de atenuación naturales (Fernández 2007).

c. Compuestos simples de cianuro

Es acerca de sustancias iónicas que se desintegran directamente en el agua, liberando un catión y un ion cianuro. Suelen derivarse de sales derivadas de reacciones ácido-base (como el cianuro de sodio). Los cianuros libres y simples tienen la capacidad de transformarse en cianatos (compuestos que poseen el grupo CON^-) al ser sometidos a

procesos de oxidación (como sucede en el tratamiento de efluentes). Adicionalmente, pueden generar tiocianato debido a la reacción entre compuestos disminuidos de azufre y cianuro (Fernández 2007).

d. Compuestos Complejos de Cianuro

Son sustancias que en el agua se disocian, liberando un catión y un anión que posee un ion cianuro. El anión, conocido como complejo, puede continuar su disociación generando finalmente un catión y diversos iones de cianuro (como el $\text{Cu}(\text{CN})_3^{2-}$ o triciano cuprito). La creación de complejos se restringe prácticamente completamente a los metales transitorios de la tabla periódica, tales como Cu, Zn, Cd y Hg (Cotton y Wilkinson, 1972). Es conocido que 28 elementos en distintos estados de oxidación tienen la capacidad de formar 72 complejos con el cianuro, en su mayoría aniónicos. La creación de complejos metálicos en una disolución de cianuro es un procedimiento secuencial donde el metal genera inicialmente un producto de difícil solubilidad, que posteriormente interactúa con el ion de cianuro sobrante para crear un complejo de cianuro soluble y estable. La capacidad para formar complejos solubles se determina por la concentración del ion cianuro libre (Fernández 2007).

e. Organocianuros

Se refieren a sustancias orgánicas que poseen el grupo $-\text{C}\equiv\text{N}$; también se les conoce como nitrilos o cianuros. En ciertas circunstancias, tienen la capacidad de liberar iones de cianuro, lo que provoca que muestren un comportamiento similar al de los cianuros simples. Un caso representativo son las cianhidrinas ($\text{R}_2\text{C}(\text{OH})\text{CN}$) y

los glucósidos de cianogénesis ($R_1R_2C(OR_3)CN$). Otros organocianuros, como el acrilonitrilo (CH_2CHCN) y el acetonitrilo (CH_3CN), se descomponen para generar sus correspondientes ácidos y amoníaco, demostrando así una conducta distinta en comparación con las formas inorgánicas del cianuro (Fernández 2007).

f. Cianuro libre

Esta palabra abarca tanto al HCN molecular como al ion cianuro. Esta palabra se utiliza tanto en la descripción analítica del cianuro como en la valoración de su toxicidad (Fernández 2007).

g. Cianuro Disociable con Acido Débil o cianuro WAD (Weak Acid Dissociable)

Se refiere a los compuestos de cianuro que se disocian cuando se reflujo con un ácido débil (usualmente a pH 4-5). Se originan de cianuros de cadmio, cobre, níquel, plata y zinc, entre otros, generando niveles ambientales considerables de cianuro libre (Fernández 2007).

h. Cianuro Disociable en Acido Fuerte o cianuro SAD (Strong Acid Dissociable)

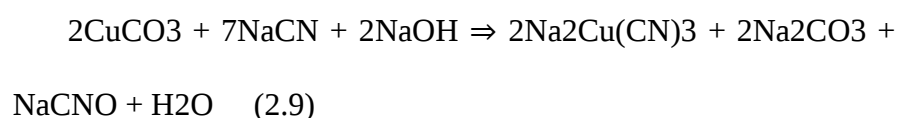
Es otro término analítico empleado para referirse a sustancias cianuradas que resisten el impacto de un ácido débil, pero que se separan en presencia de un ácido fuerte a un pH bajo (cerca de 2). En condiciones físicas y químicas habituales, su degradación es mucho más lenta que la de los cianuros WAD. Los complejos de oro, hierro y cobalto son robustos y estables en solución (Fernández 2007).

i. Cianuro Total

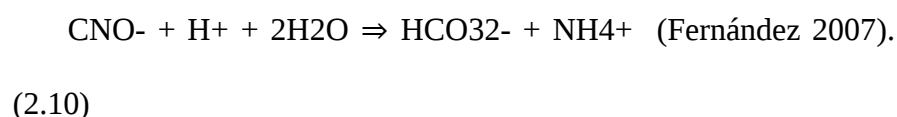
Así se conocen todos los componentes de cianuro presentes en una disolución de agua. Este es un término utilizado en los procesos de análisis. El cianuro total auténtico de una solución puede o no coincidir con el cianuro total establecido por un método analítico específico. En términos prácticos, la determinación del cianuro total se basa en el método analítico utilizado (Fernández 2007).

j. Cianato (CNO⁻)

El cianato (CNO⁻) es una sustancia producida durante el proceso de mineralización, a raíz de la interacción entre el ion cianuro libre y un ion metálico, como el ion cúprico, o durante la purificación de efluentes que contienen cianuro a través de un agente oxidante como el peróxido de hidrógeno o el ion hipoclorito. En el escenario particular de la creación del cianato a partir de un mineral que posee carbonato cúprico, se puede describir mediante la siguiente reacción:



(Fernández 2007). El cianato puede hidrolizarse para producir ion amonio:



Se han identificado con precisión los elementos que influyen en la rapidez de la hidrólisis del cianato. Una investigación realizada por Wastart Limited acerca de la estabilidad del cianato reveló que este se mantenía bastante estable en soluciones artificiales durante un

lapso de 28 días, aunque presentaba cierto deterioro en los efluentes de las plantas de procesamiento de minerales.

Scott (1997) evidenció que el cianato tiene la capacidad de oxidarse para generar gases como nitrógeno y carbonato, siempre y cuando se empleen agentes oxidantes potentes como el cloro, a un pH de 8 a 9, y un periodo de reacción de 1,5 horas. Además, otros científicos determinaron que es estable bajo condiciones alcalinas, pero se degrada bajo condiciones ácidas para producir amonio.

Hay investigaciones que evidencian la degradación natural del cianato en las balsas de contención (Schmidt et al. 1981), sin embargo, los mecanismos que intervienen no han sido estudiados. No obstante, parece que su degradación/adsorción se produce de manera relativamente veloz en la capa freática. Los terrenos estudiados evidenciaron una elevada habilidad para absorber cianato. Los estudios más recientes realizados por International Corona para valorar la habilidad de diferentes tipos de suelo para disminuir las concentraciones de cianuro, mostraron reducciones que superaban el 90%. Parece que no hubo un aumento en la concentración de amoníaco. El cianato se balancea en el agua para generar el isocianato, el cual tiene la capacidad de interactuar con diversos compuestos orgánicos e inorgánicos (Resnick et al, 1958). Hay escasez de datos acerca del destino y comportamiento del cianato inorgánico, por lo que suponer que el único proceso de descomposición del cianato es la hidrólisis para generar amoníaco y carbonato no deja de ser una simplificación desmedida y permite

avanzar hacia líneas de investigación más detalladas (Fernández 2007).

2.3.6. Uso del cianuro.

se utiliza ampliamente en la minería, particularmente para la extracción de metales preciosos como el oro y la plata. Este compuesto es fundamental en el proceso de cianuración, donde se disuelve el mineral en una solución cianurada para separar los metales deseados. Según el Departamento Estatal de Servicios de Salud de Texas (2021), el cianuro se emplea debido a su alta eficacia para formar complejos solubles con metales, lo que permite su recuperación en concentraciones que serían difíciles de obtener mediante otros métodos.

En la minería, el cianuro se aplica generalmente en forma de cianuro de sodio (NaCN) o cianuro de potasio (KCN). Durante el proceso, el mineral triturado se mezcla con agua y una solución cianurada, lo que permite que el oro se disuelva en la solución. Posteriormente, se utilizan métodos como la precipitación con zinc o carbón activado para recuperar el metal precioso (González et al., 2021).

Sin embargo, el uso del cianuro plantea serios riesgos ambientales y para la salud. La toxicidad del cianuro puede causar efectos adversos graves si no se maneja adecuadamente. Por ello, es crucial implementar procesos efectivos para su degradación y tratamiento antes de que los efluentes sean liberados al medio ambiente. En este contexto, la investigación sobre la degradación del cianuro mediante peróxido de hidrógeno busca abordar estos desafíos, proponiendo un método que no solo sea efectivo sino también sostenible.

La necesidad de un tratamiento adecuado es evidente, ya que la exposición al cianuro puede resultar en consecuencias letales para los seres humanos y la

fauna local. Por lo tanto, esta investigación no solo tiene implicaciones económicas para la industria minera, sino también importantes consideraciones ambientales y de salud pública (Mamani Chávez, 2010).

2.3.7. Degradación de cianuro.

Martínez y Gómez (2019) definen este proceso como la transformación química del cianuro en compuestos menos tóxicos, como el cianato o el dióxido de carbono, mediante procesos de oxidación avanzada que emplean agentes químicos como el peróxido de hidrógeno.

2.3.8. Peróxido de hidrógeno (H_2O_2)

De acuerdo con Rodríguez y López (2020), el peróxido de hidrógeno es un agente oxidante ampliamente empleado en procesos industriales y ambientales para la degradación de contaminantes, incluyendo el cianuro, debido a su alta reactividad y capacidad de generar productos no tóxicos como agua y oxígeno.

Uso del peróxido de hidrógeno (H_2O_2)

El uso del peróxido de hidrógeno presenta varias ventajas sobre otros agentes oxidantes. Por un lado, su descomposición produce agua y oxígeno, lo que minimiza los residuos peligrosos. Además, no contribuye al aumento de salinidad en los efluentes tratados, lo cual es un problema común con otros oxidantes como el hipoclorito de sodio (García Girón & Frank, 2022). En estudios recientes, se ha demostrado que el peróxido puede alcanzar tasas de remoción del cianuro superiores al 95% cuando se optimizan las condiciones operativas, como el tiempo de retención y la relación molar entre el oxidante y el contaminante (Cairo García, 2021).

Además, la adición de catalizadores metálicos solubles, como el cobre, puede aumentar significativamente la velocidad de reacción y la eficiencia del

proceso de degradación del cianuro (Amaouche et al., 2019). Esto es especialmente relevante en plantas de beneficio donde se procesan grandes volúmenes de mineral y se generan efluentes que requieren tratamiento adecuado para cumplir con las normativas ambientales.

En resumen, el peróxido de hidrógeno se ha consolidado como una opción viable y efectiva para el tratamiento químico del cianuro en efluentes mineros, contribuyendo a prácticas más sostenibles en la industria extractiva.

Referencias

Gaviria et al. (2006). Estudio sobre métodos químicos para la degradación del cianuro.

García Girón & Frank (2022). Análisis comparativo del tratamiento de efluentes cianurados.

Cairo García (2021). Evaluación del uso del peróxido de hidrógeno en la remoción de cianuro.

Amaouche et al. (2019). Efecto de catalizadores en la oxidación del cianuro con peróxido de hidrógeno.

Lixiviación

Según Mudder y Botz (2001), la lixiviación es un proceso hidrometalúrgico utilizado en la minería, en el cual se emplean soluciones químicas para disolver metales de interés, como oro y plata, de los minerales extraídos.

La lixiviación se define como "la separación de una o varias sustancias (solutos) contenidas en una matriz sólida (fase portadora) mediante el uso de disolventes líquidos". En el caso específico de los minerales de oro y plata, el

cianuro se utiliza debido a su alta eficacia para formar complejos solubles con estos metales.

El proceso de lixiviación comienza con la trituración y molienda del mineral para aumentar su superficie expuesta. Luego, se aplica una solución diluida de cianuro (generalmente cianuro de sodio) sobre el mineral triturado en tanques o pilas. El cianuro actúa en presencia de oxígeno, disolviendo el oro y formando un complejo soluble que se puede recuperar posteriormente mediante técnicas como la precipitación con polvo de zinc o carbón activado (Minera En Línea, 2024).

La lixiviación puede llevarse a cabo en diferentes configuraciones, como lixiviación en pilas, donde el mineral se apila y se riega con la solución lixivante, o lixiviación dinámica, que implica un proceso más controlado y continuo en tanques donde se mezclan el mineral y el reactivo (Fimbres, 2024). Este último método es particularmente efectivo para minerales con alta ley y permite una recuperación más eficiente del metal.

Sin embargo, el uso del cianuro en este proceso ha generado preocupaciones ambientales debido a su toxicidad. Por ello, es esencial implementar métodos adecuados para la degradación del cianuro residual antes de liberar los efluentes al medio ambiente. La investigación sobre la degradación del cianuro utilizando peróxido de hidrógeno busca abordar estos desafíos y contribuir a prácticas mineras más sostenibles.

2.3.9. Planta de beneficio

El Ministerio del Ambiente (2019) define una planta de beneficio como una instalación industrial donde se procesan minerales para extraer metales

valiosos, mediante operaciones físicas y químicas, tales como molienda, lixiviación y fundición.

2.3.10. Oxidación avanzada.

Rodríguez y Pérez (2020) describen los procesos de oxidación avanzada como tecnologías que emplean agentes oxidantes potentes, como el peróxido de hidrógeno, para la destrucción de contaminantes orgánicos e inorgánicos en aguas residuales.

2.3.11. Efluentes mineros

Según la Universidad de Witwatersrand (2018), los efluentes mineros son las aguas residuales generadas en las operaciones de extracción y procesamiento de minerales, caracterizadas por contener contaminantes como metales pesados y cianuro.

2.3.12. Normativa ambiental

El Ministerio del Ambiente (2019) define la normativa ambiental como el conjunto de disposiciones legales que regulan las actividades industriales y mineras para prevenir, controlar y mitigar impactos negativos al medio ambiente.

2.3.13. Parámetros operativos

Martínez y Gómez (2019) indican que los parámetros operativos, como pH, temperatura y concentración del oxidante, son variables clave que deben ser controladas en los procesos químicos para garantizar la eficiencia en la degradación del cianuro.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La aplicación de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) de manera controlada resulta en una disminución significativa de la concentración de cianuro (CN^-) en los efluentes líquidos de la planta de beneficio de Aurex S.A.

2.4.2. Hipótesis específicas

- a) A mayor volumen de H_2O_2 , menor será la concentración final de cianuro en los efluentes líquidos.
- b) Un aumento en el tiempo de reacción se correlacionará con una mayor reducción en la concentración de cianuro.
- c) Las condiciones operativas, como un pH adecuado y temperatura controlada, mejorarán la eficacia de la degradación del cianuro mediante H_2O_2 .

2.5. Identificación de variables.

2.5.1. Variable independiente.

Volumen de peróxido de hidrógeno (H_2O_2): Cantidad de H_2O_2 utilizada en el tratamiento (55 ml, 85 ml).

Tiempo de reacción: Duración de la agitación durante el proceso de oxidación (4.5 horas, 7.5 horas).

2.5.2. Variable dependiente.

Concentración de cianuro (CN^-) en efluentes líquidos: Medida de la cantidad de cianuro presente en el agua tratada, expresada en partes por millón (ppm).

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

a. Volumen de Peróxido de Hidrógeno (H_2O_2)

Definición conceptual:

Según Marroquín Peña (2013), la concentración de peróxido de hidrógeno se refiere a la cantidad de este compuesto químico presente en una solución, expresada generalmente en términos de porcentaje o molaridad. El peróxido de hidrógeno es un agente oxidante utilizado en diversos procesos químicos, incluyendo la degradación de contaminantes como el cianuro.

Definición operacional:

La concentración de peróxido de hidrógeno se medirá utilizando un espectrofotómetro para determinar la absorbancia a una longitud de onda específica (aproximadamente 240 nm) después de preparar soluciones estándar. Se registrará la concentración en mg/L antes y después del tratamiento para evaluar su efectividad en la degradación del cianuro.

b. Tiempo de reacción.

Definición conceptual:

El tiempo de reacción es el intervalo temporal durante el cual se lleva a cabo una reacción química entre los reactivos. En el caso de la degradación del cianuro (CN^-) en efluentes líquidos mediante peróxido de hidrógeno (H_2O_2), el tiempo de reacción hace referencia a la duración durante la cual el peróxido de hidrógeno actúa sobre el cianuro para descomponerlo, transformándolo en compuestos menos tóxicos. La eficiencia de la reacción puede depender de la duración del contacto entre los reactivos, influyendo directamente en la conversión del cianuro a productos de degradación.

Definición operacional:

El tiempo de reacción se define como el tiempo específico, medido en horas o minutos, que transcurre desde que se inicia la adición de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) al efluente líquido contaminado con cianuro hasta que se mide la concentración final de cianuro después de la reacción. En los experimentos de esta tesis, el tiempo de reacción se controla mediante agitación continua y se varía en intervalos predeterminados (por ejemplo, 4.5 horas y 7.5 horas) para observar el impacto sobre la degradación del cianuro.

c. Concentración de cianuro (CN^-) en efluentes líquidos**Definición conceptual:**

Según Marroquín Peña (2013), la concentración de cianuro residual se define como la cantidad de cianuro que permanece en una solución después de un proceso de tratamiento. Esta variable es crucial para evaluar la eficacia del tratamiento aplicado.

Definición operacional:

La concentración de cianuro residual se determinará mediante el método colorimétrico utilizando el reactivo de ácido p-nitrobenzoico, que permite cuantificar el cianuro en muestras líquidas. Las mediciones se realizarán antes y después del tratamiento con peróxido de hidrógeno, reportando los resultados en mg/L.

Variable	Dimensión	Indicador	Escala de Medición	Técnica e Instrumento
Volumen de peróxido de hidrógeno (H ₂ O ₂)	Cantidad de H ₂ O ₂ aplicada	Volumen de peróxido utilizado en el tratamiento	Cuantitativa continua (ml)	Observación directa - Protocolo de laboratorio
Tiempo de reacción	Duración del tratamiento	Tiempo de agitación medido en horas	Cuantitativa continua (horas)	Cronometrado - Registro en hoja de control
Concentración de cianuro (CN ⁻) en efluentes líquidos	Nivel de cianuro residual	Concentración final de cianuro medida en ppm	Cuantitativa continua (ppm)	Espectrofotometría - Ficha de análisis químico

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

- Aplicada y experimental.

Investigación experimental:

Esta investigación es experimental porque involucra la manipulación de variables (como el Volumen de peróxido de hidrógeno, el Tiempo de reacción y la Concentración de cianuro (CN^-) para observar su impacto en la degradación del cianuro en los residuos líquidos. Se llevo a cabo en un laboratorio en el entorno de la planta, donde se realizaron pruebas para medir el efecto del peróxido de hidrógeno sobre el cianuro.

3.2. Nivel de Investigación.

- Aplicado y explicativo.

Nivel aplicado:

La investigación tiene un carácter **aplicado** porque no solo se busca generar conocimiento teórico sobre el proceso de degradación del cianuro, sino que también se utiliza este conocimiento en un contexto práctico, es

decir, en la **Planta de Beneficio** de la empresa minera Aurex S.A. Los resultados de la investigación permiten sugerir **condiciones operativas** para optimizar el proceso de tratamiento de aguas contaminadas con cianuro, cumpliendo con la **normativa ambiental** y mejorando la sostenibilidad del proceso.

Nivel Explicativo:

La investigación se centra en **explicar** los efectos de las variables independientes (volumen de peróxido y tiempo de reacción) sobre la **degradación del cianuro** en efluentes líquidos. Es decir, se busca entender cómo estas variables influyen en la eficacia del proceso de tratamiento, para reducir la concentración de cianuro. Además, se observa el comportamiento del cianuro a lo largo del proceso, buscando las **condiciones óptimas** para minimizar su concentración en las aguas tratadas.

3.3. Métodos de investigación.

Método experimental:

Dado que el estudio busca evaluar la influencia del peróxido de hidrógeno sobre la degradación del cianuro, el método experimental será el más adecuado. Este método implica la manipulación de variables independientes (concentración de peróxido de hidrógeno, pH, tiempo de tratamiento) para observar su efecto en las variables dependientes (concentración de cianuro, eficiencia de degradación).

Método cuantitativo:

Este método es esencial porque se centra en medir de forma precisa los efectos del tratamiento. La investigación se basará en obtener datos numéricos sobre la concentración de cianuro antes y después de aplicar peróxido de

hidrógeno, lo cual se realiza con instrumentos analíticos que permitan cuantificar la cantidad de cianuro en los residuos líquidos.

3.4. Diseño de investigación

Para el caso de la presente tesis, en la investigación se utilizó un **diseño experimental factorial**, que ha permite estudiar cómo los factores manipulados (volumen de peróxido y tiempo de reacción) influyen en la variable dependiente (concentración de cianuro) y evaluar cómo la combinación de estos factores optimiza el proceso de degradación del cianuro en los efluentes líquidos.

3.4.1. Tipo de diseño de investigación:

Diseño Experimental: Es un tipo de diseño que permite controlar y manipular variables para observar sus efectos en una o más variables dependientes. En tu caso, el diseño experimental se enfoca en manipular dos variables independientes (volumen de peróxido y tiempo de reacción) para observar cómo afectan la concentración de cianuro en los efluentes líquidos, que es la variable dependiente.

Diseño Factorial de Dos Niveles: Se trata de un diseño donde se manipulan dos factores (en este caso, el volumen de peróxido y el tiempo de reacción) y se exploran al menos dos niveles de cada factor (como se menciona en tu investigación: 55 ml y 85 ml de peróxido, y 4.5 horas y 7.5 horas de tiempo de reacción). Este diseño permite no solo analizar el impacto de cada factor por separado, sino también las interacciones entre ambos factores.

Un experimento es la preparación y ejecución de conjuntos de prueba, que se hacen con el objetivo de verificar la validez de una hipótesis sobre las causas o factores de un fenómeno que se estudia. La experimentación juega un papel fundamental en casi todos los campos de la investigación y el desarrollo, su

objetivo es obtener información de calidad que permita desarrollar nuevos productos y procesos, comprender mejor un sistema (como un proceso industrial) y tomar decisiones sobre como optimizarlo, etc. Por lo que en esta investigación se hace uso de un diseño factorial para evaluar estadísticamente como afectan los factores y los niveles escogidos para la investigación. En el diseño factorial es necesario establecer los factores a evaluar en la investigación, en este caso se evaluará la influencia de la cantidad de volumen de peróxido de hidrogeno en la degradación del cianuro en el efluente por ser el agente oxidante, de igual forma el tiempo de agitación de la reacción a la que se somete la solución cianurada con el peróxido de hidrogeno, la cantidad de catalizador en este caso el sulfato de cobre se estandariza puesto que en investigaciones anteriores así como información recopilada de usuarios del sistema no hacen cambio significativo en la cantidad de catalizador a usar puesto que muchos minerales contienen en su composición dicho metal y en caso de que no contenga el metal es que se usa el catalizador. Por otro lado se sabe que la cantidad de revoluciones por minuto no afecta a la velocidad de reacción, tomando en cuenta también que se busca la factibilidad del proceso con el menor costo de operación. Entonces el diseño factorial tiene 2^k experimentos, donde k = factores (volumen de peróxido de hidrogeno y tiempo de agitación), cada uno con dos niveles, por lo que la matriz del experimento seria:

Tabla 1. Identificación de factores y niveles del diseño experimental

	X1	X2
1	-	+
2	+	-

Resumiendo, en la tabla se muestra los factores y niveles a experimentar:

Tabla 2. *Identificación de factores y niveles del diseño experimental.*

Factores		PPM DE CIANURO DEGRADADO
Volumen de Peróxido (ml)	Tiempo (h)	Ensayo
Nivel (+)	Nivel (+)	
Nivel (+)	Nivel (-)	
Nivel (-)	Nivel (+)	
Nivel (-)	Nivel (-)	

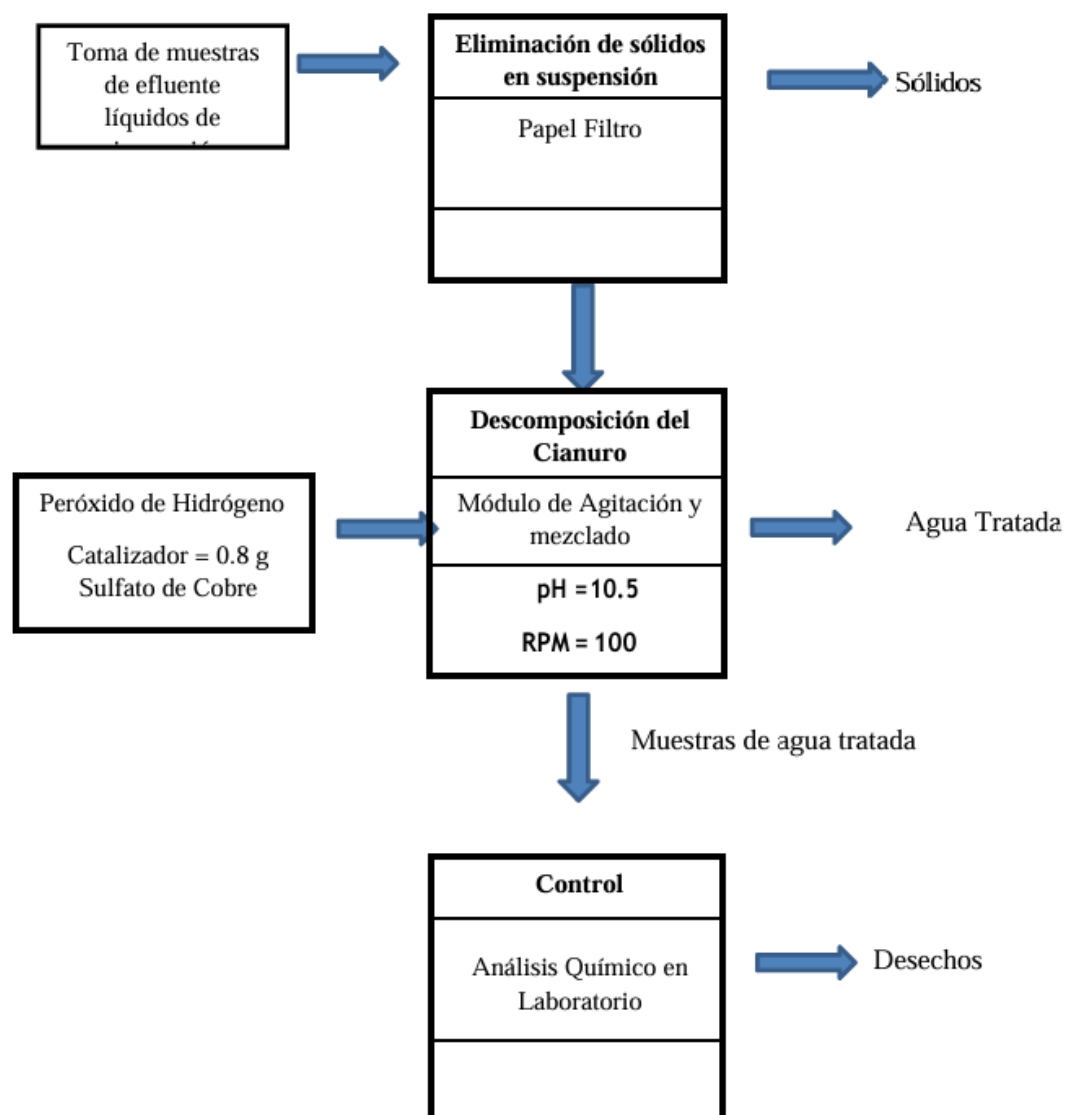
Fuente: Elaboración Propia

Según Scott, asegura que a un pH de 10,5 aproximadamente el 100 % de cianuro se encuentra como cianuro libre CN^- (Figura 2.3) como se observa en el Diagrama de Concentraciones en equilibrio de CN^- y de HCN en función del pH.

Metodo.

Oxidación Química con $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Cu}^{+2}$

EFLUENTE LÍQUIDO, INSUMOS	PROCESO PRINCIPAL	SALIDAS
---------------------------	-------------------	---------



3.5. Población y muestra

3.5.1. 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 recolectada de la planta de beneficio de la empresa Aurex. SAC., que fue de 200 litros.

3.5.2. 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).

Se recolectó la muestra de los efluentes líquidos contaminados con cianuro, en este caso fueron recogidos con una frecuencia de 12 horas, 2 muestras por día, la cantidad de 10 litros, empezando el 02 de junio del 2021, de la planta de beneficio de la empresa minera Aurex S.A., ubicada en el distrito de Simón Bolívar, provincia y departamento de Pasco.

Para el análisis en la prueba, se extrajo una muestra de 10 litros cada 12 horas

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

Propiedades Químicas

Muestra analizada por el Método de Ensayo para metales traza por ICP-OES, a la muestra N° 01.

Tabla 3. Descripción cualitativa y cuantitativa de metales presentes de una muestra del efluente cianurado

Descripción	Valor
Muestra N°01	Solución de Cianuro
Mg (mg/l)	3.27
Mn (mg/l)	a<0.32
Mo (mg/l)	5.503
Na (mg/l)	1008
Ni (mg/l)	0.391
P (mg/l)	0.849
Pb (mg/l)	a<0.06
Sb (mg/l)	0.182
Se (mg/l)	0.072
Sn (mg/l)	a<1.6
Sr (mg/l)	0.101
Te (mg/l)	a<0.08
V (mg/l)	0.326
Zn (mg/l)	0.113

Fuente: Laboratorios AGQ PERU S.A.C.

Tabla 4. Descripción cualitativa y cuantitativa de metales presentes de una muestra del efluente cianurado.

Descripción	Valor
Muestra N°01	Solución de Cianuro
Ag (mg/l)	1.53
Al (mg/l)	1.3
Ba (mg/l)	a<0.32
Bi (mg/l)	a<0.20
Ca (mg/l)	8.25
Cd (mg/l)	a<0.00
Co (mg/l)	1.894
Cr (mg/l)	a<0.06
Cu (mg/l)	210.84
Fe (mg/l)	88.83
Ga (mg/l)	a<0.16
In (mg/l)	a<0.04
K (mg/l)	21.63
La (mg/l)	0.552
Li (mg/l)	a<0.32

Fuente: Laboratorios AGQ PERU S.A.C.

Las muestras fueron analizadas por método de Ensayo para Cianuro Total es por Destilación – Fotometría

Tabla 5. Cantidad de CN total en muestras diferentes de la Planta de beneficio de la empresa Aurex S.A.

Fecha de Solución Extraída	Muestra	Descripción de Muestra	CN Total (mg/l)
3/06/2021	Muestra 2	Solución de Cianuro	175
4/06/2021	Muestra 3	Solución de Cianuro	246
5/06/2021	Muestra 4	Solución de Cianuro	272
6/06/2021	Muestra 5	Solución de Cianuro	179

Fuente: Elaboración Propia.

3.5.3. 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 estas muestras fueron obtenidas de la planta de beneficio de la empresa Aurex. S.A.

3.6. Técnicas e instrumento de recolección de datos

3.6.1. 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.

La técnica la toma de muestra fue la aplicación procedimental de un vaso de precipitado (1000ml), libreta de campo, plumón indeleble, guantes y cámara fotográfica, esta técnica permitió obtener información de primera mano en contacto directo con el objetivo de estudio.

3.6.2. Instrumentos de recolección de datos.

El método observacional empleado consiste en realizar un registro sistemático, actualizado y confiable de las conductas y situaciones observadas,

mediante la recopilación de datos específicos. Este enfoque se apoya en el uso de instrumentos analíticos, como tablas, cuadros y gráficas, que facilitan la interpretación precisa de los datos cuantitativos obtenidos, permitiendo una evaluación objetiva y detallada de los fenómenos estudiados.

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

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para el tratamiento y análisis de los datos obtenidos en la presente investigación, se aplicaron técnicas estadísticas cuantitativas con el fin de evaluar el comportamiento de la variable dependiente (concentración de cianuro en ppm) frente a las variables independientes (volumen de peróxido de hidrógeno y tiempo de reacción). La finalidad fue identificar la combinación de condiciones operativas más efectivas para lograr una degradación eficiente del cianuro en los efluentes líquidos.

Los datos recolectados durante los experimentos fueron organizados en matrices de registro y luego procesados mediante el software **Statgraphics Centurion 19**, el cual permitió realizar un análisis factorial de dos niveles (2^2) para determinar el efecto principal de cada variable y su interacción. Esta técnica facilitó la evaluación estadística del impacto del volumen de peróxido de hidrógeno y del tiempo de agitación sobre la concentración final de cianuro, expresada en partes por millón (ppm).

Asimismo, se emplearon representaciones gráficas como diagramas de Pareto, gráficos de interacción y superficies de respuesta, que permitieron visualizar de forma clara y precisa las tendencias, relaciones y niveles óptimos de

operación. Estas herramientas gráficas apoyaron la interpretación de resultados y la validación de hipótesis planteadas en el estudio.

Finalmente, se utilizó también **Microsoft Excel** como soporte para la organización preliminar de los datos, generación de tablas de resultados y elaboración de gráficos complementarios. Las técnicas de análisis aplicadas garantizaron una evaluación objetiva y reproducible del tratamiento propuesto, proporcionando evidencia empírica sólida para la toma de decisiones sobre la remediación de efluentes contaminados con cianuro.

3.8. Tratamiento estadístico.

La información obtenida estará medida en función a un diseño factorial que nos permitirá evaluar estadísticamente como afecta los factores y los niveles escogidos para la investigación. Así también se utilizó el Software statgraphics 19.

3.9. Orientación ética filosófica y epistémica

Orientación Ética

Responsabilidad Ambiental: La investigación debe priorizar la protección del medio ambiente, minimizando los impactos negativos del cianuro y promoviendo un tratamiento sostenible con peróxido de hidrógeno.

Ética en la Investigación: Garantizar que los procedimientos experimentales sean transparentes, seguros y cumplan con las normativas éticas.

Salud Pública: Evaluar cómo la degradación del cianuro contribuye a la seguridad de las comunidades cercanas a la planta.

Orientación Filosófica

Utilitarismo: Buscar maximizar los beneficios (reducción del cianuro) y minimizar los daños al medio ambiente y la salud humana.

Filosofía Ambiental: Promover prácticas sostenibles que respeten el equilibrio entre actividad industrial y conservación ambiental.

Deontología: Cumplir con el deber moral de mitigar los riesgos asociados al manejo de contaminantes.

Orientación Epistémica

Metodología Científica: Diseñar un experimento riguroso que garantice datos confiables y válidos.

Interdisciplinariedad: Integrar conocimientos de química, ciencias ambientales y estadística para abordar el problema desde múltiples perspectivas.

Conocimiento Basado en Evidencia: Fundamentar las conclusiones en resultados medibles, asegurando su aplicabilidad en contextos reales.

Esta orientación te permitirá estructurar tu tesis con un enfoque sólido que aborde tanto los aspectos técnicos como las implicaciones éticas y filosóficas.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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. Descripción del trabajo de campo

La parte experimental de esta investigación se realizó en los siguientes Laboratorios: * Laboratorio Metalúrgico de la planta de beneficio de la empresa Aurex S.A.

Para este estudio se necesitó una serie de insumos e instrumental para el análisis del proceso. Entre otros tenemos:

a) Materiales:

- Efluentes líquidos de la Planta de Beneficio de la empresa Aurex S.A.
- Papel filtro. - Pipetas 5, 10 ml.
- Mangueras de caucho.
- Soportes universales.
- Cronómetro. - PH- metro.

- Modulo de agitación y mezclado.
- Balones de fondo plano de 250, 500, 1000 ml.
- Matraces de 250, 500, 1000 ml.
- Matraz con quitasato 500ml.
- Embudo Buchner.
- Probetas de 100ml.
- Bureta de 50ml.

b) Equipos:

- Balanza Analítica (0.01g).
- Bomba de Vacío. 38

c) Reactivos:

- Peróxido de Hidrogeno.
- Sulfato de Cobre.
- Nitrato de plata.
- Yoduro de potasio.

4.1.1 Planteamiento de las pruebas.

Para evaluar la capacidad de degradación del cianuro mediante el método de oxidación química con peróxido de hidrógeno en presencia de cobre, se realizaron cuatro combinaciones experimentales, variando los valores de volumen de peróxido de hidrógeno y el tiempo de mezclado. En cada una de las pruebas, se utilizó como material base los efluentes provenientes de la planta de beneficio de la empresa minera Aurex S.A., con el fin de simular condiciones representativas del proceso industrial.

Las variables en estudio fueron el Volumen de peróxido de hidrogeno en mililitros y el tiempo de agitación en horas, para los volúmenes de peróxido de

hidrogeno se eligieron 2 niveles 55 ml y 85 ml, de igual forma para el tiempo de agitación se consideran 2 niveles 4.5 h y 7.5 h. Como variable de respuesta se consideró las ppm de cianuro de sodio como medida de la degradación.

Se considera los datos estimando a partir de datos del punto descrito en el método de oxidación química con peróxido de hidrógeno en presencia de cobre donde: H_2O_2 (3.5 litros / m^3 (vertido)) y Cu^{+2} (40g/ m^3). Para veinte litros el cual será nuestro volumen a trabajar aplicando regla de tres simple obtenemos que se requerirá 70 ml de peróxido de hidrogeno (la concentración de peróxido de hidrogeno se encuentra al 60% de pureza, concentración que es proporcionada por las químicas que venden este producto) considerando un tiempo de 6 horas. Siendo así se estima un 20% hacia arriba y abajo como valores máximos y mínimos para encontrar la mejor combinación y la influencia de las variables.

Fuente: (DEGUSSA)

Tabla 6. *Parámetros y valores de las pruebas realizadas*

	Volumen de H_2O_2 (ml)	Tiempo (h)
Min	55	4.5
Medio	70	6
Máx	85	7.2

Fuente: elaboración propia.

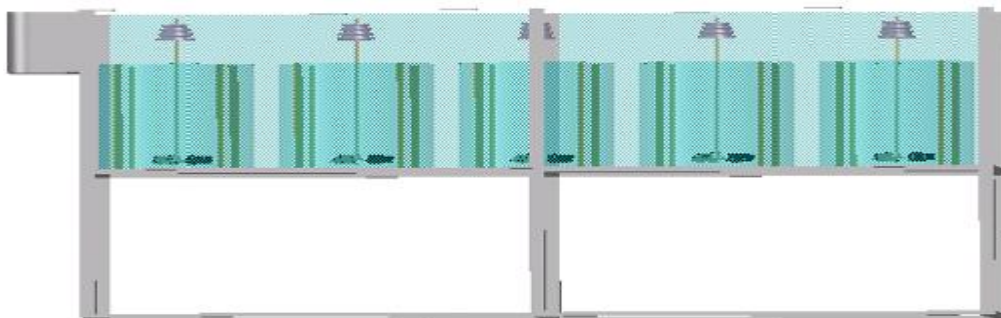
Condiciones Previas para el Ensayo

Para el tratamiento de oxidación química del cianuro se utilizó por cada experiencia un volumen de 20 litros de muestra con un contenido de cianuro de 201 ppm, dejando dicho volumen de efluente líquido en un equipo de agitación.

Figura 2. tratamiento de oxidación química del efluente liquido con cianuro.



PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PRUEBA 4
V H ₂ O ₂ = 55 ml	V H ₂ O ₂ = 55 ml	V H ₂ O ₂ = 85 ml	V H ₂ O ₂ = 85 ml
t = 4.5 h	t = 7.5 h	t = 4.5 h	t = 7.5 h
pH = 10	pH = 10	pH = 10	pH = 10
T = ambiente	T = ambiente	T = ambiente	T = ambiente
rpm = 100	rpm = 100	rpm = 100	rpm = 100
V total = 20 l	V total = 20 l	V total = 20 l	V total = 20 l
Cu = 0.8g	Cu = 0.8g	Cu = 0.8g	Cu = 0.8g



4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

Cuantificación de Cianuro Libre por Volumetría.

Como en todas las técnicas de volumetría, se recomienda realizar la titulación tres veces y sacar un promedio del resultado. En la titulación de soluciones en las que además de oro y plata existe una gran diversidad de iones, se recomienda el uso del indicador yoduro de potasio.

A continuación se muestra la tabla de resultados de cantidad de contenido de cianuros totales presentes en los efluentes líquidos de la planta de beneficio de la empresa minera Aurex S.A., el muestreo se realizó durante 20 días, siendo el volumen de cada muestra de 500 ml por triplicado. Al recoger las muestras se procede a la cuantificación de Cianuro en las soluciones muestra. Y obtenemos la siguiente tabla de consumo o gasto de nitrato de plata.

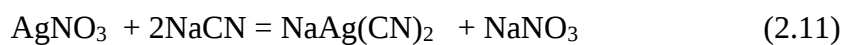
Tabla 7. Consumo de Nitrato de Plata en el análisis volumétrico para encontrar la cantidad de cianuro libre en cada muestra.

Consumo (Volumen) Nitrato de Plata			
Día	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
1	7.1	7.3	6.9
2	9.8	9.5	9.7
3	10.9	10.6	10.8
4	7	7.2	7.1
5	7.3	7.1	7.5
6	10	10.4	10.2
7	8.8	8.9	8.8
8	8	7.9	7.8
9	7.5	7.6	7.5
10	7.4	7.2	7.5
11	8.4	8	8.4
12	7.7	7.8	7.5
13	9.3	9	9.2
14	8.6	8	8.6
15	9.6	9.6	9.6
16	6.9	6.5	7
17	7.7	7.7	7.3
18	9	8.8	8.9
19	7.2	7.5	7.3
20	8.1	8.2	8.4

Fuente: Elaboración Propia.

Luego la solución estándar preparada de AgNO_3 con una concentración de 4.33g de AgNO_3 en agua destilada y a un litro. Esta reaccionará con el CN de la solución según la reacción. (Se termina la titulación en el momento que haya

cambiado la coloración de la muestra a un color amarillo lechoso, debido a la reacción del AgNO_3 con el IK que es el indicador).



Quiere decir que:

169.9 AgNO_3 satura a 98 g de NaCN ó 4.33 g. de AgNO_3 saturan 2.5g de NaCN y cada cc. De solución de plata (0.00433g AgNO_3) satura a 0.0025g de NaCN. Por lo tanto si tomamos 25cc de solución de cianuro para titular, cada cc. De solución de AgNO_3 saturara 0.025g de NaCN. Al titular soluciones fuertes de CN^- es preferible proceder sobre menor volumen de muestra, a 0cc y usándose la misma solución de Ag bastaría con multiplicar por 2.5 la lectura de la bureta para hallar la fuerza de la solución.

Entonces tendremos para una muestra de 25 ml el gasto en nitrato de plata fue de 7.1 ml

1 ml AgNO_3 --- 0.00433g de AgNO_3

7.1 ml AgNO_3 --- X = 0.307g de AgNO_3

Calculamos luego la cantidad de CN que habría reaccionado.

Si:

0.00433g de AgNO_3 --- 0.0025g de NaCN

0.307g de AgNO_3 --- X = 0.1776g de NaCN

Entonces existe 0.178g de CN en cada mililitro titulado, convirtiendo en ppm $0.178/1000 = 178 \text{ mg/l}$ y en ppm 178

Tabla 8. *Contenido de Cianuros Totales*

Día	Contenido de Cianuro Totales (ppm)			Promedio
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
1	178	175	176	177
2	245	246	244	245
3	272	272	271	271.6
4	177	179	178	178
5	183	180	181	181.3
6	251	250	251	250.7
7	220	222	221	221
8	200	199	197	198.7
9	188	190	187	188.3
10	184	184	184	184
11	211	212	210	211
12	193	195	191	193
13	232	230	230	230.7
14	215	218	215	216
15	241	246	240	243
16	173	174	175	174
17	192	193	190	191.7
18	225	224	224	224.3
19	181	182	183	182
20	202	205	206	204.3
Promedio total (ppm)				208.2

Fuente: Elaboración Propia.

Resultados de las Pruebas

El modelo estadístico aplicado corresponde a un Análisis de Varianza 2 variables y 2 niveles, con el cual se probaron los efectos y las interacciones entre los factores evaluados (Volumen de peróxido y tiempo de agitación) con relación a la variable respuesta (ppm de NaCN degradados).

Resumiendo en la tabla se muestra los factores y niveles que se experimentaron:

Tabla 9. Factores y Niveles a Experimentar

Factor	Nivel(-)	Nivel(+)
Volumen de peróxido de Hidrogeno	55 ml	85 ml
Tiempo de agitación	4.5 horas	7.5 horas

Fuente: elaboración propia.

El diseño factorial tendrá $N=2^2=4$ experimentos, entonces para tener resultados confiables se hicieron los experimentos por duplicado, y sus respectivos análisis por volumetría para encontrar la concentración de cianuro libre, es así que la matriz de diseño queda de la siguiente manera:

Tabla 10. Resultados Experimentales

Volumen de peróxido (ml)	Tiempo (h)	CN- final (ppm)
55	4.5	4.5
55	4.5	4.3
55	7.5	1.9
55	7.5	1.7
85	4.5	1.1
85	4.5	1.0
85	7.5	0.2
85	7.5	0.3

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente tabla se expresa los resultados obtenidos aplicando el diseño de experimento.

Tabla 11. Matriz de valores codificados y reales de variables

Prueba n°	Valores codificados		Valores reales		Concentración de CN final ppm	
	(X1)	(X2)	Z1 (Vol. per.) (ml)	Z2(Tiempo) (h)	Experiencia 1	Experiencia 2
1	-1	-1	55	4.5	4.5	4.3
2	-1	+1	55	7.5	1.9	1.7
3	+1	-1	85	4.5	1.1	1
4	+1	+1	85	7.5	0.21	0.3

Fuente: Elaboración propia.

Podemos observar que la interacción que tiene mejor resultado con respecto a la degradación de cianuro es en el caso de mayor volumen de peróxido de hidrogeno con un tiempo más prolongado, llevando la concentración de cianuro en los relaves por debajo de 1 ppm que establece el Decreto Supremo N° 010 – 2010 MINAM, sobre los efluentes con contenido de cianuro que puede emitir una planta de beneficio de minerales.

En la siguiente tabla 4.4 mostraremos la interacción con mayor degradación de cianuro en los relaves que produce la planta procesadora.

Tabla 12. *Combinación con mayor efectividad de degradación de cianuro*

Prueba n°	Valores codificados		Valores reales		Concentración de CN final ppm	
	(X1)	(X2)	Z1 (Vol. per.) (ml)	Z2(Tiempo) (h)	Experiencia 1	Experiencia 2
4	+1	+1	85	7.5	0.21	0.3

Fuente: elaboración propia.

4.3. Prueba de hipótesis

Para verificar la validez de las hipótesis planteadas, se aplicó una prueba estadística basada en el análisis factorial de dos niveles (2^2), correspondiente a un diseño experimental que considera dos variables independientes: el volumen de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y el tiempo de reacción, y una variable dependiente: la concentración de cianuro (CN^-) en los efluentes líquidos, medida en partes por millón (ppm).

Hipótesis General

Hipótesis nula (H_0):

La aplicación de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) no produce una disminución significativa en la concentración de cianuro (CN^-) en los efluentes líquidos de la planta de beneficio de Aurex S.A.

Hipótesis alternativa (H_1):

La aplicación de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) produce una disminución significativa en la concentración de cianuro (CN^-) en los efluentes líquidos de la planta de beneficio de Aurex S.A.

Hipótesis Específicas

Volumen de H_2O_2

- H_0 : El volumen de H_2O_2 no influye significativamente en la reducción de la concentración de cianuro.
- H_1 : El volumen de H_2O_2 sí influye significativamente en la reducción de la concentración de cianuro.

Tiempo de reacción

- H_0 : El tiempo de reacción no influye significativamente en la reducción de la concentración de cianuro.
- H_1 : El tiempo de reacción sí influye significativamente en la reducción de la concentración de cianuro.

Interacción entre volumen y tiempo

- H_0 : No existe interacción significativa entre el volumen de H_2O_2 y el tiempo de reacción sobre la concentración de cianuro.
- H_1 : Existe una interacción significativa entre el volumen de H_2O_2 y el tiempo de reacción sobre la concentración de cianuro.

Nivel de significancia y estadístico utilizado

Nivel de significancia (α): 0.05

Estadístico utilizado: análisis de varianza (ANOVA factorial), con pruebas F para evaluar los efectos principales y la interacción.

Criterio de decisión:

- Si $p \leq 0.05$, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.
- Si $p > 0.05$, se acepta la hipótesis nula.

Resultados esperados

Con base en los datos experimentales obtenidos, se espera evidenciar que tanto el volumen de peróxido como el tiempo de reacción tienen un efecto significativo en la degradación del cianuro, permitiendo reducir su concentración por debajo del límite permitido (<1 ppm), validando así las hipótesis alternativas.

Justificación de la Hipótesis

El cianuro es uno de los contaminantes más tóxicos presentes en los efluentes de las operaciones mineras, y su eliminación efectiva es crucial para reducir el impacto ambiental. El peróxido de hidrógeno es un agente oxidante conocido por su capacidad para descomponer cianuro en compuestos menos peligrosos, lo que lo convierte en un candidato potencial para su tratamiento en la planta de beneficio de Aurex S.A.

La hipótesis planteada, que sugiere que tanto el volumen de peróxido de hidrógeno como el tiempo de reacción influyen significativamente en la degradación del cianuro (CN^-), está firmemente respaldada por los resultados obtenidos. Los análisis demostraron que, al aumentar el volumen de peróxido y el tiempo de reacción, se logró una reducción notable en la concentración de cianuro, alcanzando niveles por debajo de 1 ppm, lo que cumple con los límites establecidos por la legislación ambiental.

Los datos muestran que, en condiciones subóptimas (55 ml de peróxido y 4.5 horas), la reducción fue limitada, con concentraciones de 4.3 a 4.5 ppm. En contraste, un aumento en el volumen (85 ml) y el tiempo de reacción (7.5 horas)

resultó en concentraciones significativamente más bajas (0.21-0.3 ppm), lo que evidencia la importancia de optimizar ambas variables simultáneamente para maximizar la eficiencia del tratamiento.

Además, la interacción significativa entre el volumen de peróxido y el tiempo de agitación sugiere que el efecto combinado de ambos factores es más relevante que la suma de sus impactos individuales. Esto refuerza la necesidad de considerar estos parámetros en conjunto para un tratamiento eficaz.

El diseño experimental empleado permitió una evaluación sistemática de estas variables, proporcionando una base sólida para futuras investigaciones que podrían seguir optimizando los procesos de remediación. Estos hallazgos no solo validan la hipótesis original, sino que también establecen un enfoque práctico y sostenible para el tratamiento de aguas contaminadas con cianuro, lo cual es crucial para la industria minera y la protección del medio ambiente.

4.4. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos del experimento que se presentan, en estas se evidencia la degradación del cianuro frente a la acción del peróxido de hidrogeno y usando a su vez Sulfato de cobre como catalizador de la reacción, además aplicaremos Análisis de Varianza ANOVA donde se muestran los efectos de cada factor de manera independiente y las interacciones entre ellos sobre la variable independiente (ppm de cianuro degradado). Finalmente se incluye la tabla correspondiente al diseño experimental donde se muestran las ppm de cianuro degradado en cada condición establecida para el diseño.

4.4.1. Análisis de varianza

El análisis de diseño de experimentos estudia el efecto de dos o más factores en una variable respuesta continua. El programa Statgraphics con

multifactor ANOVA nos permiten realizar el análisis de los datos de un experimento con dos o más factores. Los datos han de estar en columnas. En una de ellas estarán los valores de la variable respuesta y en las otras los valores numéricos que representan a los distintos niveles de los factores. El valor que se elija para representar los niveles de los factores es irrelevante. Basta con que sean distintos.

A continuación, emplearemos uso del software Statgraphics, que nos permite calcular con efectividad el Análisis de Varianza ANOVA, de un diseño de experimentos, como se muestra en las gráficas (4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 y 4.7)

Se crea la tabla de interacciones según el diseño de experimentos y colocamos los resultados obtenidos de la cantidad de cianuro obtenido por el método volumétrico. En la primera y segunda columna introducimos los valores de las variables independientes que son el volumen de peróxido (ml) en sus dos niveles; 55 ml y 85 ml y el tiempo (h) 4.5 h y 7.5 h. Finalmente en la tercera columna se colocan los datos obtenidos de la experimentación que corresponde a la cantidad de Cianuro final en ppm.

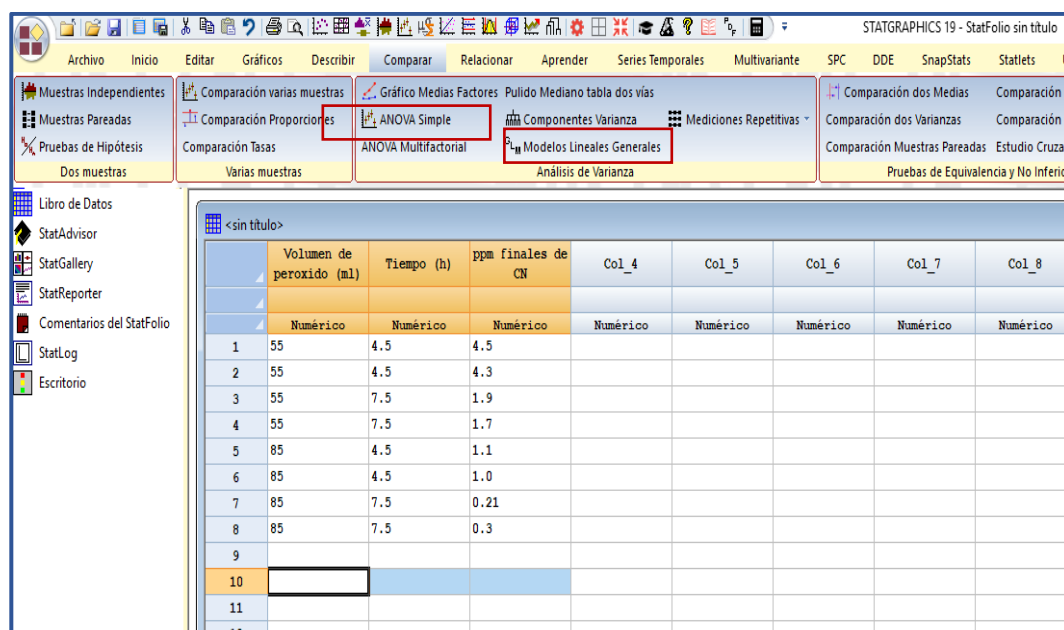
Gráfico 1. Se realiza la inserción de datos en la hoja Statgraphic.

	Volúmen de peróxido (ml)	Tiempo (h)	ppm finales de CN	Col_4	Col_5	Col_6	Col_7	Col_8	Col_9	Col_10	Col_11
1	55	4.5	4.5								
2	55	4.5	4.5								
3	55	7.5	1.9								
4	55	7.5	1.7								
5	85	4.5	1.1								
6	85	4.5	1.0								
7	85	7.5	0.21								
8	85	7.5	0.3								
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											

Seguidamente, en la barra de herramientas del software encontramos la función comparar, en el que desglosamos y escogemos Analisis De Varianza, en

esta seleccionaremos Analisis Multifactorial ya que estamos con dos factores a analizar.

Gráfico 2. Análisis de varianza



En la ventana abierta se colocaron nuestros factores que vienen ser el volumen de peróxido utilizado y el tiempo de mezclado, como variable dependiente colocamos la concentración de cianuro final ya que esta depende de los factores mencionados.

Gráfico 3. Selección de factores y variable dependiente.

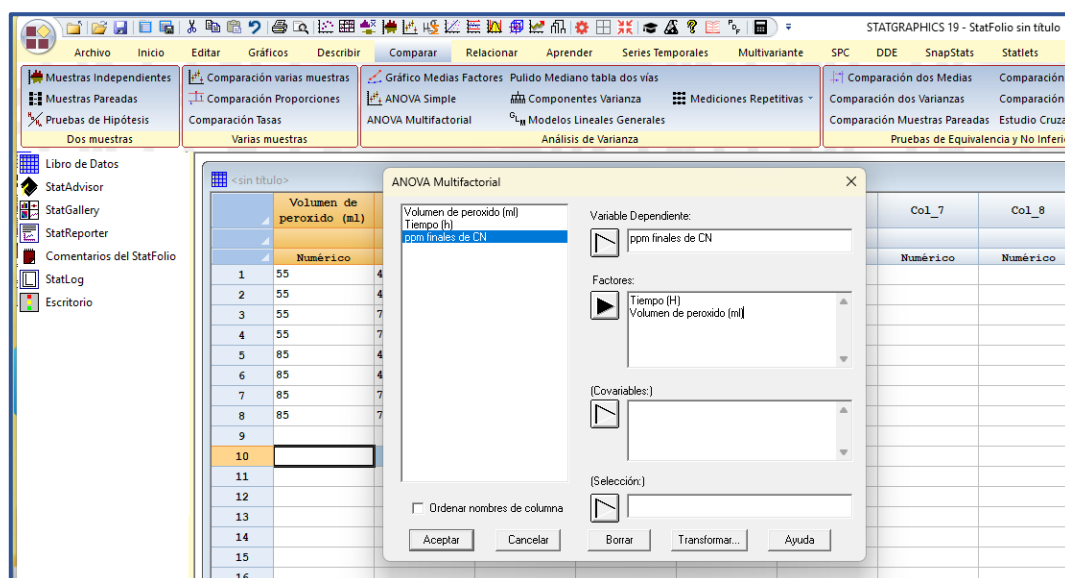
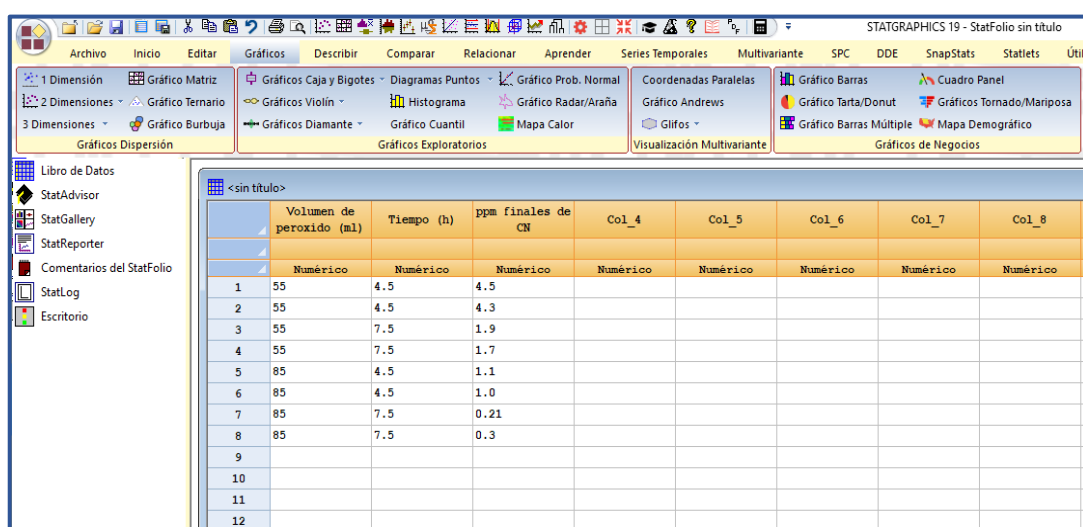
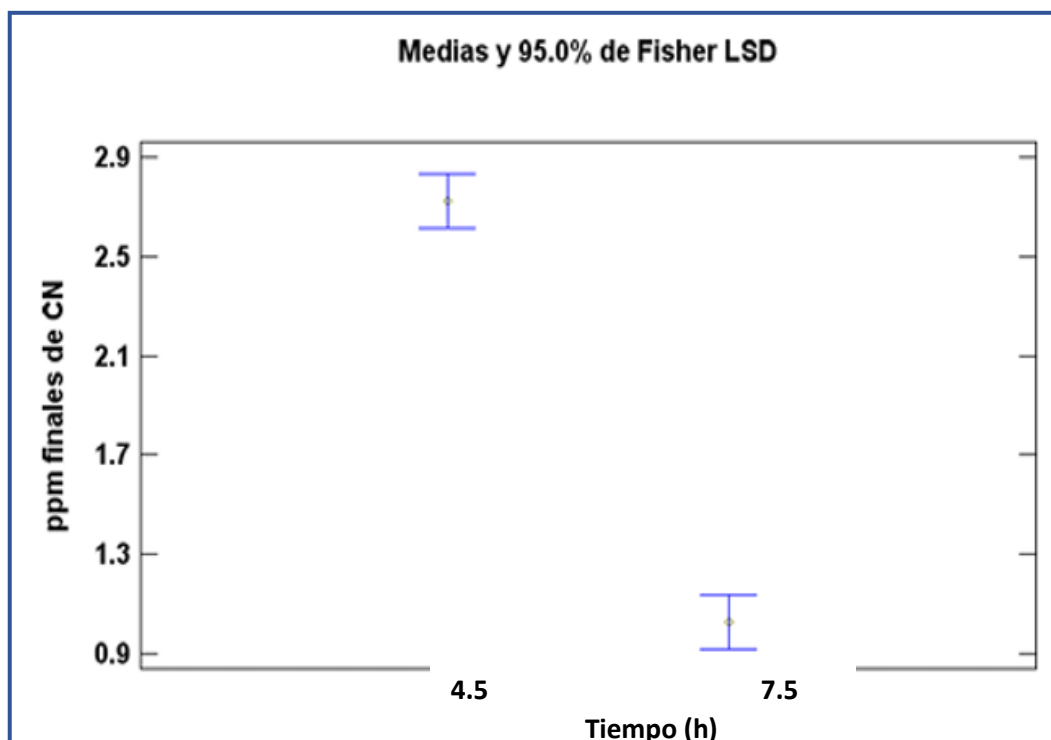


Gráfico 4. Selección de tablas y graficas resultado.



En el siguiente grafico se puede observar el efecto del factor Tiempo (h) en la cantidad de Cianuro final (ppm), a mayor tiempo menor es la cantidad de cianuro final, como se ve a las 7.5 horas se obtiene la menor cantidad de cianuro (ppm).

Gráfico 5. Grafica de medias y 95% de Fisher LSD.



Esta grafica 4.6. nos muestra que ambos factores tiempo (h) y Volumen de peróxido (ml) interaccionan entre sí, es decir que la cantidad total de cianuro (ppm) final , depende tanto del tiempo (h) de exposición como de la cantidad de volumen de peróxido (ml) y que al interaccionar ambas potencian aún más la capacidad de reducir la cantidad de Cianuro.

Gráfico 6. Grafica de Interacciones.

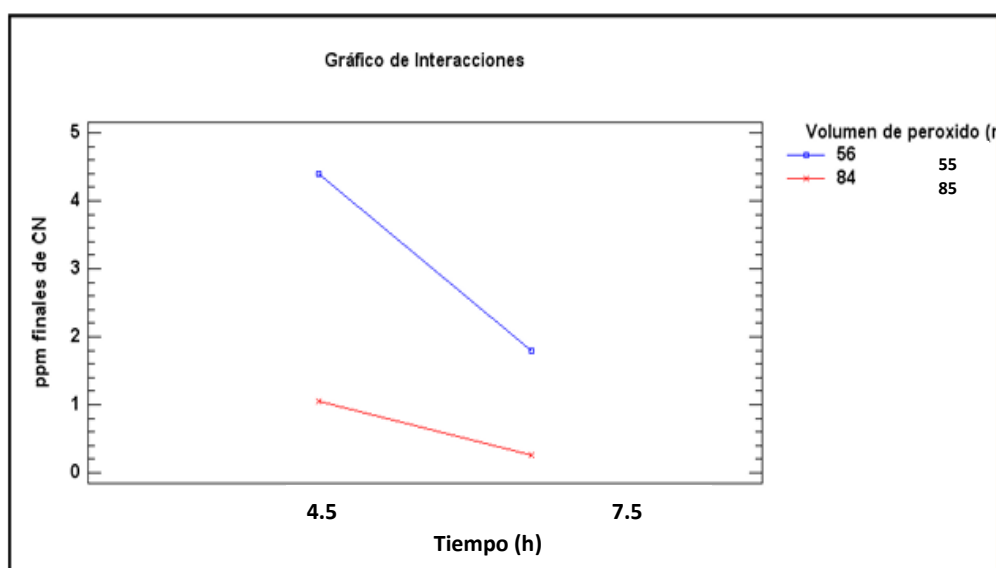


Tabla 13. Análisis de Varianza para ppm finales de CN - Suma de Cuadrados

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
VARIABLES					
A:Tiempo (h)	5.76301	1	5.76301	469.97	0.0000
B:Volumen de peróxido de hidrogeno (ml)	11.9805	1	11.9805	977	0.0000
INTERACCIONES					
AB	1.62901	1	1.62901	132.85	0.0003
TOTAL (CORREGIDO)	19.4216	7			

Según el Análisis Factorial ANOVA se obtiene que el factor tiempo estadísticamente significativo ($p < 0.05$), el factor Volumen de Peróxido también es estadísticamente significativo ($p < 0.05$).

También se encontró que la interacción entre las dos variables Tiempo y Volumen de peróxido son estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos de los análisis realizados para evaluar la degradación del cianuro (CN^-) mediante la oxidación química con peróxido de hidrógeno indican que tanto el volumen de peróxido como el tiempo de reacción tienen un impacto significativo en la reducción de la concentración de cianuro.

Se observa que con un volumen de **55 ml de peróxido** y un tiempo de **4.5 horas**, las concentraciones finales de cianuro fueron relativamente altas, entre **4.3 y 4.5 ppm**, lo que sugiere una menor eficiencia de degradación bajo estas condiciones. Al aumentar el **tiempo de reacción a 7.5 horas** con el mismo volumen de peróxido, la concentración de cianuro disminuyó considerablemente a **1.7-1.9 ppm**, lo que indica que el tiempo de reacción adicional tiene un efecto positivo, aunque limitado, en la reducción del cianuro.

Por otro lado, cuando se aumentó el volumen de peróxido a **85 ml**, se observó una disminución más pronunciada en la concentración de cianuro. A **4.5 horas de reacción**, los niveles de CN^- fueron significativamente más bajos (**1.0-1.1 ppm**). Sin embargo, fue al aumentar tanto el volumen de peróxido a **85 ml** como el tiempo de reacción a **7.5 horas**, que se logró la **concentración más baja de cianuro (0.21-0.3 ppm)**, demostrando que ambos factores contribuyen de manera significativa a la eficiencia del proceso de degradación.

En resumen, estos resultados sugieren que el aumento tanto del volumen de peróxido de hidrógeno como del tiempo de reacción favorece la **reducción de la concentración de cianuro**, siendo más efectivo el uso de **85 ml de peróxido** y un **tiempo de reacción de 7.5 horas**. Estos hallazgos podrían ser útiles para optimizar las condiciones de tratamiento en procesos de remediación de aguas contaminadas con cianuro.

El tratamiento en los efluentes líquidos de la Planta de Beneficio de la empresa minera Aurex S.A. utilizando el proceso con Peróxido de hidrógeno (H_2O_2), es factible ya que se encuentran los valores del efluente final por debajo de 1 ppm de cianuro, establecido en los límites permisibles de la legislación ambiental e internacional. Aplicando el método de oxidación química con peróxido de hidrógeno en los efluentes con contenido de cianuro en Planta, se podría reusar el agua tratada para diferentes servicios: recirculación en el proceso de lixiviación, regadía en sus instalaciones.

En el desarrollo del diseño experimental de dos niveles con dos factores, se establecieron las variables de investigación como el **volumen de peróxido de hidrógeno** y el **tiempo de agitación** en el tanque, con el propósito de evaluar su efecto sobre la degradación del cianuro (CN^-) en el proceso de remediación. Siguiendo el diseño experimental $2^n = 2^2$, se realizaron pruebas con las combinaciones de los niveles de los dos factores: 55 ml y 85 ml de peróxido, y 4.5 horas y 7.5 horas de tiempo de agitación.

Los resultados obtenidos muestran la influencia directa de las variables estudiadas en la concentración final de cianuro. Aunque no se proporcionan valores específicos de CN^- en ppm en este resumen, se puede concluir que el diseño experimental permitió evaluar de manera sistemática cómo el **volumen de peróxido** y el **tiempo de agitación** afectan la efectividad de la degradación del cianuro, lo cual es crucial para optimizar los parámetros operativos en procesos industriales y de remediación ambiental.

En particular, es posible que el **volumen de peróxido** tenga un mayor impacto en la reducción de cianuro, ya que un mayor volumen de reactivo podría incrementar la capacidad de oxidación del cianuro. Asimismo, el **tiempo de agitación** influye en la eficiencia del proceso, permitiendo una mayor interacción entre el peróxido de hidrógeno y los compuestos contaminantes.

Este diseño experimental no solo proporciona una base para entender las relaciones entre los factores en el proceso de degradación de cianuro, sino que también establece un marco para futuras investigaciones que podrían explorar la optimización de estos parámetros a fin de maximizar la eficiencia del tratamiento, asegurando así un enfoque más sostenible y eficaz en la remediación de aguas y suelos contaminados con cianuro.

RECOMENDACIONES

Establecer nuevos rangos operativos para las variables clave: Dado que se ha identificado una relación significativa entre el **volumen de peróxido** y el **tiempo de agitación**, se recomienda revisar y ajustar los **límites operativos** de estas variables en función de los resultados obtenidos. Esto permitirá optimizar el proceso de **degradación de cianuro**, logrando una mayor eficiencia en la remediación y reduciendo costos operativos.

Ampliar la investigación a diferentes tipos de material procesado: Es importante profundizar en la investigación del **consumo de peróxido** en relación con los **tipos de materiales** que maneja la mina. Las características del mineral pueden influir en la **demanda de reactivo**, por lo que se recomienda estudiar cómo diferentes composiciones del material impactan la eficiencia del tratamiento, para así personalizar el proceso de acuerdo a las características del relave.

Aumentar el volumen de muestra en las pruebas : Para obtener resultados más representativos del proceso a escala real, se sugiere incrementar el **volumen de muestra** en las pruebas de banco más allá de los **20 litros** utilizados. Volúmenes mayores permitirán simular de forma más precisa las condiciones operativas de la planta y garantizar que los resultados sean aplicables a procesos industriales a mayor escala.

Optimizar el equipo experimental y los sistemas de control de variables: Se recomienda considerar la **adquisición o mejora** de equipos de **experimentación más avanzados** que cuenten con **sistemas de control automático de variables** más precisos. Esto permitirá un monitoreo más exacto de los factores involucrados en el proceso y facilitará la investigación de **otros parámetros críticos** que podrían afectar la eficacia del tratamiento, como la temperatura, pH y concentración de otros reactivos.

Ampliar el estudio a otras empresas mineras: Se sugiere extender este estudio a **otras empresas mineras**, ya que los **efluentes** de diferentes minas pueden presentar **variaciones significativas** en cuanto a las características químicas de los relaves. Un análisis comparativo entre distintas operaciones podría proporcionar información valiosa para desarrollar un tratamiento de **cianuro** más adaptable a diversas condiciones, mejorando la implementación del proceso en un rango más amplio de contextos mineros.

Evaluar la viabilidad económica del tratamiento a gran escala: Aunque los **costos operativos** asociados a la implementación del tratamiento son bajos debido a que los reactivos son **económicos a nivel industrial**, se recomienda realizar un análisis económico más detallado para evaluar los **costos a gran escala**, así como el **impacto en la reducción de emisiones y toxicidad**.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CONN, K. 1981. Cyanide Analysis in Mine Effluents. Presentado en Seminario: Cyanide and Gold Mining Industry. Ottawa. OntarioEne 22- 23, 1981.
- CANO, A. 2009. Conferencia Magistral: Planta de Tratamiento de Efluentes en Antamina. Aniversario de FIMM. Hyo.
- CASTRANTAS, H – MICK, E.C. 1988. Cyanide Detoxification of a gold Mining Tailing Pond with Hydrogen Peroxide. Randol Gold Forum.
- CASTRO, S.H. et al. 1977. Tecnología Limpia para la Industria Minero Metalúrgica. Primer Simposium Nacional de Medio Ambiente y Seguridad Minera. CIP 9-12 junio 1998. Lima – Perú.
- CÁRDENAS, F-ESPINOZA, H. 1997. Control Ambiental de las soluciones Cianuradas e Inhibición de Complejos Metálicos del Proceso de Lixiviación, Yacimiento Aurífero Nueva California XXIII Convención de Ingenieros de Minas del Perú 22-26 set. 1997.
- CHAMBERLIN, P. 1986. Agglomeration; Cheap Insurance for Good Recovery when Leaching when Heap Leaching Gold and silver Ores. Mining Engineering December 1986.
- CHATWIN, T. 1989. Cyanide Attenuation/Degradation in Soil. Resource Recovery & Conservation Company Utah.
- DEVUYS, E et al. 1982. Pilot Plant Operation of the INCO SO₂/AIRE Cyanide Removal Process. Canadian Mining Journal, August. 1982.
- GRANE, J. 1982. Removal of Dissolved Fraction from Filter Cakes. Presented al Alkaline Chlorination Seminalffor Gold Mill Operators. Vancouver. B.C. Mayo 1982.
- HABASHI, F. 1967. Kinetics and Mecanism of Gold and Silver Dissolution in Cyanide

- Solution. Butte; Montana Bureau of Mines and Geology, Boletín 59.
- HEDLEY, N. – TABACHINCK, H. 1968. Chemistry of cyanidation.
Wayne N.J.: American Cyanamid Company.
- HEINEN, H. et al. 1978. Processing Gold Ores Using Heap Leach – Carbon Adsorption
Methods. Washington: Ministerio del Interior; Bureau de Mine. I.C.
- HIGGIS, T.W. 1992. Technical Guide for the Environmental Management of Cyanide in
Mining. ASL Laboratories Ltd. and Germely Process Engineering.
- HUIATT, J. L. et al. 1983. Cyanide from Mineral Processing.
Proceeding of Workshop, Salt Lake City, UT, The National Science Foundation,
Washington.
- HELMER, R. – HESPAÑOL, J. 1999. Control de la contaminación del agua. CEPIS.
España.
- KNORRE, K – GRIFFITHS, A. 1984. Cyanide Detoxification with Hydrogen Peroxide
Using the Degussa Process. Presentado en la conferencia sobre cianuro y Medio
Ambiente. Tucson. Arizona.
- LEWIS, A. 1984. New Inco Teach Process Attacks Toxic Cyanide.
Engineering and Mining Journal, July 1984.
- MARSDEN, J-HOUSE, I. 1993. The chemistry of Gold Extraction. Ed.
Ellis Horwood.
- MEEHAN, S. 2001. The Fate of Cyanide in Groundwater at gasworks sites in south-
eastern Australia. Tesis Doctoral. School of Earth Sciences, University of
Melbourne. Inédita.
- MUDDER, T. 1999. Making Sense of Cyanide. En: The Cyanide Monograph, Mining
Journal Books Limited, London.
- MISARI, CH. F. 1993. Metalurgia del Oro. Lima Perú.

- MISARI, CH. F. 2010. Metalurgia del Oro. San Marcos EIRL. Lima Perú.
- MIGUEL, H. 2003. Agenda 21. Compilación para la EPG-UNCP, Huancayo-Perú.
- MCCLELLAND, O-DEEVRIES. F. 1981. Destruction of Cyanide Gold and Silver Mine Process Water. Gold and Silver Leaching, Recovery and Economics. Feb. 1981.
- MEM. Sin fecha. Guía Ambiental para el manejo de cianuro. Volumen XIII. Lima – Perú.
- MINAM. 2010. Decreto supremo N° 010-2010. Minam. El Peruano. Agosto 2010.
- NTP. 2000. Sistema de Gestión Ambiental Norma Técnica Peruana NTP – ISO 14001.
- SMITH, A. MUDDER, T.I. 1991. The Chemistry and Treatment of Cyanidation Wastes. Mining Journal Books Ltd. London.
- SMITH, A. 1994. The Geochemistry of Cyanide in Mill Tailings. En: Environmental geochemistry of sulphide mine wastes. Mineralogical Association of Canadá, Ontario.
- SCHMIDT. J.W. 1981. Development Studies for Suitable Technologies for the Removal of cyanide and Heavy Metals from Gold Milling Effluents. Conferencia sobre Residuos Industriales. Purdue University, Lafoyetete, Indiana, EE.UU.
- SMITH, A. 1994. The Geochemistry of Cyanide in Mill Tailings. En: Environmental geochemistry of sulphide mine wastes. Mineralogical Association of Canadá, Ontario.
- SCWALB, M – MALCA, O. 2004. Responsabilidad Social: Fundamentos para la Competitividad Empresarial y Desarrollo Sostenible. Universidad del Pacifico. Lima-Perú
- SCOTT, J.S. 1989. An Overview of Gold Mill Effluent Treatment. Seminario: Gold Mill Effluent Treatment Proccedings, feb 15-16 1989. Vancouver B.C. and Mar 22-23, 1989. Mississauga, Ontario.

- SCOTT, J. – INGLES, J. 1981. Overview of Cyanide Treatment Methods. Presentado en Seminario Cyanide in gold Mining. Ene 1981. Ottawa.
- SANCHO, J. et al. 2000. Metalurgia Extractiva. Volumen II. Procesos de Obtención. Ed. Sítesis.
- VARGAS, G.J. 1990. Metalurgia del Oro y la Plata. 2da. Edic. Perú.
- VENTER, D. et al. 2004. Using Mineralogy to optimize Gold Recovery by Direct Cyanidation. Jurnal of the minerals, metals of materials society. Vol. 56. N° 8.
- VICKELL. G.A. et al. 1989. Hydrogen Peroxide Treatment of Gold Mill Wastes. Seminario Procedimientos de Tratamiento de Efluentes de Molinos de Oro. 15-16 de feb. 1989. Vancouver B.C. y Mar. 22-23. 1989. Mississauga. Ontario.
- WEATHINGTON, B.C. 1988. Project Summary Destruction of Cyanide in Waste Waters: Review and Evaluation. US EPA Report N° EPA/600/2-88/031, Water engineering.
- YOUNG, C. - JORDAN, T. 1995. Cyanide remediation: current and past technologies. 10th Annual Conference on Hazards Waste Research. Vol.44. pp. 104 -129.

ANEXOS

-

Instrumento de Recolección de Datos: Ficha Técnica de Observación

Datos Generales

Nombre del investigador: _____

Lugar: Planta de Beneficio – Empresa Aurex S.A.

Fecha: _____

Hora de inicio: _____ Hora de término: _____

Datos Generales de la Muestra

Ítem	Descripción
Código de muestra	
Fecha de recolección	
Lugar de toma de muestra	
Descripción del efluente	

Datos del Tratamiento

Variable	Nivel aplicado / Observación
Volumen de H_2O_2 (ml)	
Tiempo de reacción (horas)	
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	
pH inicial	
pH final	
Agitación (rpm)	
Uso de catalizador (CuSO_4)	

Medición de Resultados

Momento de medición	Concentración de CN^- (ppm)
Antes del tratamiento	
Después del tratamiento	

Observaciones Adicionales

Firma del responsable de la toma de datos:

Nombre: _____

Firma: _____

Procedimiento de validación y confiabilidad

Validación de instrumento de investigación por expertos

I. Aspectos informativos

- Apellidos y nombres del experto: Callupe Cueva, Paulo Cesar
- Institución donde labora: Universidad Nacional Autonoma Altoandina de Tarma
- Grado académico: Doctor

II. Aspectos de validación

Título de la tesis:

Indicadores	Criterios	Bajo (0.5)	Regular (0.8)	Buena (1.3)	Muy Buena (2)
Claridad	Tiene un lenguaje claro y que es entendible				2
Objetividad	Las conductas se observan				2
Actualidad	Actualizado acorde con el desarrollo científico				2
Organización	Tiene una organización sistemática				2
Suficiencia	Comprende los aspectos de cantidad y calidad				2
Intencionalidad	Valora los aspectos de estudio				2
Consistencia	Basado en aspectos teóricos - científicos				2
Coherencia	Entre los índices y las dimensiones				2
Metodología	Cumple con lo exigido				2
Conveniencia	Genera nuevos aspectos en la teoría				2
Total					20

Decisión del experto: Aprobado

Cerro de Pasco, 18 de Junio del 2025



Firma del experto
DNI: 42137798
Celular: 988135526

Validación de instrumento de investigación por expertos

I. Aspectos informativos

- Apellidos y nombres del experto: Flores Vilcapoma, Luis Ricardo
- Institución donde labora: Universidad Nacional Intercultural de la Selva
Central Juan Santos Atahualpa
- Grado académico: Doctor

II. Aspectos de validación

Título de la tesis:

Indicadores	Criterios	Bajo (0.5)	Regular (0.8)	Buena (1.3)	Muy Buena (2)
Claridad	Tiene un lenguaje claro y que es entendible				2
Objetividad	Las conductas se observan				2
Actualidad	Actualizado acorde con el desarrollo científico				2
Organización	Tiene una organización sistemática				2
Suficiencia	Comprende los aspectos de cantidad y calidad				2
Intencionalidad	Valora los aspectos de estudio				2
Consistencia	Basado en aspectos teóricos – científicos				2
Coherencia	Entre los índices y las dimensiones				2
Metodología	Cumple con lo exigido				2
Conveniencia	Genera nuevos aspectos en la teoría				2
Total					20

Decisión del experto: Aprobado

Mazamari, 19 de Junio de 2025

Firma del experto
DNI: 41581008
Celular: 964604656

Validación de instrumento de investigación por expertos

I. Aspectos informativos

- Apellidos y nombres del experto: Claudio Pérez José Luis
- Institución donde labora: Universidad Nacional Intercultural de la selva
Central Juan Santos Atahualpa
- Grado académico: Magister

II. Aspectos de validación

Título de la tesis:

Indicadores	Criterios	Bajo (0.5)	Regular (0.8)	Buena (1.3)	Muy Buena (2)
Claridad	Tiene un lenguaje claro y que es entendible				2
Objetividad	Las conductas se observan				2
Actualidad	Actualizado acorde con el desarrollo científico				2
Organización	Tiene una organización sistemática				2
Suficiencia	Comprende los aspectos de cantidad y calidad				2
Intencionalidad	Valora los aspectos de estudio				2
Consistencia	Basado en aspectos teóricos - científicos				2
Coherencia	Entre los índices y las dimensiones				2
Metodología	Cumple con lo exigido				2
Conveniencia	Genera nuevos aspectos en la teoría				2
Total					20

Decisión del experto: Aprobado

Satipo, 18 de Junio del 2025



Firma del experto
DNI: 42137798
Celular: 988135526

Matriz de Consistencia

DEGRADACION DEL CIANURO CON PEROXIDO DE HIDROGENO EN LA PLANTA DE BENEFICIO DE LA EMPRESA AUREX S.A.

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Metodología
Problema general ¿Cómo afecta la aplicación de peróxido de hidrógeno en la degradación del cianuro (CN^-) presente en los efluentes líquidos generados por la planta de beneficio de la empresa Aurex S.A.? Problema específico 1 ¿Cuál es el efecto del volumen de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) en la reducción de la concentración de cianuro en los efluentes líquidos? Problema específico 2 ¿Cómo influye el tiempo de reacción en la eficiencia de degradación del cianuro mediante el uso de H_2O_2? Problema específico 3 ¿Qué condiciones operativas (pH, temperatura, agitación) son necesarias para maximizar la eficacia del tratamiento con peróxido de hidrógeno en la remediación de aguas contaminadas?	Objetivo general Evaluar la eficacia de la oxidación química del cianuro (CN^-) en efluentes líquidos mediante la aplicación de peróxido de hidrógeno (H_2O_2), estableciendo las condiciones óptimas de tratamiento para reducir su concentración a niveles inferiores a 1 ppm en la planta de beneficio de Aurex S.A. Objetivo específico 1 Determinar el impacto del volumen de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) en la concentración de cianuro en los efluentes líquidos. Objetivo específico 2 Evaluar cómo el tiempo de reacción afecta la eficiencia de degradación del cianuro. Objetivo específico 3 Identificar las condiciones operativas óptimas para el tratamiento de efluentes contaminados con cianuro utilizando H_2O_2.	Hipótesis general La aplicación de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) de manera controlada resulta en una disminución significativa de la concentración de cianuro (CN^-) en los efluentes líquidos de la planta de beneficio de Aurex S.A. Hipótesis específica 1 A mayor volumen de H_2O_2, menor será la concentración final de cianuro en los efluentes líquidos. Hipótesis específica 2 Un aumento en el tiempo de reacción se correlacionará con una mayor reducción en la concentración de cianuro. Hipótesis específica 3 Las condiciones operativas, como un pH adecuado y temperatura controlada, mejorarán la eficacia de la degradación del cianuro mediante H_2O_2.	Variable independiente Volumen de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) Tiempo de reacción Variable dependiente Concentración de cianuro (CN^-) en efluentes líquidos	Paradigma, Positivista Enfoque, Cuantitativo Tipo, Aplicada Nivel, Experimental Población, Relave de la Planta Beneficio de la Empresa Aurex. SAC. Muestra, 100 litros (10 litros cada 12 horas durante 5 días) de cianuro de la planta de beneficio de la empresa Aurex. SAC. Prueba estadística Descriptiva, Inferencial