Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica

Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica

Evaluación del tratamiento con ozono a nivel laboratorio en la oxidación del cianuro en efluentes auríferos de Chasquitambo 2024

Tesis

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico

Autores

Gustavo Adolfo Gutierrez Moreno

Diego Martin Huaman Izquierdo



Asesor

Dr. Máximo Cisneros Tejeira

Huacho – Perú

2026



Reconocimiento - No Comercial – Sin Derivadas - Sin restricciones adicionales
https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/
Reconocimiento: Debe otorgar el crédito correspondiente, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de ninguna manera que sugiera que el licenciante lo respalda a usted o su uso. **No Comercial:** No puede utilizar el material con fines comerciales. **Sin Derivadas:** Si remezcla, transforma o construye sobre el material, no puede distribuir el material modificado. **Sin restricciones adicionales:** No puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros de hacer cualquier cosa que permita la licencia.

UNIVERSIDAD NACIONAL
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN

LICENCIADA

(Resolución de Consejo Directivo N° 012-2020-SUNEDU/CD de fecha 27/01/2020

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALÚRGICA

ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA

METADATOS

DATOS DEL AUTOR (ES):		
APELLIDOS Y NOMBRES	**DNI**	**FECHA DE SUSTENTACIÓN**
Huaman Izquierdo Diego Martin	72183180	21/05/2026
Gustavo Adolfo Gutiérrez Moreno	73596065	21/05/2026
DATOS DEL ASESOR:		
APELLIDOS Y NOMBRES	**DNI**	**CÓDIGO ORCID**
Máximo Cisneros Tejeira	23904230	https://orcid.org/0000-0001-7953-9559
DATOS DE LOS MIEMBROS DE JURADOS – PREGRADO/POSGRADO-MAESTRÍADOCTORADO:		
APELLIDOS Y NOMBRES	**DNI**	**CÓDIGO ORCID**
Salcedo Meza Máximo Tomás	15602588	https://orcid.org/0000-0003-1993-2513
Delicias Eufemia Natividad Huasupoma	15740030	https://orcid.org/0000-0001-5142-6392
Gerardo Luis Mora Palomino	16120729	https://orcid.org/0000-0001-8100-3489

2026 - 016248 Huaman Izquierdo 2026 - 015899 Gut...

Evaluación del tratamiento con ozono a nivel laboratorio en la oxidación del cianuro en efluentes auríferos de Chasquitambo ...

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FIQYM - PREGRADO - 2026
Unidad de Investigación de la FIQyM - 2026
Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::1:3545672747

Fecha de entrega
21 abr 2026, 11:40 a.m. GMT-5

Fecha de descarga
21 abr 2026, 11:45 a.m. GMT-5

Nombre del archivo
borrador_de_tesis_GUTIERREZ_y_HUAMAN.docx

Tamaño del archivo
9.8 MB

64 páginas

9898 palabras

56.461 caracteres

19% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

19% Fuentes de Internet
2% Publicaciones
8% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a mi familia, por todo su apoyo brindado en todo este tiempo por ayudarme en esta etapa de mi vida, incluso en los momentos más difíciles que se presentó a lo lardo del proyecto, gracias por ser el impulso y motivación.

A gradezco también a la Universidad José Faustino Sánchez Carrión por brindarme todos los instrumentos que fueron de gran importancia para la realización de este proyecto como los laboratorios y equipos de trabajo

A mis compañeros de universidad que estuvieron acompañando en este trascurso con sus consejos y por cada palabra de aliento

Finalmente, me dedico este logro a mí mismo por el compromiso, el esfuerzo invertido y la perseverancia para alcanzar esta meta tan importante

AGRADECIMENTO

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a todas las personas que me acompañaron en el trascurso de la tesis

Agradezco también a mis docentes que me enseñaron el uso de instrumento de laboratorio que me permitieron desarrollar sin problemas el proyecto su compromiso y vocación fue fundamental en mi crecimiento profesional

Agradezco a mi asesor por la orientación que me dio en cada etapa del proyecto de investigación también por su compromiso y motivación para dar lo mejor de mí en cada etapa del proceso

De igual manera a mi familia que me apoyo a todo lo largo de mi carrera universitaria por su amor incondicional, comprensión y motivación permanente. Gracias por creer en mi incluso en los momentos más difíciles.

ÍNDICE

DEDICATORIA v

AGRADECIMENTO vi

RESUMEN xi

ABSTRACT xii

Introducción xiii

Capítulo I 1

Planteamiento del Problema 1

1.1 Descripción de la realidad problemática…… 1

1.2 Formulación del problema……. 2

1.2.1 Problema general 2

1.2.2 Problemas específicos 2

1.3 Objetivos de la investigación……. 2

1.3.1 Objetivo general 2

1.3.2 Objetivos específicos 2

1.4 Justificación de la investigación…… 3

1.4.1 Justificación práctica 3

1.4.2 Justificación Científica 3

1.4.3 Justificación investigativa 4

1.4.4 Justificación social 4

1.4.5 Justificación Funcional..... 4

1.5 Delimitaciones del estudio……. 4

1.5.1 Alcance 4

1.5.2 Límites de la investigación 4
1.6 Viabilidad del estudio……5
1.6.1 Viabilidad técnica 5
1.6.2 Viabilidad económica 6
1.6.3 Viabilidad social 6
Capítulo II 7
Marco Teórico 7
2.1. Antecedentes de la investigación……7
2.1.1. Antecedentes Nacionales..... 7
2.1.2. Antecedentes Internacionales..... 9
2.2. Bases teóricas…… 10
2.2.1. Ozono 10
2.2.2. Efluentes auríferos..... 10
2.2.3. Cianuro 11
2.2.4. Cianuro Total (TCN) 11
2.2.5. Ozono 11
2.2.6. Titulación..... 13
2.2.7. Método de Liebig..... 13
2.3. Definición de términos básicos…… 20
2.4. Hipótesis de investigación…… 21
2.4.1. Hipótesis general..... 21
2.4.2. Hipótesis específicas..... 21
2.5. Operacionalización de las variables 21

Capitulo III 23

Metodología 23

3.1. Diseño metodológico 23

3.1.1. Tipo de investigación 23

3.1.2. Diseño de investigación 23

3.1.3. Diseño de bloques aleatorios 23

3.2. Población y muestra 23

3.2.1. Población 23

3.2.2. Muestra 23

3.3. Técnica de recolección de datos 24

3.4. Técnica para el procesamiento de la información 24

3.4.1. Preparación de muestra 24

3.4.2. Aplicación de tratamiento 24

3.4.3. Medición de resultados 24

3.4.4. Registro de datos 24

Capitulo IV 25

Resultados 25

4.1. Análisis de resultados 25

4.1.1. Fotos del preceso 25

4.1.2. Diagrama de Flujo del proyecto de investigación 30

4.1.3. Pruebas de oxidación con ozono industrial 31

4.1.4. Descripción de las variables experimentales en el proceso de ozonificación 33

4.1.5. Verificación del método de titulación a través de la comparación con los resultados

obtenidos por el Laboratorio Plenge…….. 33

4.1.6. Representación gráfica de la variación de la concentración de cianuro con respecto al tiempo…….35

4.1.7. Cinética de la Reacción…… 35

4.1.8. Porcentaje de remoción…… 36

4.1.9. Ecuación de Velocidad de la reacción…… 36

4.1.10.Simulación del registro más bajo…… 38

4.1.11.La velocidad de disminución del cianuro (ppm/h) …… 39

4.2. Contrastación de hipótesis……. 40

4.2.1. Contrastación de hipótesis general……. 40

4.2.2. Contrastación de hipótesis especifica 1……. 40

4.2.3. Contrastación de hipótesis especifica 2…… 41

4.2.4. Contrastación de hipótesis especifica 3…… 41

Capitulo V.....42

Discusión.....42

5.1. Discusión de resultados…… 42

Capitulo VI.....43

Conclusiones y recomendaciones 43

6.1. Conclusiones……. 43

6.2. Recomendaciones……44

Capitulo VII 45

Bibliografia…… 45

Anexos 48

RESUMEN

La presente investigación titulada “Evaluación del tratamiento con ozono a nivel laboratorio en la oxidación del cianuro en efluentes auríferos de Chasquitambo, 2024” tuvo como objetivo evaluar la eficiencia del ozono como agente oxidante para reducir la concentración de cianuro en efluentes generados por procesos de lixiviación de oro. El cianuro, ampliamente utilizado en la minería aurífera por su capacidad de formar complejos solubles con el oro, representa un alto riesgo ambiental debido a su elevada toxicidad, por lo que es indispensable su tratamiento antes de la descarga en cuerpos de agua.

La hipótesis planteó que el tratamiento con ozono a nivel de laboratorio es efectivo para oxidar y disminuir significativamente la concentración de cianuro, mejorando la calidad del efluente tratado. La metodología consistió en ensayos experimentales controlados, evaluando variables como el tiempo de residencia, el pH alcalino y la temperatura, determinando su influencia en la eficiencia del proceso.

Los resultados evidenciaron una reducción significativa del cianuro libre y de los complejos metálicos, demostrando que el ozono es un agente altamente eficiente, especialmente a mayores tiempos de residencia. El equipo ozonificador mostró un desempeño energético eficiente, operación automatizada y facilidad de uso. Se concluye que el tratamiento con ozono es una alternativa viable y ambientalmente sostenible, ya que no genera subproductos peligrosos y el ozono residual se descompone en oxígeno, recomendándose su aplicación a escala industrial bajo adecuados controles operativos y de seguridad.

Palabras clave: ozono, cianuro, efluentes auríferos, tratamiento de aguas.

ABSTRACT

This research, entitled “Evaluation of Ozone Treatment at Laboratory Level for the Oxidation of Cyanide in Gold Mining Effluents from Chasquitambo, 2024,” aimed to assess the efficiency of ozone as an oxidizing agent to reduce cyanide concentration in effluents generated by gold leaching processes. Cyanide is widely used in gold extraction due to its ability to form soluble complexes with the precious metal; however, its high toxicity represents a significant environmental risk, making proper treatment essential before discharge into receiving water bodies.

The general hypothesis proposed that ozone treatment at laboratory scale effectively oxidizes and significantly reduces cyanide concentration, thereby improving effluent quality. The methodology consisted of controlled experimental tests evaluating operational variables such as residence time, alkaline pH, and temperature, determining their influence on oxidation efficiency.

The results demonstrated a significant reduction in free cyanide and metal complexes, confirming ozone as a highly efficient oxidizing agent, particularly at longer residence times. The ozonation equipment showed efficient energy performance, low power consumption, and automated operation, ensuring practical applicability.

Furthermore, the process did not generate harmful secondary by-products, as residual ozone decomposes into oxygen, making it an environmentally sustainable alternative.It is concluded that ozone treatment is a viable and clean technology for cyanide removal in gold mining effluents, with strong potential for industrial-scale implementation, provided that appropriate operational controls and safety measures are established.

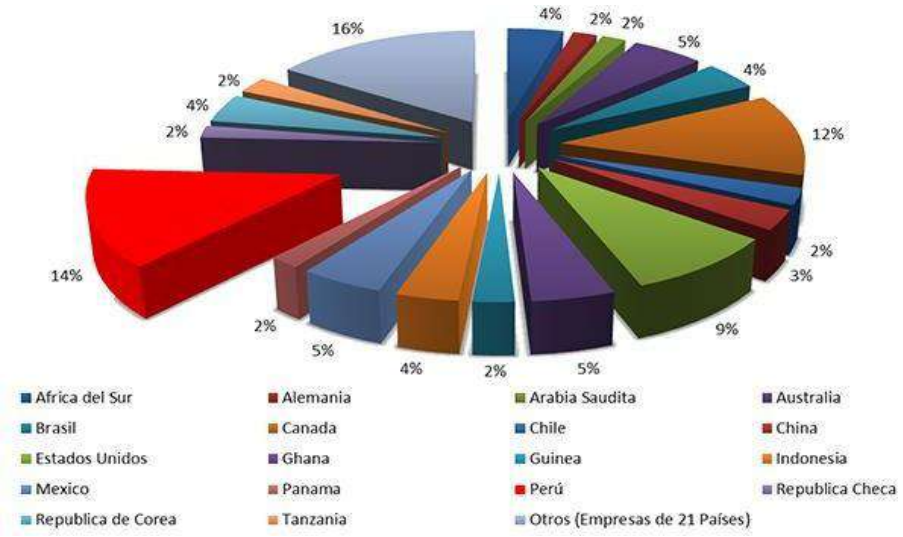
Keywords: ozone, cyanide, gold mining effluents, water treatment.

Introducción

El tratamiento de efluentes mineros es un tema de gran importancia ambiental, debido a los diversos contaminantes que pueden estar presentes, entre ellos el cianuro. El cianuro es altamente tóxico, este compuesto químico se utiliza comúnmente en los procesos de extracción de oro debido a su capacidad de formar complejos solubles con el metal precioso. La contaminación por cianuro en los cuerpos de agua receptores es un problema que requiere un tratamiento adecuado para reducir su concentración a niveles permisibles antes de su descarga.

El Instituto Internacional para el manejo del cianuro (ICMI, sigla en inglés), estima que el crecimiento de compañías signatarias del cianuro en diversos países ha aumentado notablemente, siendo Perú uno de los países con mayor porcentaje con el 14% en empresas certificadas, siguiendo Canadá con el 12% y Estados Unidos con el 9%, entre otros.

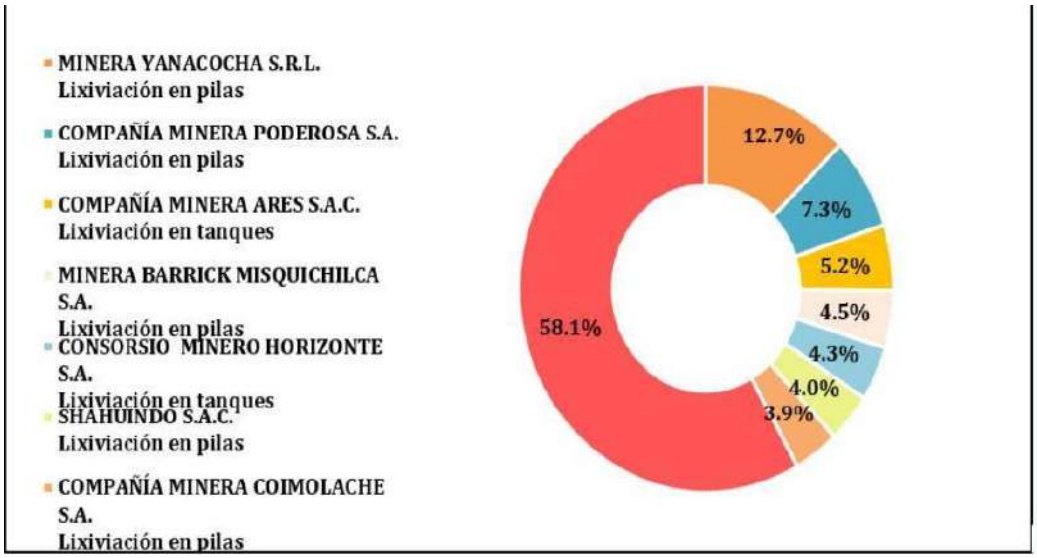
Figura 1. *Porcentaje de las empresas signatarias con el código de cianuro a nivel mundial.*



Fuente: www.cyanidecode.org

En el ámbito nacional, según (minen) (2020), indica que en el Perú existe una gran cantidad de empresas que trabajan con lixiviación de oro, los cuales resultan en efluentes de cianuro libre, afectando la salud y el medio ambiente.

Figura 2. *Porcentaje de diversas empresas mineras en el Perú con tecnologías empleadas en la producción del oro.*



Fuente: Ministerio de energías y minas.

El siguiente proyecto de investigación se realizó de manera experimental mediante pruebas metalúrgicas efectuadas en el laboratorio de la Universidad José Faustino Sánchez Carrión en el área de ingeniería metalúrgica y materiales, donde se tuvo como base oxidar cianuro libre en los efluentes auríferos aplicando el tratamiento con ozono industrial.

Capítulo I

Planteamiento del Problema

1.1 Descripción de la realidad problemática

Toxicidad del cianuro: La presencia de cianuro en los efluentes representa un peligro para los organismos acuáticos y, en niveles elevados, puede ser mortal. A su vez, el cianuro y sus derivados pueden acumularse en los cuerpos de agua, afectando a la flora y fauna y contaminando las fuentes de agua potable.

Regulación ambiental: Las normas ambientales imponen límites estrictos para la descarga de cianuro en cuerpos de agua. Esto obliga a las operaciones mineras a buscar métodos efectivos de tratamiento para minimizar la contaminación.

Impacto en la salud pública: Las comunidades cercanas a Chasquitambo corren el riesgo de exposición a agua contaminada con cianuro, lo que podría ocasionar problemas de salud en caso de consumo o contacto prolongado.

Necesidad de alternativas sostenibles: Los métodos convencionales de tratamiento de cianuro no siempre son lo suficientemente eficientes o sostenibles. El uso de ozono para la oxidación de cianuro en laboratorio aparece como una alternativa innovadora, potencialmente efectiva y menos perjudicial para el medio ambiente.

Este proyecto evaluará la eficacia del tratamiento con ozono en la degradación de cianuro a nivel de laboratorio para poder implementarlo como una alternativa viable y sostenible en los procesos mineros de Chasquitambo.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿De qué manera la evaluación de tratamiento con ozono a nivel de laboratorio aumenta la oxidación de cianuro en efluentes auríferos de Chasquitambo 2024?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cómo influirá el tratamiento con ozono en la oxidación del cianuro en efluentes auríferos?
- ¿Cómo influirá el pH y la concentración de ozono la eficiencia de la oxidación de cianuro?
- ¿Cómo influirá el tratamiento en la reacción con compuestos presentes en el efluente aurífero?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Evaluar la eficiencia del tratamiento con ozono en la oxidación del cianuro presente en efluentes auríferos de Chasquitambo a nivel laboratorio, con el propósito de reducir su concentración y mejorar la calidad del efluente tratado.

1.3.2 Objetivos específicos

- Evaluar la disminución de la concentración de cianuro en los efluentes después de someterlos al tratamiento con ozono y compararlo con los niveles iniciales.
- Determinar las condiciones óptimas (concentración de ozono, tiempo de exposición, pH, etc.) para maximizar la oxidación del cianuro en los efluentes auríferos.
- Evaluar la mejora en la calidad del efluente tratado, considerando parámetros como la toxicidad, la biodegradabilidad y el cumplimiento de normativas ambientales.

1.4 Justificación de la investigación

Las industrias mineras en esta parte de la región Lima tiende a alcanzar altas explotaciones de los minerales. En la actualidad, en las provincias como Chasquitambo, Oyón, Huara y zonas cercanas, están cambiando a causa de la contaminación ambiental de efluentes auríferos, teniendo impactos negativos afectando la sociedad, economía y siendo perjudiciales para la salud y vida de los seres humanos, plantas y animales.

En esta tesis, el conocimiento planteado será favorable como alternativa de solución en el tratamiento y distribución de los efluentes con cianuro, para las empresas mineras, incorporándose de forma inofensiva al ecosistema mediante el método con el uso del ozono. Las soluciones tratadas con el cianuro acondicionado de manera inocua serán de beneficio medio ambiental. Reducirá la alta contaminación en las fuentes de agua para la sociedad que viven en los sitios aledaños sin causar un impacto negativo, originar caos o desplazamiento social en la ciudad de Chasquitambo.

1.4.1 Justificación práctica

Los resultados que obtenemos nos pueden ayudar a tomar buenas decisiones en el futuro para el tratamiento de efluentes y posteriormente su liberación, que traerá consigo el mejoramiento del medio ambiente. Optimización de recursos y disminución de costos.

1.4.2 Justificación Científica

Este proyecto permite lograr nuevos conocimientos tanto teóricos como prácticos acerca de los nuevos tratamientos para los efluentes, y las consecuencias que podrían originar si no son tratados correctamente, contribuyendo al mejoramiento del impacto ambiental que causan estos a través de los siguientes pasos:

- Innovación en técnicas de tratamientos de efluentes.
- Contribución al desarrollo de tecnología de remediación.
- Evaluación de viabilidad del ozono en comparación de otros métodos.

1.4.3 Justificación investigativa

Pretende ayudar como modelo para que otros investigadores puedan comprometerse con la responsabilidad de profundizar, complementar y mejorar el tema tratado.

1.4.4 Justificación social

Pretende que la liberación de los efluentes aplicando el método de ozono liberara menos porcentaje de cianuro, siendo de manera favorable para el bienestar de la personas y dar a conocer el impacto a las empresas con los reglamentos otorgados por el estado. Protección del medio ambiente y la salud pública.

1.4.5 Justificación Funcional

Las conclusiones a las que llegamos son de gran ayuda, ya que permitirán tener más conocimientos sobre los nuevos tratamientos, lo cual beneficia el cuidado del medio ambiente.

1.5 Delimitaciones del estudio

1.5.1 Alcance

- El estudio establecerá la capacidad del ozono para oxidar el cianuro en efluentes auríferos bajo condiciones controladas del laboratorio.
- Se explorarán las condiciones óptimas (concentración de ozono, tiempo de agitación, PH y temperatura) para maximizar la oxidación del cianuro.
- Basados en los resultados obtenidos, se sugerirán recomendaciones para escalar en otros contextos industriales.

1.5.2 Límites de la investigación

- Poco apoyo para el tratamiento de los efluentes auríferos en la zona de Chasqui tambo.
- Poco tiempo para realizar la investigación de todas las empresas que liberan efluentes no tratados correctamente.
- Poca muestra del efluente tratado para la investigación.
- Los experimentos se realizarán únicamente a nivel de laboratorio.
- Los resultados pueden no ser directamente aplicados a escalas industriales sin estudios adicionales.
- El estudio se centra exclusivamente en efluentes auríferos de Chasquitambo.
- Las condiciones ambientales como la temperatura, la presión y el pH estarán controladas en un ambiente de laboratorio, lo que podría no reflejar las condiciones reales en el campo.
- El trabajo e investigación puede estar limitado por la disponibilidad de recursos como equipos de laboratorio, reactivos y tiempo. Lo cual podría restringir el número de pruebas o experimentos realizados.
- El enfoque estará en la oxidación del cianuro. Únicamente otros contaminantes en los efluentes no serán tratados, lo cual limita la visión integral del tratamiento.

1.6 Viabilidad del estudio

1.6.1 Viabilidad técnica

Para llevar a cabo el proyecto de investigación se cuenta con disponibilidad de equipos y materiales como el generador de ozono y conocimiento de la técnica de titulación para calcular la contracción del cianuro libre.

Se cuenta con la experiencia técnica del docente asesor en proyectos de efluentes en la minería aurífera. Existe la metodología establecida para la oxidación del cianuro mediante ozono.

1.6.2 Viabilidad económica

El equipamiento necesario a nivel laboratorio no es muy costoso; generalmente el laboratorio del centro de investigación cuenta con los reactivos necesarios.

Se cuenta con financiamiento propio a través de préstamos familiares retornables.

1.6.3 Viabilidad social

El proyecto de investigación tiene un impacto positivo en la comunidad y un alto potencial para beneficiar a la comunidad de Chasquitambo y en la minería artesanal aurífera, mejorando la calidad del medio ambiente.

Capítulo II

Marco Teórico

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes Nacionales

Aranguri, Reyes (2018) tuvo como objetivo principal la degradación del cianuro libre de un relave en pulpa de una industria metalúrgica en lixiviación con dos reactivos, siendo uno el metabisulfito de sodio ($Na_2S_2O_5$) y la mezcla de ello con sodio ($Na_2S_2O_5 + H_2O_2$).Su análisis fue de tipo factorial con tres variables independientes: tiempo de agitación, exceso en el porcentaje de reactivo y teniendo una variable dependiente la degradación del CNL (mg/L). Como resultado, en su estudio obtuvo el aumento con el tiempo de agitación y el 1 % en exceso de reactivo, así también, un (97,67%) en el porcentaje máximo de degradación del CNL, 400% de exceso en el ($Na_2S_2O_5$) con 4 horas de agitación, dando la contraria al supuesto máximo de degradación con la mezcla homogénea de ($Na_2S_2O_5 + H_2O_2$) en los mismos anteriores parámetros, con el cual se obtuvo un resultado de 94,87% de degradación. Concluyendo respecto al análisis de varianza de acuerdo al (ANOVA), las variables utilizadas fueron relevantes en la degradación del CNL. La contribución de este artículo es que los métodos utilizados en la mezcla del ($Na_2S_2O_5$) sirven de manera significativa en la degradación del cianuro y sirven de ayuda en la oxidación de los efluentes auríferos.

Argota (2018) el objetivo de su estudio fue predecir la ecotoxicología ante concentraciones no deseadas de cianuro libre en efluentes mineros-auríferos. Para esta prueba se necesitaron 4 muestras que se obtuvieron durante el periodo de lluvia en el cual se determinó la concentración de cianuro libre mediante el método de nitrato de plata. Su estudio se elaboró de forma experimental en un laboratorio, realizando un bioensayo letal aguda con la mayor

concentración, utilizando el modelo biológico de experimentación de Eisenia andrei y con ambas determinaciones se estimó la predicción ecotoxicológica, por medio de un modelo computacional Gecotoxic. La normativa ambiental nos dice que el valor permisible es ($0.22mg.L^{-1}$), lo cual es menor frente a los resultados de las concentraciones de las muestras de efluentes, los cuales fueron de($0.078mg.L^{-1}$), observándose efectos fatales, mientras que el modelo computacional Gecotoxic indicó un riesgo ambiental del (68%). Lo cual concluye que dichos efluentes mineros fueron vertidos con alta presencia de cianuro libre, lo que puede ser perjudicial para los cuerpos receptores.

Este artículo nos contribuye en que, si los efluentes mineros-auríferos no son correctamente tratados, se convierten en un peligro para la flora y fauna del medio ambiente.

Serquen (2020) en su investigación tuvo como objetivo principal determinar la influencia que tiene el tratamiento del ozono y cobre en la oxidación del cianuro de efluentes mineros. Utilizaron muestras del proceso McArthur de una unidad minera Cerro Lindo encontrada en Chincha, Ciudad de Ica, caracterizada por el método de ASTM. Para realizar su estudio construyeron un reactor uno de 2,1 litros tubular alimentado de concentraciones de ozono de 1,5; 2,0 y 2,5g; al cual se adicionaron Cu+2($SO_4Cu.5H_2O$) y 1,9 litros de efluente, Para catalizar utilizaron 0; 200 y 400 mg/l en tres repeticiones con un total de 27 ensayos, determinando la cuantificación del CN - por el método ASTM D2036-91 mediante el fotómetro Hanna C200. Concluyendo que, en diferentes concentraciones, tanto la adición de O3 y Cu+2 influyen en la oxidación del efluente, con excelentes resultados de 83,26– 98,98%; 2,5 g de O3 y 400 mg/L Cu+2 en dosificación, logra una reducción de la concentración de CN de 235, 44 mg/L a 0,17 mg/L de cianuro (CN-) considerado según MINAM OPTIMO en el D.S N° 010 -2010. La contribución de este estudio es sobre el tratamiento plasmado en su tesis, el cual sirvió de ayuda

para finalizar en la degradación del efluente, resultandos eficientes en sus muestras con el tratamiento por ozono.

2.1.2. Antecedentes Internacionales

Rodríguez, Salas (2022) La importancia del objetivo en su estudio fue evaluar el concentrado de pirita aurífero con su consumo de cianuro cuando este es sometido a un pretratamiento con ozono antes de la cianuración. Su estudio fue experimental realizado con pruebas metalúrgicas de cianuración a 1000 y 3000 ppm de CN con una ley de 67.44% para un concentrado de pirita de FeS_2, dando como resultado un 54% y 69% en las concentraciones sometidas al pretratamiento con ozono y reducción en el consumo de cianuro. Se concluye que los resultados obtenidos aportan en la factibilidad respecto al tratamiento con uso del ozono, ya que este aumenta la recuperación de plata, generando un impacto ambiental significativo.

Según Hernández (2019), tuvo como objetivo la degradación de cianuro libre producto de la lixiviación de plata que tomó como muestras soluciones de ozono-cloruro, ubicada en una planta de México de la compañía minera Minera Real del Monte y Pachuca con el fin de ejecutar completamente la presencia de cianuro libre, disminuyendo así el impacto ambiental y económico.

A comparación de otros tratamientos usados actualmente. Su estudio fue experimental porque elaboraron una columna empacada que ellos mismos diseñaron con el fin de hallar la mejor concentración NaCl para la eliminación de cianuro libre tanto sintéticas como reales; su flujo utilizado es de 0.8 L/min de ozono y 0.017 M con un tiempo de degradación de 40 min. Este estudio nos demuestra que el ozono acelera la oxidación del tratamiento para la eliminación de cianuro.

Según Garza y Carrillo (2023) La cianuración es el procedimiento más empleado por

años para la extracción de oro; no obstante, los efluentes resultantes perjudican el medio ambiente porque son altamente tóxicos y complejos. Su objetivo es la eliminación del cianuro por medio de oxidación avanzada catalítica usando el ozono y los óxidos de hierro. Su estudio se elaboró de forma experimental a nivel laboratorio, usando óxidos de hierro como catalizadores. Los resultados obtenidos nos mostraron que al agregar 1g/L de óxidos de hierro se logró disminuir la concentración inicial de cianuro (250 ppm) a 11.9 ppm en un promedio de 11 minutos. A comparación de las pruebas que usaron estos óxidos a ese tiempo se mantenían a 150 ppm de cianuro en la solución. Este estudio nos demuestra que usando óxidos ayuda a una más rápida eliminación de concentraciones de cianuro.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Ozono

El ozono (O_3) es una molécula triatómica con potentes propiedades oxidantes, capaz de descomponer diversos contaminantes orgánicos e inorgánicos en el agua (Smith & Wang, 2020). En el caso del cianuro, el ozono reacciona rápidamente, oxidándolo a cianato (CNO^-), que es menos tóxico y más fácil de degradar biológicamente (Brown & Zhang, 2015). La reacción se puede representar de la siguiente manera.

2.2.2. Efluentes auríferos

Se describe como desechos líquidos generados durante la extracción del oro. Este proceso incluye actividades en la minería, subterránea o cielo abierto, donde se utilizan productos químicos como el cianuro y mercurio para separar el oro de otros minerales (Pomalaza,2016).

Según Sosa (2017), estos efluentes tienden a tener un impacto ambiental significativo, corrompiendo los cuerpos en el agua y afectando la vida acuática, así también como la salud de las comunidades cercanas. Por tal motivo, la diligencia adecuada de estos efluentes es importante

para minimizar el impacto, implementando nuevos tratamientos y diversas tecnologías para mitigar sus efectos (p.6).

2.2.3. Cianuro

El cianuro es un compuesto químico que se diferencia por la presencia de un átomo de carbono unido a uno de nitrógeno atreves de una unión triple. Es conocido por su alta toxicidad, pero es usado altamente en la minería por su simplicidad y su bajo costo, aunque esto genere problemas ambientales.

Puede presentarse como un gas incoloro como el cianuro de hidrógeno (HCN), cristalina como el cianuro de sodio (NaCN) o el cianuro de potasio (KCN) (Arevalo, 2011).

El cianuro se clasifica de la siguiente manera: Cianuro total, Cianuro WAD y cianuro libre.

2.2.4. Cianuro Total (TCN)

El término cianuro total se refiere a la cantidad total de cianuro presente en una muestra sin distinción de las diferentes formas químicas del cianuro, lo cual incluye tanto el cianuro libre (como las sales de cianuro y el cianuro de hidrógeno) como el cianuro que puede estar ligado en formas complejas dentro de compuestos. Sus formas de medición son la espectrofotometría, titulación, destilación y colorimetría.

2.2.5. Ozono

Según el Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana (2012), es un gas que está presente en la atmósfera de forma natural. Compuesta por tres átomos de oxígeno (O3) esta molécula es encontrada en dos regiones principales de la atmósfera: la estratosfera y la troposfera, así mismo, conteniendo propiedades oxidantes que sirven y son útiles en aplicaciones para la purificación del agua y tratamiento del aire. La gestión de su presencia en la atmósfera es un tema importante

en la lucha contra la contaminación y el cambio climático.

Se ha demostrado que el método de cianuro en ozono resulta mas favorable para la eliminación de los cianuros, cianatos y tiocianatos presentes en una solución. Este tratamiento requiere un costo bajo de equipos, aparte de no requerir trasporte, almacenamiento o uso de reactivos químicos que hace que genere muy pocos desechos químicos tóxicos.

Los datos sobre los procesos de reacción de oxidación y la cinética son poco claras, lo que ha limitado su aplicación. El control del pH durante todo el proceso es una etapa crucial para este proceso porque la producción de iones hidronio puede descomponer al ozono, lo que reduce la destrucción de cianuro (Carillo,2000).

Una de las fortaleza más destacadas de este método es que requiere poca inversión para su generación porque se produce a partir del aire, lo que implica una inversión menor en comparación con cualquier otro método mencionado y un bajo impacto de subproductos, debido a que es directo y no requiere tratamientos secundarios en los efluentes, siendo una opción atractiva teórica para la eliminación de cianuro; de tal manera se debe considerar que el proceso de ozonización es bajo por su poca solubilidad en agua. Por tal motivo, es esencial que se lleve a cabo una investigación más exhaustiva sobre técnicas de generación más eficientes, cuyo alcance está fuera del alcance actual del estudio (Carrillo, 2000).

La aplicación sobre la cinética y los procesos de reacción ha sido restringida debido a que su información es poco clara. Una de las fases más significativas para este proceso es el manejo del pH a lo largo del proceso, acusa de la creación de la creación de los iones hidronio poseen la capacidad de descomponer al ozono, lo cual disminuye la destrucción del cianuro (Gómez, 2012.).

$$CN^- + O_3(g) \leftrightarrow CNO^- + O_2$$

$$3CN^- + O_3(aq) \leftrightarrow 3CNO^-$$

$$2CNO^- + 3O_3 + H_2O \leftrightarrow 2HCO_3^- + N_2 + 3O_2$$

2.2.6. Titulación

Es un método cuantitativo de la química que nos permite calcular la concentración desconocida de un líquido agregando reactivos de un contenido ya conocido, es un proceso no muy difícil que no necesita la utilización de instrumentos técnicos para establecer la concentración de sustancias identificadas disueltas. Para hacer la titulación se requiere una bureta y un vaso de precipitados. La bureta posee una solución volumétrica en la que se conoce la concentración del compuesto. La solución con concentración desconocidas y un indicador para la detención del parámetro están presentes en el vaso de precipitados. Tras combinar la mezcla volumétrica y la solución con la muestra en el vaso de precipitados es posible, basándose en la interpretación el desarrollo químico de reacción y el consumo de la solución volumétrica, se puede determinar la concentración de la solución con la muestra. Los distintos métodos de titulación se pueden dividir según la variedad de reacciones químicos. Un ejemplo seria la titulación ácido-base, la titulación redox y la titulación por precipitación.

2.2.7. Método de Liebig

El principio del método de Liebig (1851) cuando una solución de nitrato de plata Se añade a una solución ligeramente alcalina de un cianuro alcalino, el complejo iónico soluble Dicianurosilverato (I) ("argentocianuro") se forma de acuerdo con la reacción:

$$2CN^- + Ag^+ \rightarrow (Ag(CN)_2)^-$$

Esta es la reacción de titulación. Una vez alcanzado el punto de equivalencia, es decir, Una vez que hay un exceso de iones de plata, la solución se vuelve turbia debido ala formación de disocianato de plata insoluble (I) (“Argentocianuro de plata”)

$$(Ag(CN)_2)^- + Ag^+ \rightarrow (Ag(CN)_2) \downarrow$$

El punto de equivalencia se define por la aparición de una turbidez persistente.

El valor del producto de solubilidad del cianuro de plata es $Ks((Ag(CN)_2) = 1.2 \times 10^{-16}$

Eso Es muy insoluble. Una vez que se añade la primer a gota de solución de nitrato de plata, la plata Cianuro precipita según la reacción:

$$\boldsymbol{Ag^+ + CN^- \rightarrow AgCN \downarrow}$$

Pero se disuelve por complejación con iones cianuro según la reacción:

$$Ag\boldsymbol{CN} \downarrow + \boldsymbol{CN^-} \rightarrow (Ag(CN)_2)^-$$

Inconveniente del método de Liebig

El retraso necesario para la Disolución del cianuro de plata por iones cianuro aún en exceso (antes de la equivalencia punto). La persistencia del cianuro de plata insoluble aún no disuelto puede inducir Un error relativo a la detección final del punto, que puede detectarse prematuramente. Esta es la razón por la cual se recomienda llevar a cabo la titulación muy lentamente.

2.2.8. Proceso acido caro ($\boldsymbol{H_2SO_5}$)

Este proceso se utiliza para destruir cianuro en soluciones acuosas, mediante una mezcla de una mezcla de ácido sulfúrico y peróxido de hidrógeno según el equilibrio de la siguiente reacción:

$$H_2SO_4 + H_2O_2 \rightarrow H_2SO_5 + H_2O$$

Esta reacción es muy exotérmica y el componente principal es este producto(H_2SO_5)tiene una mayor capacidad para ser como oxidante que el (H_2O_2) . El agregado

de Acido de Caro en los efluentes conteniendo cianuro resulta en una rápida oxidación de las diferentes formas de cianuro incluso de tiocianatos y complejos de hierro. En estos casos este método implica requiere un menor consumo de(H_2O_2).

El Ácido de Caro oxida el cianuro a cianato, el cual este se hidroliza generando iones de carbonato y amonio. En medio alcalino el (H_2SO_5) se separa totalmente con (SO_5^{-2}).

Las reacciones son las siguientes:

$$CN^- + H_2SO_5 + 2OH^- \rightarrow CNO^- + 2H_2O + SO_4^{-2}$$

$$M(CN)_4^{-2} + 4\,H_2SO_5 + 10OH^- \rightarrow M(OH)_2 + 4CNO^- + 8H_2O + 4SO_4^{-2}$$

$$CNO^- + 2H_2O \rightarrow NH_4^+ + CO_3^{-2}$$

Los ferrocianuros complejos pueden encontrasteis en los efluentes, son bastante constante, que solo con el Ácido de Caro no son visiblemente oxidados, no obstante, estos son capaces de precipitarse como sales insolubles por medio de la reacción con iones de Cu, Zn y Fe según la siguiente reacción:

$$2M^{+2} + Fe\,(CN)_6^4 \rightarrow \; M_2Fe(CN)_{6\,(S)}$$

El Acido de Caro tiene la capacidad de oxidar niveles de tiocianatos, lo cual no es posible realizar hacer con el (H_2O_2).

$$SCN^- + H_2SO_5 + 10OH^- \rightarrow 5SO_4^{-2} + CNO^- + 9H_2O$$

Esta cualidad resulta muy importante cuando se trata de reciclar los efluentes tratados a un proceso de biolixiviación donde el SCN- es dañino para las bacterias.

2.2.9. Proceso INCO

El proceso INCO (International Nickel Company) para la destrucción del cianuro es un método utilizado para tratar y eliminar el cianuro presente en los efluentes de minería, especialmente en la minería de oro y plata, donde el cianuro se utiliza en el proceso de

lixiviación.

Este proceso se basa en una reacción de oxidación en la que el cianuro es destruido mediante la adición de una mezcla de oxidantes, generalmente cloro(Cl_2) o aire, en presencia de una solución alcalina. El proceso INCO convierte el cianuro tóxico (CN^-) en compuestos menos peligrosos, como el ácido cianúrico ($C_3H_3N_3O_3$) o el amoníaco (NH_3), dependiendo de las condiciones específicas del tratamiento.

El procedimiento general del proceso INCO incluye los siguientes pasos:

1. **Oxidación con cloro o aire**: Se agrega cloro o aire en una solución alcalina (normalmente con una alta concentración de hidróxido de sodio o potasio) para oxidar el cianuro.

   $$2CN^- + O_2 + 2H_2O \rightarrow C_3H_3N_3O_3 + 2OH^-$$

   O bien, el cianuro puede ser oxidado completamente a amoníaco y otros compuestos:

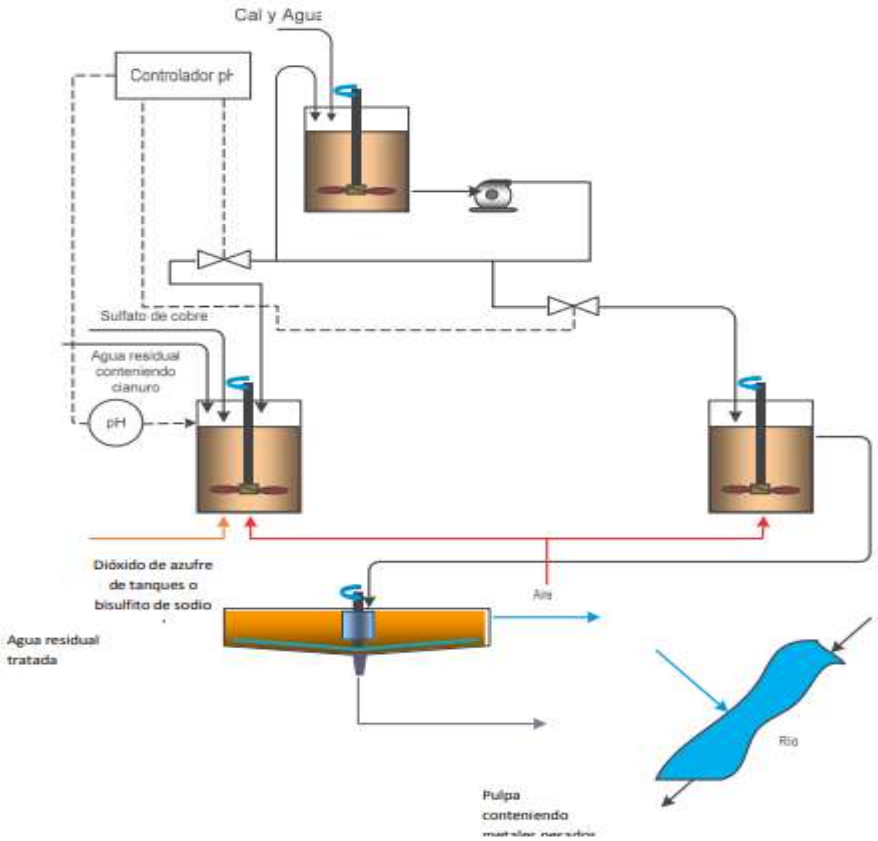
   $$CN^- + 2O_2 \rightarrow NH_3 + CO_2$$

2. **Condiciones alcalinas**: La solución debe mantenerse alcalina para evitar la formación de compuestos como el cianógeno(C_2N_2), que son menos fáciles de manejar y más peligrosos.
3. **Tratamiento con un agente oxidante**: Se usa cloro (en forma de gas o de solución de hipoclorito) o aire, que actúan como agentes oxidantes para romper las estructuras del cianuro.

Este proceso es eficaz porque descompone el cianuro en compuestos menos tóxicos y puede aplicarse en situaciones donde la contaminación por cianuro sea significativa, como en los residuos de la minería aurífera.

El proceso INCO ha sido una tecnología importante para la minería, ya que ofrece una forma relativamente económica y efectiva de eliminar el cianuro de las aguas residuales y mejorar la seguridad ambiental.

Figura 3 : *Proceso INCO, SO2/Aire.*



Fuente: Young, C y Jordan, T. 1995.

2.2.10. Proceso del Peróxido de hidrogeno

El (H_2O_2) es un compuesto químico que esta presentado tanto como líquido incoloro y viscoso, es conocido por sus propiedades oxidantes y desinfectantes, y tiene diversas aplicaciones en diferentes campos. Sus propiedades químicas son agente de ser un oxidante fuerte que puede llegar a dar oxigeno a otras sustancias, lo cual resulta útil para reacciones de oxidación siendo una utilizadas en una de ellas en el proceso de oxidación del cianuro (Acevedo,

2015).

Se han desarrollado dos procesos los cuales utilizan el peróxido de hidrógeno para la destrucción oxidante del cianuro libre y los complejos de cianuro. El primer proceso conocido como Proceso Kastone, fue originalmente propuesto por la Dupont, 1974 y por Mathre y Devries, 1981. Este proceso utiliza una solución de peróxido de hidrógeno al 41 % con unos pocos mg/l de formaldehido y cobre.

El segundo proceso fue desarrollado por Degussa Corporation, empleando una solución de peróxido de hidrógeno y sulfato de cobre en varias concentraciones, aunque es común no emplear las sales de cobre, debido a la presencia de este metal dentro de los minerales tratados; la reacción fundamental es :

$$CN^- + H_2O_2 \xrightarrow{CatalizadorCu} CNO^- + H_2O$$

Se ve que el peróxido de hidrógeno en compañía de cobre oxida al cianuro libre a cianato como se puede observar en la ecuación.

El cianuro junto con cadmio, cobre, níquel y cinc (cianuros WAD) además en esta etapa se oxida el cianato. Los metales que permaneces tras en el proceso de oxidación se precipitan en forma de hidróxidos hasta llegar a una concentración final que esta condicionado por el pH, según indica la reacción:

$$Me(CN)_4^{-2} + 4H_2O_2 + 2OH^- \rightarrow Me(OH)_{2(solido)} + 4CNO + 4H_2O$$

Los compuestos de cianuro ferroso se fusionan con el cobre libre se diluyen para crear un complejo que no se puede disolver expresado por la ecuación:

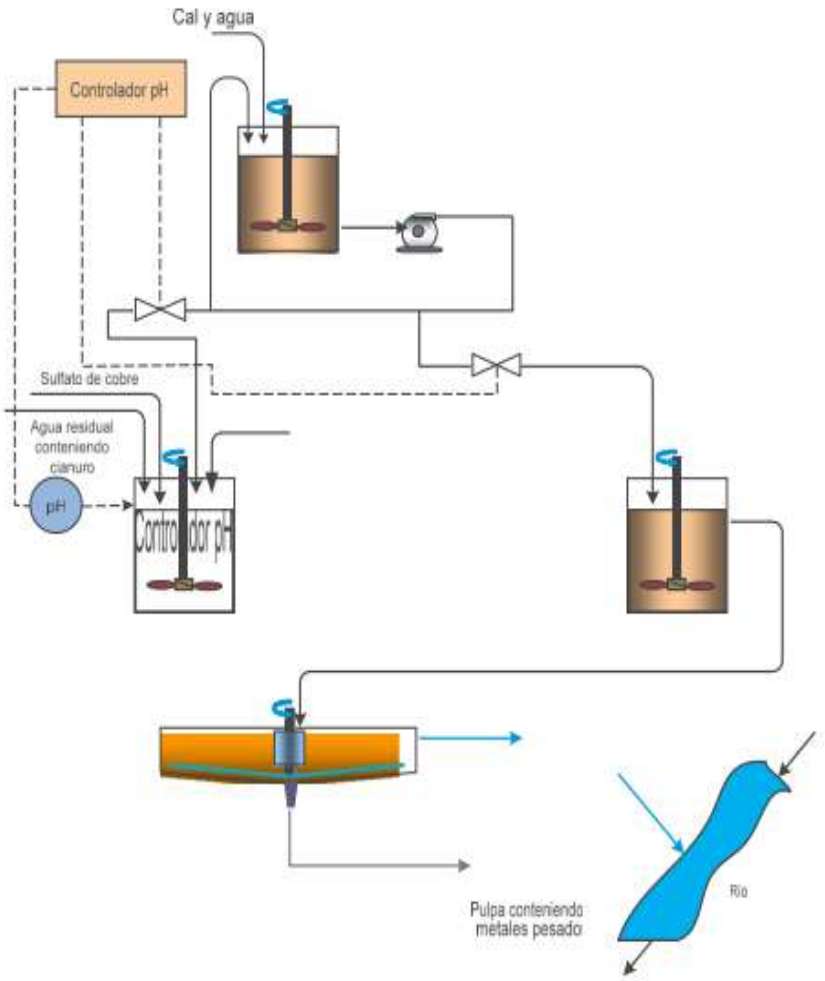
$$2Cu^{++} + Fe(CN)_6^{-4} \rightarrow Cu_2Fe(CN)_{6(solido)}$$

$$CNO^- + 2H_2O_2 \rightarrow CO_3^{-2} + NH_4^+$$

El pH ideal para la eliminar de metales tras la destrucción del cianuro es 9,0 – 9,5,

aunque el proceso es factible en un rango extenso de valores de pH. Un pH inferior a 9,0 es ideal para precipitar cianuros de hierro, pero dado que eliminar los metales suele tener mayor importancia que la eliminación de cianuro de hierro, es mejor un pH más alto durante el procedimiento. Normalmente, no es necesario ajuste de pH como pasa en otros métodos de tratamiento químico. El siguiente proceso se ilustra en la siguiente Figura:

Figura 4 : *Proceso de peróxido de hidrógeno*.



Fuente: Young, C y Jordan, T. 1995

2.2.11. Determinación de la eficiencia de degradación del cianuro

(Sellers, 1999).La eficiencia de degradación del cianuro de cada tratamiento se expresara en términos de porcentaje total degradado de cianuro por hora. Velocidad de reacción y velocidad

constante de primer orden para la biodegradación del cianuro se calcula experimentalmente

utilizando la ecuación 1 y 2.

$$\Delta C/\Delta t = kC \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 1$$

$$ln\, C_t - ln - C_0 = -k\, t\, \mu \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 2$$

2.3.Definición de términos básicos

a) Cianuro WAD: El cianuro WAD se refiere a formas de cianuro que pueden ser liberadas en un pH ácido.
b) Cianuro libre: Se refiere a las formas de cianuro que no están unidas a otros compuestos en una muestra y que están presentes en su forma química libre.
c) Espectrometría: Se refiere a un método que usa reactivos que reaccionan con el cianuro para formar un complejo coloreado. La intensidad del color, medida con un espectrofotómetro, indica la concentración de cianuro.
d) Titulación: Se refiere a un método donde un reactivo titulado se añade a la muestra hasta que el cianuro reacciona completamente. La cantidad de reactivo necesario para completar la reacción se usa para calcular la concentración de cianuro.
e) Destilación y colorimetría: La muestra se destila para liberar el cianuro, que luego se mide usando un método colorimétrico.
f) Efluente aurífero: Es el agua residual generada en este caso por la lixiviación de oro.

g) PH: Es la medida del grado de acidez y alcalinidad de una solución.

h) Dicianurosilverato : ”Argentocianuro” es la reacción entre el nitrato de plata y el cianuro alcalino.

2.4.Hipótesis de investigación

2.4.1. Hipótesis general

El tratamiento con ozono a nivel de laboratorio es efectivo para oxidar y reducir significativamente la concentración de cianuro en los efluentes auríferos de Chasquitambo, mejorando así la calidad del efluente tratado.

2.4.2. Hipótesis específicas

La concentración de cianuro en los efluentes auríferos disminuirá significativamente cuando se utilice ozono como agente oxidante, en comparación con efluentes no tratados con ozono.

El pH del medio y la concentración de ozono afectan significativamente la eficiencia de la oxidación del cianuro, con un pH alcalino y una mayor concentración de ozono, optimizando la reducción de cianuro.

El tratamiento con ozono generará subproductos (como cianato) menos tóxicos que el cianuro original, contribuyendo a un efluente final más seguro para el medio ambiente.

2.5. Operacionalización de las variables

Variable dependiente: la concentración del cianuro en el efluente tratado

Variable independiente: tratamiento con ozono

Variable interviniente: composición del efluente, condiciones ambientales (presión, humedad).

Tabla 1

Operacionalización de las variables.

Tipo de Variable	Variable	Definición conceptual	Definición Operacional	Indicadores	Escala de medición (unidades)
V.D	Concentración del cianuro	Cantidad de cianuro libre presente en el efluente que se mide para evaluar la eficiencia del tratamiento	Medición de la concentración de cianuro inicial y final del tratamiento con ozono en efluente aurífero	Tiempo de exposición	Concentración inicial y parte por millón (ppm) Concentración final parte por millón(ppm) Rango (0.02-1000)
V.I	Tratamiento con ozono	Proceso de oxidación del cianuro mediante el uso del ozono	Inyección de ozono al proceso con dosis constante y tiempo al efluente problema.	Dosis de ozono	Miligramos por litro (mg/L) Tiempo de exposición hora (mg/L)
V.IT	Condiciones del laboratorio.	Factores controlados en el proceso del experimento que pueden influir en los resultados.	Control de variables como temperatura, pH, Agitación durante el tratamiento	Temperatura	Temperatura (Grados centígrados) PH Grado (ácido/básico) Velocidad de agitación (rpm)

Capitulo III

Metodología

3.1.Diseño metodológico

3.1.1. Tipo de investigación

Se procederá a realizar un experimento controlado en el laboratorio para evaluar la eficiencia del tratamiento con ozono en oxidación del cianuro presente en el efluente. Por lo que el tipo de investigación es experimental, se aplicará el método socrático(Teoría de las restricciones).

3.1.2. Diseño de investigación

Se realizará un diseño en el que se aplique el tratamiento con ozono variando el flujo y el tiempo de exposición y la agitación para efectos de evaluación.

3.1.3. Diseño de bloques aleatorios

Se empleará este diseño para aplicar el tratamiento con ozono a una muestra problema, controlando otras variables como la temperatura, pH y la agitación. Por lo que permitirá comparar el efecto del tratamiento bajo diferentes condiciones.

3.2.Población y muestra

3.2.1. Población

Efluentes auríferos de la zona minera Chasquitambo, que contienen concentraciones altas de cianuro.

3.2.2. Muestra

Se seleccionarán muestras de los efluentes auríferos de la zona, que serán tratadas con una concentración de ozono controlada.

3.3.Técnica de recolección de datos

Para el proyecto se utilizarán técnicas analíticas como espectrofotometría y/o medir concentraciones de cianuro libre antes y después del tratamiento.

Para el control de varíales, se utilizarán termometritos, pH metro y agitador para mantener las condiciones del proceso en el laboratorio (poner las marcas).

3.4.Técnica para el procesamiento de la información

3.4.1. Preparación de muestra

La recolección y preparación de muestras de efluentes auríferos.

3.4.2. Aplicación de tratamiento

Exposición de la muestra en la concentración constante de ozono.

3.4.3. Medición de resultados

Medición de la muestra tratada del ozono de la zona de Chasquitambo.

3.4.4. Registro de datos

3.4.4.1.Análisis de datos

Se analizarán los datos por una estadística descriptiva donde se resumen las concentraciones de cianuro antes y después del tratamiento, con promedios de desviación estándar. Se realizarán gráficos y tablas para la representación gráfica de los datos y facilitar la interpretación de los resultados.

Capitulo IV

Resultados

4.1.Análisis de resultados

4.1.1. Fotos del proceso

Cianuración en posa de la zona de chasqui tambo

La toma de muestra del efluente aurífero se realizó la zona de chasqui tambo de la minería artesanal

Figura 5: *Posa de cianuración*



Figura 6: *Recolección de la muestra del tanque de la solución barren*



El efluente aurífero fue almacenado en el balde de plástico de una capacidad de 5l.

Se midieron el pH y temperatura para las condiciones adecuadas del proyecto

Figura 7: *la maquina ozonificador y midiendo parámetros*









El procedimiento empleado fue la titulación volumétrica para obtener la concentración de cianuro libre en el efluente aurífero. La muestra está el vaso precipitado y la solución titulante fue el nitrato de plata ($AgNO_3$) con el indicador de yoduro de potasio KI

Figura 8 : *Titulación de cianuro libre*







En esta etapa en el efluente se observa la parte lechosa indicando el punto final de la titulación esto sucede por exceso de nitrato de plata ($AgNO_3$) y el yoduro de potasio añadido como indicador

Figura 9: *Titulación cuando aflora color lechoso por el yoduro de potasio (KI)*



Crecimiento de plantas de lechuga en el efluente aurífero después del tratamiento con ozono industrial (2gr/L).

Figura 10: *Desarrollo de plantas de lechuga en efluente tratado con ozono industrial*



Se utilizo 4 recipientes de plastico con un soporte de tecnopor que actua como soporte de las raizes en el cultivo hidroponico de lechugas acuticas

Figura 11: *Adaptación de las plantas al efluente aurífero*



Se observa la fase de crecimiento y adaptación de las lechugas acuáticas al proceso previamente ozonizado del efluente aurífero, demostrando reducir los compuestos toxico para la reutilización del efluente para crecimiento hidropónico

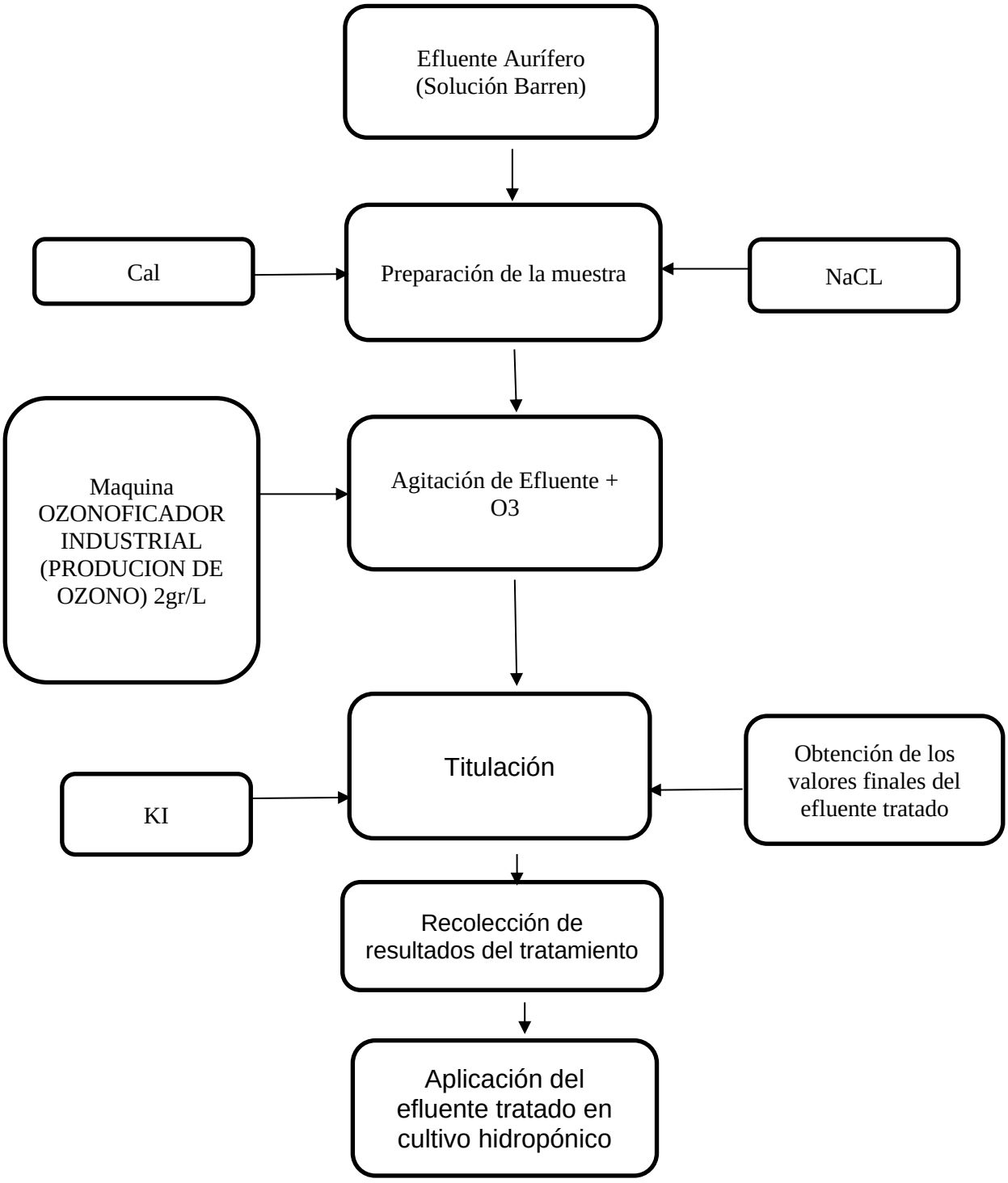
Figura 12: *Crecimiento y adaptacion de lechugas*





4.1.2. Diagrama de Flujo del proyecto de investigación

Figura 13: *Diagrama de Flujo del proyecto de investigación*



El diagrama describe el tratamiento de un efluente aurífero mediante ozonización, donde

la muestra es preparada con cal y NaCl, luego se agita con ozono y finalmente se analiza por titulación química para evaluar la eficacia del proceso para aplicar el efluente tratado en un cultivo hidropónico

4.1.3. Pruebas de oxidación con ozono industrial

Las pruebas de oxidación se realizaron en el laboratorio de hidrometalúrgico centro de investigación de metalúrgica y materiales de la universidad

Tabla 2

Eficiencia de ozonificación en el tratamiento de efluentes auríferos

eficiencia de ozonificación en el tratamiento de efluentes auríferos								
Tiempo de residencia	**Volumen LTS**	**PH**	**Temperatura**	**Cal**	**NaCL**	**O_3**	**$AgNO_3$**	**ppm**
0h	1l	9.50	19,6°C	3gr	3gr/L	2gr/L	2.20	286.53
1h	1l	9.50	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	2.15	280.02
2h	1l	10.00	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	2.10	273.50
3h	1l	10.00	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	2.05	266.99
4h	1l	10.00	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	2.00	260.48
5h	1l	10.00	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	1.95	253.97
6h	1l	10.00	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	1.90	247.46
7h	1l	10.00	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	1.85	240.94
8h	1l	10.00	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	1.80	234.43
9h	1l	10.00	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	1.75	227.92
10h	1l	10.00	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	1.71	222.71
11h	1l	10.00	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	1.66	216.20

12h	1l	10.00	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	1.61	209.69
13h	1l	10.00	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	1.56	203.17
14h	1l	10.00	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	1.51	196.66
15h	1l	10.00	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	1.46	190.15
16h	1l	10.00	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	1.41	183.64
17h	1l	10.00	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	1.36	177.13
18h	1l	10.00	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	1.31	170.61
19h	1l	10.00	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	1.26	164.10
20h	1l	10.00	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	1.22	158.89
21h	1l	10.00	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	1.17	152.38
22h	1l	10.00	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	1.12	145.87
23h	1l	10.00	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	1.07	139.36
24h	1l	10.00	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	1.02	132.84
25h	1l	10.00	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	0.97	126.33
26h	1l	10.00	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	0.92	119.82
27h	1l	10.00	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	0.87	113.31
28h	1l	10.00	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	0.82	106.80
29h	1l	10.00	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	0.79	102.89
30h	1l	10.00	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	0.74	96.38

Del cuadro se observa una disminución de la concentración de cianuro del efluente aurífero utilizando el ozono industrial (2gr/L) como oxidante por el método de agitación del efluente con ozono.

4.1.4. Descripción de las variables experimentales en el proceso de ozonificación

Variable independiente: tiempo

La duración del tratamiento de zonificación en medida en horas (desde o a 30h)

Variable dependiente: resultado en ppm

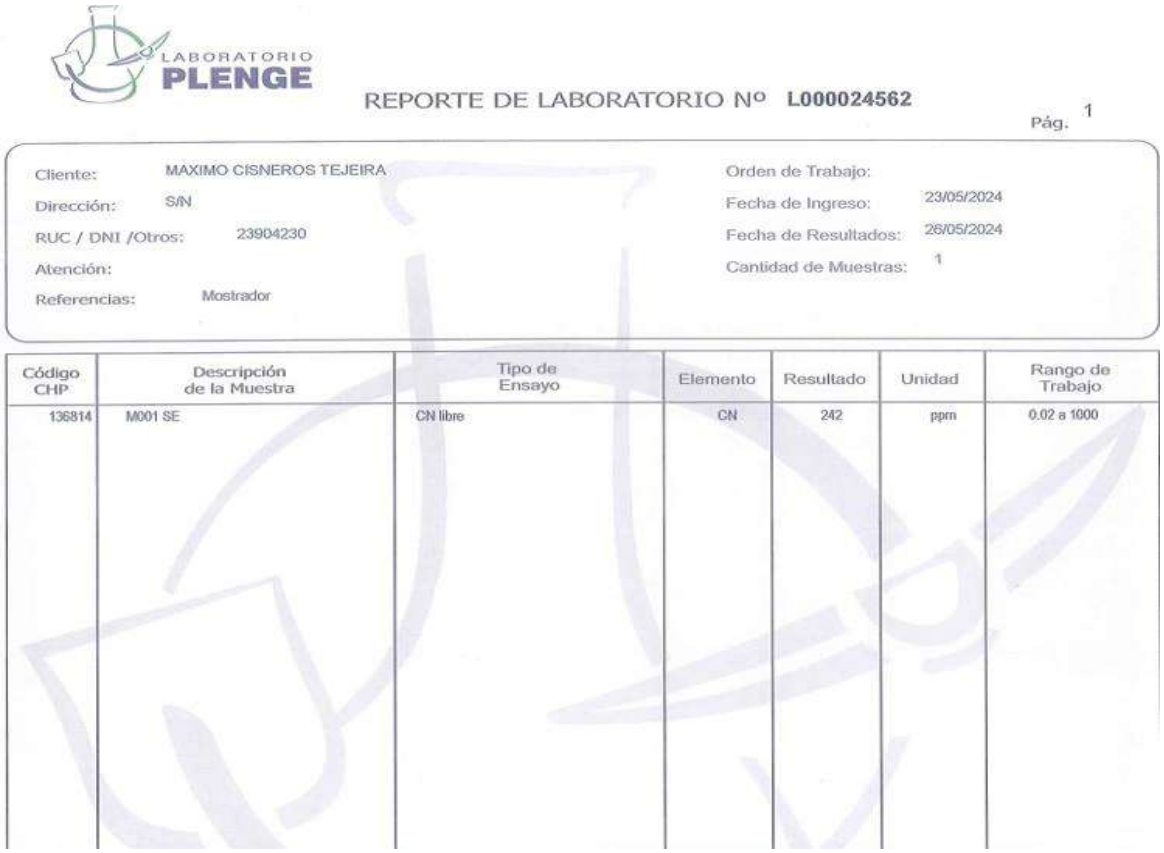
Indica la eficiencia del proceso (a menor ppm, mayor eliminación de contaminantes)

Variable controlada: volumen de la muestra (1L), el pH (10), concentración de cal (3gr/L), la temperatura (20°) y ozono (2gr/L)

4.1.5. Verificación del método de titulación a través de la comparación con los resultados obtenidos por el Laboratorio Plenge.

Con el propósito de verificar la confiabilidad de los resultados obtenidos en el laboratorio propio, se efectuó una comparación con los análisis proporcionados por el Laboratorio Plenge

Figura 14: *Reporte de laboratorio CN libre sin tratar*



LABORATORIO PLENGE

REPORTE DE LABORATORIO Nº **L000024562**

Pág. 1

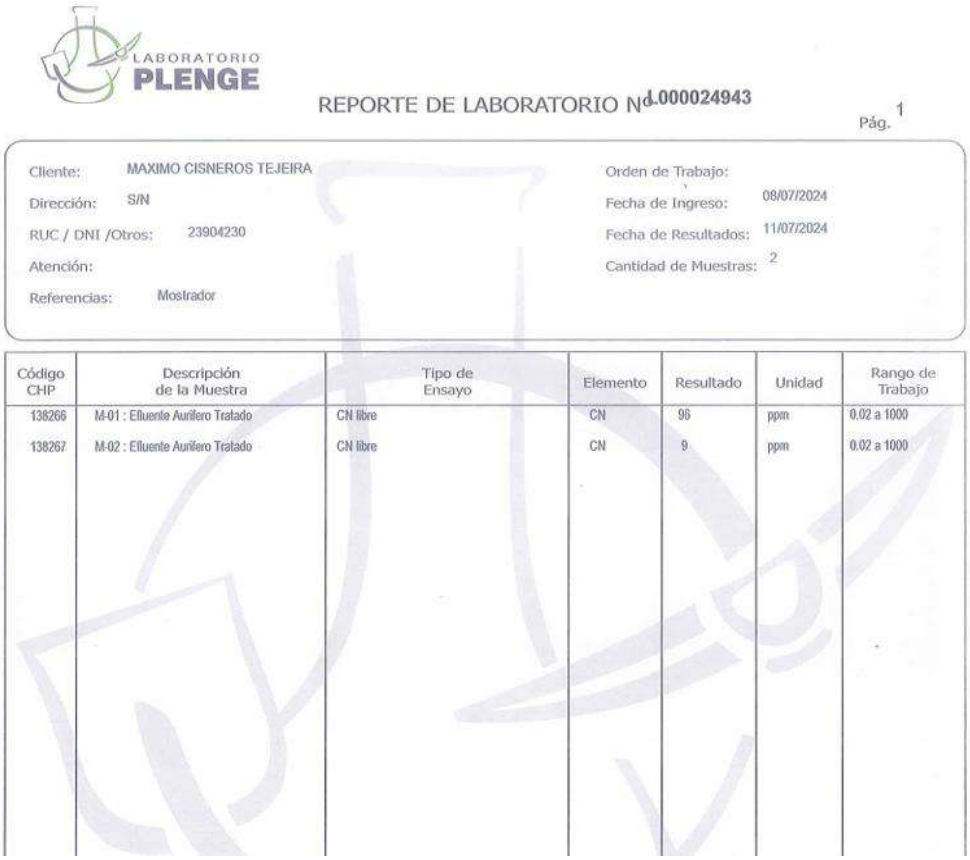
Cliente: MAXIMO CISNEROS TEJEIRA
Dirección: S/N
RUC / DNI /Otros: 23904230
Atención:
Referencias: Mostrador

Orden de Trabajo:
Fecha de Ingreso: 23/05/2024
Fecha de Resultados: 26/05/2024
Cantidad de Muestras: 1

Código CHP	Descripción de la Muestra	Tipo de Ensayo	Elemento	Resultado	Unidad	Rango de Trabajo
136814	M001 SE	CN libre	CN	242	ppm	0.02 a 1000

A continuación, se muestran los resultados comparativos de las concentraciones finales de cianuro obtenidas en ambas pruebas, con el propósito de evaluar la coherencia entre los métodos empleados y la eficacia del tratamiento aplicado al efluente aurífero.

Figura 15: *Reporte de laboratorio CN libre después del tratamiento*



LABORATORIO PLENGE

REPORTE DE LABORATORIO N° 000024943

Pág. 1

Cliente: MAXIMO CISNEROS TEJEIRA
Dirección: S/N
RUC / DNI /Otros: 23904230
Atención:
Referencias: Mostrador

Orden de Trabajo:
Fecha de Ingreso: 08/07/2024
Fecha de Resultados: 11/07/2024
Cantidad de Muestras: 2

Código CHP	Descripción de la Muestra	Tipo de Ensayo	Elemento	Resultado	Unidad	Rango de Trabajo
138266	M-01 : Efluente Aurífero Tratado	CN libre	CN	96	ppm	0.02 a 1000
138267	M-02 : Efluente Aurífero Tratado	CN libre	CN	9	ppm	0.02 a 1000

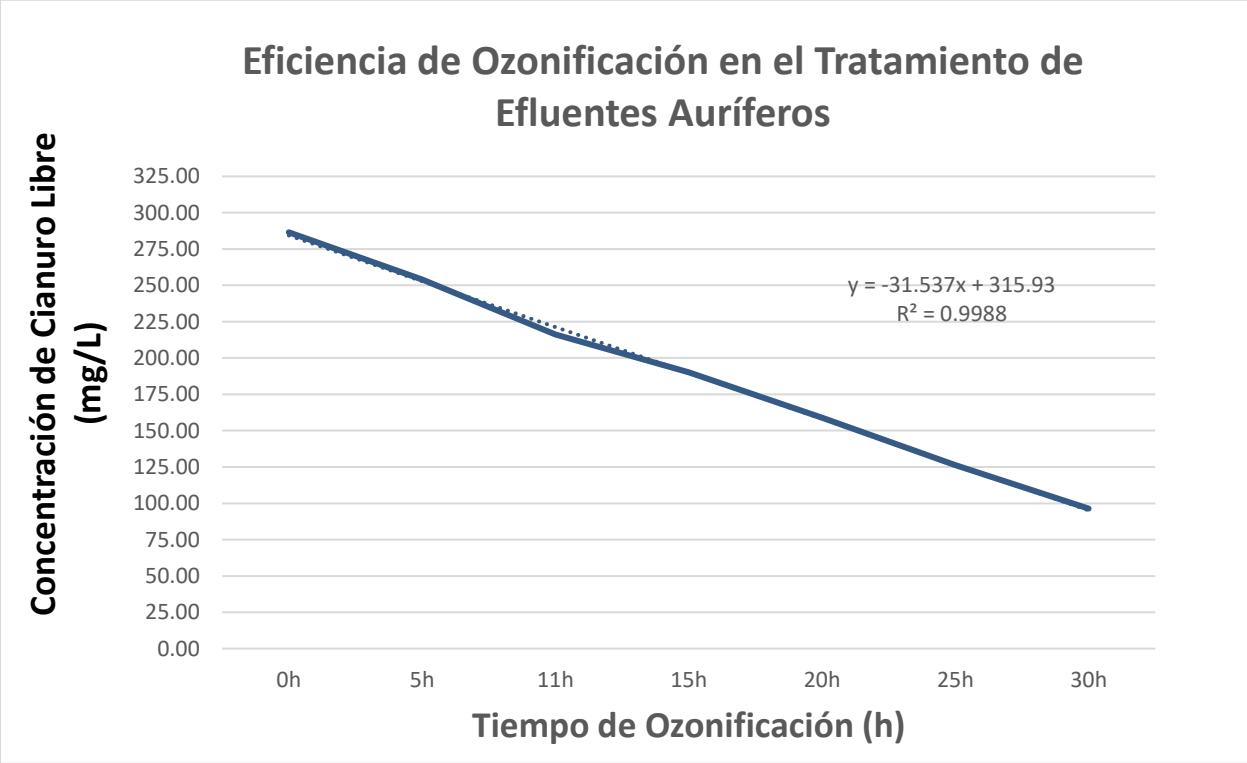
Conclusión final de los resultados obtenidos en comparación con los resultados del laboratorio Plenge

Los resultados obtenidos mostraron una alta similitud con los reportados por el Laboratorio Plenge (96 y 96.38 ppm), lo que demuestra la precisión del método empleado y la eficiencia del proceso de ozonificación.

Esta comparación respalda que el método de titulación con nitrato de plata nos da una validez y confiabilidad para el proyecto de la hidroponía con lechugas acuáticas

4.1.6. Representación gráfica de la variación de la concentración de cianuro con respecto al tiempo

Figura 16: *Eficiencia de Ozonificación en el Tratamiento de Efluentes Auríferos*



Del Figura podemos decir que el cianuro a determinación tiempo hay disminución del concentrado libre en la primera prueba se observa la disminución del cianuro

De la figura podemos interpretar los siguiente

- **Concentración inicial** 286.53
- **Concentración final**: 96.36
- **Tiempo trascurrido** :15 horas

4.1.7. Cinética de la Reacción

4.1.6.1. Velocidad Reacción del efluente

La velocidad de reacción corresponde a la variación de la concentración de un reactivo o

producto a lo largo del tiempo.

$$v = -\frac{\Delta[A]}{\Delta t}$$

$$v = \frac{286.53-96.36}{30}$$

$$v = 6.33(\frac{ppm}{h})$$

$\boldsymbol{v}$ =velocidad de reacción

$\boldsymbol{\Delta[A]}$=cambio de la concentración del reactivo

$\boldsymbol{\Delta t}$ = tiempo

En un lapso de 30 horas alcanzó una velocidad media de 6,34 unidades por hora. Estos resultados reflejan un desempeño adecuado, aunque aún existe potencial para optimizar su eficiencia

4.1.8. Porcentaje de remoción

El porcentaje de remoción es la medida que se utiliza para expresar que tan eficiente fue el proceso para reducir la concentración de una sustancia respecto a su valor inicial

$$\%\boldsymbol{Remocion} = \frac{\boldsymbol{286.53 - 96.36}}{\boldsymbol{286.53}}\boldsymbol{x100}$$

$$\%\boldsymbol{Remocion} = \boldsymbol{66.4}\%$$

Se obtuvo un 66.4% de remoción en 30 horas, lo que refleja una reducción significativa de la concentración inicial.

4.1.9. Ecuación de Velocidad de la reacción

La constante de velocidad de pseudo-primer orden es un parámetro cinético que indica qué tan rápido ocurre una reacción cuando uno de los reactivos (en este caso el ozono) está presente en gran exceso. Cuando el ozono está en exceso, la reacción se considera de pseudo primer orden respecto al contaminante C

$$-\frac{dC}{dt} = k_{obs}C$$

C=concentración del reactivo

t=tiempo

k_{obs}=constante de velocidad observada en la reacción

Integrando para un reactor batch:

$$ln(\frac{C_O}{C}) = k_{obs}t$$

Datos

C_O=286.53mg/L

C=96.36 mg/L

t=30 h

$$\frac{C_O}{C} = \frac{286.53}{96.36}$$

$$\frac{C_O}{C} = 2.972$$

Aplicando el logaritmo natural

$$\ln(2.972) = 1.090$$

$$k_{obs} = \frac{1.090}{30}$$

La constante de velocidad de pseudo-primer orden obtenida fue

$$k_{obs} = 0.0363\text{h}^{-1}$$

lo que indica que el proceso de ozonización presenta una cinética relativamente lenta, con un tiempo de vida media cercano a 19 horas para la reducción del contaminante.

4.1.10. Simulación del registro más bajo

Los resultados son positivamente acertados por lo que se desea calcular en cuanto tiempo se llevará a cabo la completa oxidación del efluente

Tabla 3

Registro más bajo (ppm/h)

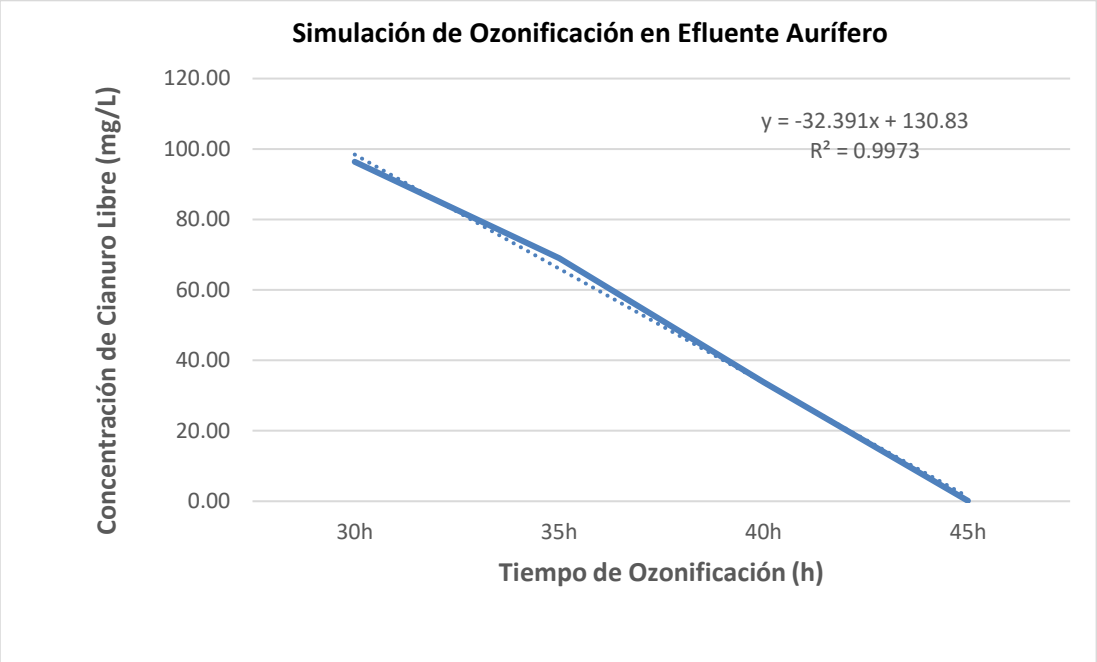
Simulación de ozonificación en efluente aurífero

Tiempo	Volumen LTS	PH	Temperatura	Cal	NaCL	O_3	$AgNO_3$	ppm
30h	1l	10.00	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	0.74	96.38
31h	1l	10	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	0.68	88.56
32h	1l	10	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	0.65	84.66
34h	1l	10	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	0.58	75.54
35h	1l	10	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	0.53	69.03
36h	1l	10	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	0.48	62.52
37h	1l	10	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	0.42	54.70
38h	1l	10	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	0.36	46.89
39h	1l	10	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	0.31	40.37
40h	1l	10	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	0.26	33.86
41h	1l	10	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	0.21	27.35
42h	1l	10	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	0.17	22.14
43h	1l	10	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	0.11	14.33

44h	1l	10	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	0.05	6.51
45h	1l	10	20,0°C	3gr	3gr/L	2gr/L	0.001	0.13

Los resultados obtenidos son la completa eliminación de concentración de cianuro(ppm) en 15 horas se redujo un 98.8% también podemos concluir que la ozonificaron es más efectivo través del tiempo (mayor tiempo de residencia)

Figura 17: *Simulación de Ozonización en efluente aurífero*



4.1.11. La velocidad de disminución del cianuro (ppm/h)

Según la tabla:

Concentración inicial 96.38

Concentración final :0.13

Tiempo trascurrido :15 horas

$$v = \frac{96.38 - 0.13}{15} = \frac{96.25}{15} = 6.41(\frac{ppm}{h})$$

Porcentaje de Remoción: 99.87%

La constante de velocidad de pseudo-primer orden

$$\boldsymbol{k_{obs}} = 0.262h^{-1}$$

4.2.Contrastación de hipótesis

4.2.1. Contrastación de hipótesis general

H_o El tratamiento con ozono no reduce significativamente la concentración de cianuro en efluentes auríferos de Chasqui tambo.

H_aEl tratamiento con ozono si reduce significativamente la concentración de cianuro en los efluentes auríferos de Chasqui tambo.

Tabla 4

Desviación y Error relativo %

Parámetro	Valor
Media (ppm)	191.46
σ (desviación estándar)	±54.9
Erro relativo (%)	28.7

En base a los resultados obtenidos, se puede rechazar la hipótesis nula (H_o), el cual se decía que el tratamiento con ozono no reduce significativamente la concentración de cianuro en los efluentes auríferos de Chasqui tambo, y se acepta la hipótesis alternativa (H_a). Confirmándose que la ozonificación es efectiva para la oxidación y disminución de cianuro

4.2.2. Contrastación de hipótesis especifica 1

Hipótesis nula H_{o1} :La concentración de cianuro en efluentes auríferos tratados con ozono no disminuye significativamente en comparación con efluentes no tratados

Hipótesis alternativa H_{a1}: La concentración de cianuro en efluentes auríferos tratados con ozono disminuye significativamente en comparación con efluentes no tratados

El ozono actúa como agente oxidante eficiente, dando una degradación de cianuro en efluentes auríferos reflejados en los resultados obtenidos, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa

4.2.3. Contrastación de hipótesis especifica 2

Hipótesis nula H_{o2}:la concentración de ozono no afecta significativamente la eficiencia de oxidación del cianuro a pH 10

Hipótesis alternativa H_{a2}:La concentración de ozono afecta a la eficiencia de oxidación del cianuro con un pH alcalino 10, siendo mayor la reducción con mayor concentración de ozono

Los resultados rechazan la hipótesis nula, siendo cierto que la concentración de ozono influye significativamente en la eficiencia de oxidación de cianuro, siendo cierto que es más efectiva cuando hay mayores concertaciones y tiempos de tratamientos con un pH alcalino

4.2.4. Contrastación de hipótesis especifica 3

Hipótesis nula H_{o3}:El tratamiento con ozono no genera subproductos menos tóxicos que el cianuro original, por lo que el efluente final no es significativamente más seguro para el medio ambiente.

Hipótesis alternativa H_{a3}:El tratamiento con ozono genera subproductos menos tóxicos lo que hace el efluente final sea más seguro para el medio ambiente

El proyecto de investigación se muestra que durante la oxidación de cianuro si se forma cianato, peor el cual es de menor toxicidad en comparación al cianuro que esto si confirma que reduce el riesgo de impacto ambiental, mejorando la seguridad ambiental de los efluentes auríferos tratados.

Capitulo V

Discusión

5.1. Discusión de resultados

Los resultados se ven que el tratamiento con ozono tiene un efecto significativamente en la reducción de cianuro en efluentes aurífero. La concentración empezó con 286.53 ppm que fue disminuyendo a lo largo del tiempo hasta 190.15 ppm primero a las 15 horas de a ver empezado el proyecto lo cual fue una degradación del cianuro positivamente por lo que se continuo hasta las 30 horas alcanzado unos 96.38 ppm tubo una eficiencia de reducción de 33,7% y 66.4% respectivamente.

Con los datos de la tabla 1 se pudo llegar a una conclusión que a mayor tiempo y con un pH sostenible alcalino de 10 el ozono tendrá una reducción de cianuro significativamente, esto respalda los estudios previos analizados que indica que el ozono puede degradar el cianuro de manera rápida y especialmente en condiciones controladas con pH alcalino.

Se estuvo analizando que el aumento la concentración de ozono podría ser clave para optimizar la eficiencia del tratamiento. En otro enfoque industrial podría ser mayor por las cantidades mayores de aplicación dándonos menos tiempo de tratamiento claro también controlando los subproductos generados esto garantizaría un equilibrio entre eficiencia y seguridad ambiental.

No solo el ozono es un agente de oxidación eficiente, sino que también permite formar cianato que es un subproducto menos tóxico que afecta contribuye a la disminución de riesgo ambiental. Esta información es respalda por la hipótesis de que el tratamiento cono ozono mejora la seguridad ambiental de los efluentes auríferos.

Capitulo VI

Conclusiones y recomendaciones

6.1.Conclusiones

Podemos concluir que el ozono es un muy buen agente oxidante y que, si es viable para el tratamiento de efluentes auríferos que son generados comúnmente por las plantas de lixiviación, el ozono también demostró ser un poco más eficaz amas tiempo de residencia.

El equipo ozonificador industrial demostró un eficiente desempeño tanto en la inyección de ozono como a nivel energético consumiendo unos 30 W. También con su amigable interfaz que permite un funcionamiento modo automático de inyección de ozono al tener unas medidas compactas permitió una lectura precisa para el proyecto.

La gran disminución de complejos metálicos y concentración de cianuro libre hacen posible el crecimiento de plantas naturales permitiendo una reutilización de recursos siendo amigable con el medio ambiente no generando más subproductos dañinos disminuyendo la huella ambiental del proceso minero.

La disminución de concentración va a la par de una buena condición de parámetros como es de un pH alcalino y la temperatura residencia se trata de estas variables sean constantes para una oxidación más eficiente atreves del tiempo la ventaja de este método es no se requiere reactivos secundarios solo energía eléctrica y maquinas especializadas para la inyección de ozono.

El tema seguridad se recomendaría una zona con una buena ventilación por los gases que genera la ozonificación, también como sensores de fuja de ozono y epp para la manipulación del equipo como guantes, mascarillas filtros para gases y lentes de seguridad.

Es altamente potencial para el método industrial por la limpieza y eficacia que demuestra

el ozono y por la automatización, los costos operativos pueden ser sustentados por la energía solar o eólica el ozono se descompondría en oxigeno que no dejaría residuos peligrosos.

Es altamente recomendado por método de tratamiento de efluentes tanto a nivel laboratorio como a nivel industrial los retos a superar sería los efluentes auríferos con residuos sólidos y también la construcción de equipos ozonificador nivel industrial más rentables.

6.2.Recomendaciones

De los resultados obtenidos utilizando el ozono industrial de 2gr/L se recomienda utilizar equipos que generen el ozono industrial con mayor flujo del ozono 5 a 10 gr L.

Se recomienda escalar a un proceso piloto utilizando mayor volumen de efluentes en tanques de agitación.

Se recomienda trabajar con los cuidados necesarios con el ozono por las quemaduras.

Se remienda usar filtro por el ozono es un gas toxico e irritante podría hacer daño irritación a la garganta tos y dolor de cabeza.

Recomendamos considerar los límites de ocupación oit/osha organización.

Capitulo VII

Bibliografia

Gómez, R. & Martínez, J. (2018). Evaluación del uso de ozono en la remediación de aguas residuales industriales en Perú. Revista de Tecnología Ambiental, 14(2), 75-89. https://doi.org/10.1234/rta.2018.14.2.75

Brown, T. & Zhang, H. (2015). The effectiveness of ozone in the treatment of cyanide-contaminated water in mining operations. Water Research, 72, 248-259. https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.11.010

Menne, D.M., 1997. Managing Cyanides in Waste Discharges

http://users.wantree.com.au/~menne/cnmanage.htm

López, A., & Rodríguez, C. (2018). Aplicación del ozono en el tratamiento de efluentes mineros contaminados con cianuro en Colombia. Revista Latinoamericana de Tecnología Química, 11(4), 180-195.

https://doi.org/10.2346/rltq.2018.11.4.180

Menne, D.M., 1997. Managing Cyanides in Waste Discharges

http://users.wantree.com.au/~menne/cnmanage.htm

Mudder, T.I. and Whitlock, J.L. (1984) Biological treatment of cyanidation waste waters. Minerals and Metallurgical Processing, pp. 161-165.

Nava, F., Soto H and Jara, J. 1993. Oxidation-Precipitation Method to Treat Cyanide Effluents, In: J.B. Hiskey and G.W. Warren 1993 (Eds.), Hydrometallurgy: Fundamentals, Technology and Innovation, Proc. Milton E.

Wadsworth International Symp., SME, Littleton, CO,, pp. 1199-1212.

Patil YB and Paknikar KM (2000b) Biodetoxification of silver-cyanide from electroplating

industry wastewater. Letters in Applied Microbiology 30: 33-37.

Patil Yogesh B (2006) Isolation of thiocyanate degrading chemoheterotrophic bacterial consortium. Nature Environment and Pollution Technology 5(1): 135-138.

Patil Yogesh B (2008a) Biodegradation of thiocyanate from aqueous waste by a mixed bacterial community. Research Journal of Chemistry and Environment 12(1): 69-75.

Patil Yogesh B (2008b) Thiocyanate degradation by pure and mixed bacterial cultures. Bioinfolet S(3): 308-309.

Patil Yogesh B (2011) Utilization of thiocyanate (SCN-) by a metabolically active bacterial consortium as the sole source of nitrogen. International Journal of Chemical, Environmental & Pharmaceutical Research, 2: 44-48.

Young. C.A., Cashin, S.P. y Diebold, F.E. 1995a. Photolysis for cyanide and nitrate remediation of water. In: M. Mista (Ed), Separation processes: heavy metals, ion and minerals, TMS, Warrendale (Pennssylvania), 61-80.

Young, C.A., Cashin, S.P. & Jordan, T.S. 1995b. Remediation technologies for the separation and destruction of aqueous cyanide species. Preprint N° 96-149, SME,Littleton, CO.

Young, C.A. y Cashin, S.P.1996. Photolytic remediation of free and metal-complexed cyanides. Presentación en el SME Annual Meeting, Phoenix (Arizona).

Sosa Vilca, R. G., & Argota Pérez, G. (2017). Predicción ecotoxicológica ante concentraciones no deseadas de cianuro libre en efluentes mineros-auríferos. *Revista Campus*, *22*(24), 179-186. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8625502

Aranguri LLerena, G., & Reyes López, I. A. (2018). Degradación del cianuro de efluente minero usando dos reactivos: metabilsulfito de sodio y la mezcla metabisulfito con peróxido de hidrógeno. *TECCIENCIA, 13*(25), 70-79.

https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6812762

Rodriguez-Rodriguez, C. de J., Salas-Puente, G., Baltazar-Vera, J. C., Valtierra-Olivares, J. E., & Alonso-Gonzalez, O. (2021). Consumo de cianuro de concentrado de pirita aurífera, empleando ozono como pretratamiento. *EPISTEMUS: Ciencia, Tecnología y Salud*, *15*(31), 3. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8451407

Hernandez Viveros, J. A. (2019). Desarrollo del proceso de degradación de cianuro procedente de la lixiviación de plata a partir de oxidación con ozono-cloruro de sodio [Tesis de maestría, Universidad Autónoma Metropolitana]. Zaloamati. https://zaloamati.azc.uam.mx/handle/11191/6113

Garza-Román, M. R., Carrillo-Pedroza, F. R., Soria-Aguilar, M. de J., & Picazo-Rodríguez, N. G. (2021). Descomposición de cianuro usando ozono y óxidos de hierro. *Epistemus (Sonora)*, *15*(31), 63. https://doi.org/10.36790/epistemus.v15i31.202

Cuzcano Cortéz, I. M. (s. f.). Tratamiento de efluentes excedentes de procesos auríferos y polimetálicos [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorios Latinoamericanos. https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/2353103

Anexos










DLAB
Overload
Power




AGITADOR DE HÉLICE
AGITADOR DE HÉLICE


933

