

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Evaluación del balance hídrico de la cuenca del  
río Quesermayo, Cusco, 2022**

Ana Luisa Blas Uman

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## **INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TESIS**

**A** : Felipe Gutarra Meza  
Decano de la Facultad de Ingeniería

**DE** : José Vladimir Cornejo Tueros  
Asesor de tesis

**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de tesis

**FECHA** : 11 de Febrero de 2024

---

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulada: "REMOCIÓN DE COBRE APLICANDO PRECIPITACIÓN QUÍMICA A EFLUENTES MINEROS PROVENIENTES DE LA LIXIVIACIÓN DE ORO A ESCALA DE LABORATORIO", perteneciente al/la/los/las estudiante(s) FRANCO THOMAS BAZAN GAMBOA; JOSE ADOLFO SULCA BARRIENTOS; IMER WALDIR SILVESTRE MORALES, de la E.A.P. de INGENIERÍA AMBIENTAL; se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 20 % de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores (Nº de palabras excluidas: 15 ) SI  NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

En consecuencia, se determina que la tesis constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad.

Recae toda responsabilidad del contenido de la tesis sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios de legalidad, presunción de veracidad y simplicidad, expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI y en la Directiva 003-2016-R/UC.

Esperando la atención a la presente, me despido sin otro particular y sea propicia la ocasión para renovar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,

**La firma del asesor obra en el archivo original**  
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

## **DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD**

Yo, FRANCO THOMAS BAZAN GAMBOA, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 73605420, de la E.A.P. de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: "REMOCIÓN DE COBRE APLICANDO PRECIPITACIÓN QUÍMICA A EFLUENTES MINEROS PROVENIENTES DE LA LIXIVIACIÓN DE ORO A ESCALA DE LABORATORIO", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

11 de Febrero de 2024.

**La firma del autor y del asesor obra en el archivo original**  
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

## **DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD**

Yo, IMER WALDIR SILVESTRE MORALES, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 73370346, de la E.A.P. de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

5. La tesis titulada: "REMOCIÓN DE COBRE APLICANDO PRECIPITACIÓN QUÍMICA A EFLUENTES MINEROS PROVENIENTES DE LA LIXIVIACIÓN DE ORO A ESCALA DE LABORATORIO", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.
6. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
7. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
8. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

11 de Febrero de 2024.

**La firma del autor y del asesor obra en el archivo original**

**(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)**

## **DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD**

Yo, JOSE ADOLFO SULCA BARRIENTOS, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 76599060, de la E.A.P. de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

9. La tesis titulada: "REMOCIÓN DE COBRE APLICANDO PRECIPITACIÓN QUÍMICA A EFLUENTES MINEROS PROVENIENTES DE LA LIXIVIACIÓN DE ORO A ESCALA DE LABORATORIO", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.
10. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
11. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
12. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

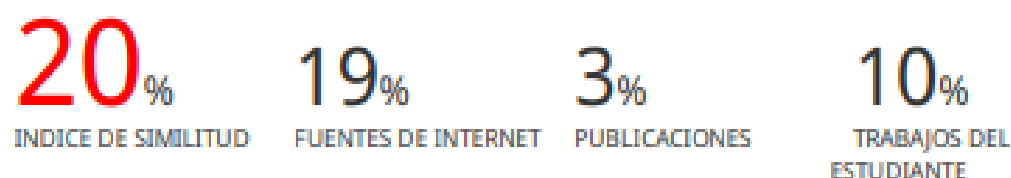
11 de Febrero de 2024.

**La firma del autor y del asesor obra en el archivo original**

**(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)**

# REMOCIÓN DE COBRE APLICANDO PRECIPITACIÓN QUÍMICA A EFLUENTES MINEROS PROVENIENTES DE LA LIXIVIACIÓN DE ORO A ESCALA DE LABORATORIO

## INFORME DE ORIGINALIDAD



## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>repositorio.uncp.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>6%</b>
<b>2</b>	<b>Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru</b> Trabajo del estudiante	<b>3%</b>
<b>3</b>	<b>repositorio.continental.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>repositorio.unfv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>www.slideshare.net</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>repositorio.unap.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>8</b>	<b>qdoc.tips</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>

9	<a href="https://dspace.unitru.edu.pe">dspace.unitru.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
10	<a href="http://www.rlmm.org">www.rlmm.org</a> Fuente de Internet	<1 %
11	<a href="https://repositorio.unjbg.edu.pe">repositorio.unjbg.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
12	Submitted to Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC Trabajo del estudiante	<1 %
13	<a href="http://perso.univ-lyon2.fr">perso.univ-lyon2.fr</a> Fuente de Internet	<1 %
14	<a href="https://repositorio.unjfsc.edu.pe">repositorio.unjfsc.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
15	<a href="http://idoc.pub">idoc.pub</a> Fuente de Internet	<1 %
16	<a href="http://digibuo.uniovi.es">digibuo.uniovi.es</a> Fuente de Internet	<1 %
17	<a href="http://core.ac.uk">core.ac.uk</a> Fuente de Internet	<1 %
18	<a href="https://repositorio.utmachala.edu.ec">repositorio.utmachala.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
19	Submitted to Corporación Universitaria Minuto de Dios, UNIMINUTO Trabajo del estudiante	<1 %



20	<a href="http://www.buenastareas.com">www.buenastareas.com</a> Fuente de Internet	<1 %
21	Submitted to Escuela Politecnica Nacional Trabajo del estudiante	<1 %
22	Bellotti, Mirta Liliana. "Mineria a cielo abierto versus glaciares en alerta roja en Argentina", AMS Acta - AlmaDL Università di Bologna, 2011. Publicación	<1 %
23	<a href="http://bibdigital.epn.edu.ec">bibdigital.epn.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
24	<a href="http://www.judicatura.com">www.judicatura.com</a> Fuente de Internet	<1 %
25	<a href="http://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx">www.jovenesenlaciencia.ugto.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
26	<a href="http://www.sabiia.cnptia.embrapa.br">www.sabiia.cnptia.embrapa.br</a> Fuente de Internet	<1 %
27	<a href="http://www.scielo.cl">www.scielo.cl</a> Fuente de Internet	<1 %
28	<a href="http://repositorio.unsa.edu.pe">repositorio.unsa.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
29	Submitted to Prairie View A&M University Trabajo del estudiante	<1 %
30	Submitted to Ana G. Méndez University Trabajo del estudiante	<1 %

31	<a href="https://es.scribd.com">es.scribd.com</a> Fuente de Internet	<1 %
32	Submitted to Universidad Anahuac México Sur Trabajo del estudiante	<1 %
33	<a href="https://chemwatch.net">chemwatch.net</a> Fuente de Internet	<1 %
34	E.A. Oraby, J.J. Eksteen. "Gold leaching in cyanide-starved copper solutions in the presence of glycine", Hydrometallurgy, 2015 Publicación	<1 %
35	<a href="https://documentop.com">documentop.com</a> Fuente de Internet	<1 %
36	<a href="https://repositorioinstitucional.uaslp.mx">repositorioinstitucional.uaslp.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
37	<a href="https://scielo.sld.cu">scielo.sld.cu</a> Fuente de Internet	<1 %
38	<a href="https://www.ciberisciii.es">www.ciberisciii.es</a> Fuente de Internet	<1 %
39	<a href="https://doku.pub">doku.pub</a> Fuente de Internet	<1 %
40	<a href="https://vdocuments.es">vdocuments.es</a> Fuente de Internet	<1 %
41	<a href="https://www.acodal.org.co">www.acodal.org.co</a> Fuente de Internet	<1 %

42	Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
43	dokumen.pub Fuente de Internet	<1 %
44	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
45	repositorio.uniautonoma.edu.co Fuente de Internet	<1 %
46	repositorio.unid.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
47	saltillo.tecnm.mx Fuente de Internet	<1 %
48	www.cyantists.com Fuente de Internet	<1 %
49	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía

Activo

**ASESOR:**

Dr. José Vladimir Cornejo Tueros

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, en el cual depositamos nuestra fe y encomendamos para que todos nuestros sueños se cumplan.

A nuestros padres quienes fueron el motivo de superación y soporte para seguir adelante.

A la Universidad Continental por darnos la oportunidad de consolidar nuestro conocimiento y aprendizajes a través de este proyecto

Al Dr. José Cornejo Tueros, por asesorarnos en el proceso de esta investigación.

Al Dr. Elías Adrián Sanabria Pérez por el apoyo en el proceso de esta investigación.

## **DEDICATORIA**

Dedicamos este trabajo a nuestros padres y familiares quienes siempre confiaron en nosotros en todo momento y nos brindaron consejos para que podamos lograr nuestro objetivo profesional.

## ÍNDICE GENERAL

ASESOR:	xi
AGRADECIMIENTOS	xii
DEDICATORIA	xiii
ÍNDICE GENERAL	xiv
ÍNDICE DE TABLAS	xvi
ÍNDICE DE FIGURAS	xvii
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xix
INTRODUCCIÓN	xx
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	1
1.1. Planteamiento y Formulación del Problema	1
1.1.1. Planteamiento del Problema	1
1.1.2. Formulación del Problema	3
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo general	3
1.2.2. Objetivos específicos	3
1.3. Justificación e importancia	4
1.3.1. Justificación Ambiental	4
1.3.2. Justificación teórica	4
1.3.3. Justificación metodológica	4
1.3.4. Justificación practica	5
1.4. Hipótesis y variables	5
1.4.1. Hipótesis general	5
1.4.2. Hipótesis específicas	5
1.4.3. Variables	5
1.5. Operacionalización de variables	6
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	7
2.1. Antecedentes del Problema	7
2.1.1. Antecedentes internacionales	7
2.1.2. Antecedentes nacionales	10
2.2. Bases Teóricas	11
2.2.1. El cianuro de sodio	11
2.2.2. Cianuración de oro de minerales con contenido de cobre	14
2.2.3. Presencia del cobre en la explotación del oro	15
2.2.4. Presencia de cobre en los lixiviados de oro	16

2.2.5.	Características del cianuro	17
2.2.6.	Toxicidad del cianuro	17
2.2.7.	Química del Cianuro Libre	19
2.2.8.	Usos industriales del cianuro	22
2.2.9.	Uso del cianuro en la producción de oro	24
2.2.10.	Residuos de cobre en la lixiviación de oro	26
2.2.11.	Regeneración del cianuro de sodio en la reutilización en la lixiviación de oro	27
2.2.12.	Presencia de cobre en la solución de cianuro de sodio	28
2.2.13.	Problemas producidos por el cianuro de sodio	29
2.2.14.	Efecto del cobre en el medio ambiente	30
CAPÍTULO III METODOLOGÍA		32
3.1.	Método, tipo y nivel de investigación	32
3.1.1.	Métodos de la investigación	32
3.1.2.	Tipo de la investigación	33
3.1.3.	Nivel de la investigación	34
3.2.	Diseño experimental	34
3.3.	Población y muestra	35
3.3.1.	Mecanismo de la precipitación de cobre con especies de amonio cuaternario	36
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	37
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN		42
4.1.	Datos colectados en ensayos experimentales.	42
4.2.	Porcentaje de cobre eliminado por precipitación.	43
4.3.	Evaluación estadística de los efectos de los tres factores	45
CONCLUSIONES		49
RECOMENDACIONES		50
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		51
ANEXOS		55
Anexo 01: Certificado de calibración del equipo ICP		55
Anexo 02: Panel fotográfico de la fase de la experimentación.		59
Anexo 03: Resultado de análisis de laboratorio.		65
Anexo 04: Matriz de consistencia.		67



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	6
Tabla 2. Esquema del diseño experimental .....	35
Tabla 3. Sustancias que se utilizaron para preparar la solución sintética cianurada .....	36
Tabla 4. Concentración de cobre disuelto en solución filtrada.....	42
Tabla 5. Tanto por ciento de cobre eliminado por precipitación .....	43
Tabla 6. Resumen de análisis de varianza .....	45

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Relación entre HCN y CN en función del pH.....	20
Figura 2: Uso industrial del cianuro.....	23
Figura 3: Fases de los experimentos de precipitación.....	40
Figura 4. Representación tridimensional con variables: dosis de amonio cuaternario y pH ....	44
Figura 5. Representación tridimensional con variables: temperatura y dosis de amonio cuaternario .....	44
Figura 6. Grafica tridimensional de superficie. Factores pH y temperatura.....	45
Figura 7. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados .....	46
Figura 8. Representación grafica normal de efectos de los factores.....	47
Figura 9. Representación de efectos principales .....	48
Figura 10. Representación de efectos de interacciones.....	48

## RESUMEN

Los efluentes de operaciones en plantas mineras dedicadas a la lixiviación de oro poseen cantidades altas de cobre disuelto, como una molécula cupro cianurada. En el proceso es posible reciclar esta solución, previamente separando al cobre del mismo. Por esta razón, en esta investigación, se estudió el efecto que ocasionan la dosis de amonio cuaternario; adicionadas a soluciones similares a los efluentes, la temperatura y el pH de los mismos, en la precipitación química de cobre con el fin de removerlo. Para tal efecto, se realizaron pruebas a escala de laboratorio con soluciones preparadas artificialmente, a concentración de cobre y cianuro, parecidas a la de los efluentes. Se aplicó como estrategia experimentación el diseño factorial de tres factores, cuyos niveles fueron: para dosis de amonio cuaternario 2 y 7 g/L, para temperatura 17 y 20 °C, y, para el pH de la solución cianurada 8 y 10. La observación del efecto en cada ensayo se realizó en el porcentaje de cobre removido que se alcanzó después del proceso de precipitación química. Los resultados de las pruebas mostraron que, partiendo de una concentración de cobre de 700 ppm y, cianuro de 2500 ppm, se alcanzó a remover un 94 % de cobre; esto, con una dosis de amonio cuaternario de 7 g/L, temperatura de 20 °C y pH de 8. En relación con los efectos de cada factor, se concluye que, cuando se incrementan la dosis del amonio cuaternario o la temperatura de la solución, conlleva a un aumento del cobre removido. Y, al incrementar el pH disminuye la remoción de este metal.

**PALABRAS CLAVE:** Precipitación química, cobre, efluentes, lixiviación de oro

## ABSTRACT

Effluents from gold leaching plants have high amounts of dissolved copper as a cuprocyanide molecule. In the process it is possible to recycle this solution, previously separating the copper from it. For this reason, in this research, the effect of the quaternary ammonium doses added to solutions similar to the effluents, the temperature and pH of the same, on the chemical precipitation of copper to remove it, was studied. For this purpose, laboratory scale tests were carried out with artificially prepared solutions, at copper and cyanide concentrations similar to those of the effluents. The experimental strategy applied was a three-factor factorial design, whose levels were: for quaternary ammonium doses 2 and 7 g/L, for temperature 17 and 20 °C, and for the pH of the cyanide solution 8 and 10. The observation of the effect in each test was made on the percentage of copper removed that was reached after the chemical precipitation process. The results of the tests showed that, starting from a copper concentration of 700 ppm and cyanide of 2500 ppm, 94 % of copper was removed; this, with a quaternary ammonium dose of 7 g/L, temperature of 20 °C and pH of 8. In relation to the effects of each factor, it is concluded that, when the quaternary ammonium dose or the temperature of the solution is increased, it leads to an increase in the copper removed. And increasing the pH decreases the removal of this metal.

**KEY WORDS:** chemical precipitation, copper, effluents, gold leaching.

## INTRODUCCIÓN

En procesos de lixiviación de oro y plata, metales preciosos, es utilizado ampliamente el ion cianuro, como parte del proceso de extracción de sus minerales. Básicamente se emplean soluciones de cianuro con pH alcalino y diluidas. Una situación particular que se presenta con sus minerales es la presencia de importantes cantidades de minerales de cobre como la azurita, malaquita, cuprita, calcosina, covellita, bournita, entre otros. La presencia de estos minerales de cobre en conjunto con los de oro, provocan que, en el proceso de lixiviación de oro, se utilice cantidades mayores de solución cianurada, así como también, a elevadas concentraciones. Este consumo adicional de soluciones cianuradas también es acompañado por otra situación problemática que es la contaminación del Dore obtenido, la contaminación del carbón activado, producto de las moléculas de sustancias complejas de cobre que se forman durante el proceso de lixiviación. Además de ello, estas sustancias complejas de cobre cianuro, imposibilitan el reúso o reciclaje de la solución para ser usado nuevamente en el proceso.

Con relación a estas situaciones descritas, en la revisión bibliográfica, se encuentra información sobre el desarrollo de técnicas y estrategias que permiten superar estas dificultades que ocasiona la presencia del cobre en las soluciones cianuradas producto de la lixiviación. Entre ellas se puede indicar a la “acidificación-volatilización-regeneración” (1), sulfidización-acidificación-regeneración "SART", intercambio iónico-electrólisis, la electro obtención (3) y la rizofiltración (5).

Por otro lado, se sabe que, originalmente, para concentrar complejos aurocianurados de soluciones diluidas, fue propuesto el método de extracción por solventes, que emplea sustancias orgánicas como agentes extractantes, entre ellos las sales de amonio cuaternario (7). Entonces, dado que la extracción del metal es posible mediante las sales de amonio, representa una alternativa muy interesante para la separación del cobre, además de presentar una buena selectividad y afinidad de extracción (9). Las especies metálicas pueden extraerse de la solución orgánica mediante la adición de soluciones alcalinas o ácidas, dependiendo del extractante utilizado (9)

Esta investigación se orienta a estudiar el problema descrito en la extracción de oro por lixiviación, específicamente con la presencia de cobre que genera soluciones complejas de cobre cianuradas. Por ello, el objetivo de la investigación es encontrar una solución técnica y ambiental a este problema mediante la aplicación de "Tecnologías Limpias" en el proceso productivo. Esto implica regenerar el cianuro eliminando el cobre de la solución, lo que

permitirá su reciclaje y reutilización en el proceso de lixiviación del oro. Además, esto ayudará a reducir la presencia de cianuro y cobre en los relaves, lo que conducirá a evitar impactos negativos al entorno del proceso productivo. Se espera que esto tenga un impacto económico y ambiental positivo en la industria minera.

El informe está estructurado en cinco capítulos. El primer capítulo proporciona el análisis de la problemática generada por la contaminación de lixiviados de cianuro de sodio juntamente con el cobre y la necesidad de minorar su descarga al medio ambiente, en el segundo capítulo se muestran los antecedentes y fundamentos teóricos que respaldan el tema de la investigación. El tercer capítulo describe el diseño metodológico que se aplicó para recopilar datos y evaluar los efectos. El cuarto capítulo presenta los resultados obtenidos, el quinto las conclusiones y recomendaciones extraídas del análisis final de los resultados de investigación.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

### 1.1. Planteamiento y Formulación del Problema

#### 1.1.1. Planteamiento del Problema

El problema ambiental causado por la contaminación del agua, aire y suelo debido al tratamiento de minerales auríferos surge debido a las grandes cantidades de cianuro de sodio utilizadas en los procesos de lixiviación, así como los residuos resultantes en forma de compuestos de cianuro una vez que han completado su ciclo de lixiviación. Estos residuos se convierten en un área de investigación crucial debido a la necesidad de reducir la producción de cianuro libre para los procesos de lixiviación de metales preciosos. Una solución propuesta es emplear el método de regeneración del cianuro para restaurar sus propiedades originales y permitir su reutilización en nuevos ciclos de lixiviación de oro o plata. Este proceso reduce la cantidad de residuos de cianuro remanentes, eliminando la necesidad de tratarlos antes de ser liberados al medio ambiente. En muchas regiones del mundo, donde las tasas de destrucción del cianuro han sido bajas, esto ha generado importantes problemas ambientales.

Los problemas más frecuentes relacionados con la contaminación por cianuro ocurren durante las operaciones, y estos incidentes pueden tener lugar durante el transporte o en las instalaciones mineras debido a factores climáticos como la nieve, las tormentas, etc., así como por movimientos del suelo o fallas en los equipos. Uno de los accidentes más catastróficos fue el desastre de Baia Mare en Rumania en enero de 2000 (2), donde un derrame de cianuro afectó a tres países: Hungría, Rumania y Yugoslavia. Este incidente impactó el suministro de agua potable para 2,5 millones de personas y afectó a más de un millón y medio de personas que dependen del turismo, la agricultura y la pesca a lo largo del río Tisza. Además, en el estado de Montana, EE. UU., se prohíbe el uso de cianuro en la lixiviación de oro debido a la contaminación causada en el suelo, el aire y el agua como resultado de 50 escapes de cianuro entre los años 1982 y 1998 (año en que se implementó la prohibición). La contaminación de las aguas subterráneas es uno de los problemas más prevalentes en este contexto.

El oro es un elemento que se encuentra naturalmente en la Tierra, y su concentración promedio es de aproximadamente 4 mg por tonelada (partes por billón) en la corteza terrestre y 0.01 mg por metro cúbico en el mar. En diversas minas alrededor del mundo, se extrae oro de minerales que contienen entre 0.5 y 13.7 gramos por tonelada de roca, utilizando métodos físicos y químicos para su recuperación. La mayoría de las minas de oro, donde es posible obtener el metal mediante procesos mineros convencionales, se encuentran actualmente agotadas.

La capacidad de recuperar cianuro de los residuos de las plantas de procesamiento de oro ha sido conocida desde que se comenzó a utilizar el proceso de cianuración. Sin embargo, en el pasado, había pocos incentivos para tratar los residuos de esta manera. Con el avance de tecnologías que permiten la recuperación y el reciclaje de cianuro libre o en forma de compuestos directamente de los residuos líquidos de las plantas de oro, se han identificado ahorros significativos en costos en comparación con la destrucción del cianuro. Además, la introducción de legislación que restringe en gran medida la descarga de cianuro al medio ambiente en la mayoría de las regiones productoras de metales preciosos en el mundo ha generado un mayor interés en la opción de recuperación de cianuro por parte de muchas empresas. Esta opción no solo tiene un impacto económico positivo en la industria, sino que también permite producir menos cianuro para la lixiviación de oro y plata, manteniéndolo dentro del proceso productivo durante más tiempo sin generar residuos tóxicos y peligrosos que puedan afectar la salud y el medio ambiente.

Un patrón habitual en las plantas de cianuración es que, al inicio de la operación, se logra una buena disolución y recuperación de oro y plata, pero con el tiempo, generalmente después de unas semanas, la eficiencia de extracción disminuye. Este problema es común en minerales que contienen cobre soluble, como la calcocita, bornita, malaquita, azurita, covelita y cuprita. En la práctica de cianuración convencional, donde la solución de cianuro se recircula, se considera que la solución se contamina a medida que la concentración de cobre aumenta, lo que deteriora la eficiencia de extracción de oro y plata. Esto representa una desventaja económica, ya que se requiere un consumo excesivo de cianuro para mantener una lixiviación adecuada de los metales preciosos.

En este estudio de investigación, se busca eliminar el cobre de soluciones cianuradas con el objetivo de regenerarlo, considerando tanto aspectos productivos como ambientales. Se evaluarán los niveles de remoción de cobre de soluciones sintéticas que sean similares a los licores industriales con alta concentración de cobre, utilizando el amonio cuaternario como agente precipitante del cobre. El propósito es encontrar una solución eficiente para reducir la presencia de cobre en estas soluciones, lo que tendría beneficios tanto en términos de aprovechamiento productivo como en la protección del medio ambiente.

Es importante destacar que la recuperación de cobre como un valioso subproducto tiene el potencial de generar beneficios significativos tanto desde el punto de vista económico como ambiental. Al aprovechar este subproducto, se puede obtener un valor adicional y contribuir a la sostenibilidad económica de la operación. Además, al recuperar el cobre, se evita su descarga al medio ambiente, lo que reduce el impacto ambiental negativo y promueve prácticas más responsables y sostenibles en la industria. Esta recuperación de cobre como subproducto



representa una oportunidad para optimizar la eficiencia de los procesos y maximizar los beneficios económicos y ambientales en la operación.

## **1.1.2. Formulación del Problema**

### **1.1.2.1. Problema general**

¿Como es el efecto que ejerce el nivel de dosificación de amonio cuaternario, pH y temperatura, en la remoción de cobre de efluentes sintéticos mineros de la lixiviación de oro por precipitación química?

### **1.1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cuál es la caracterización de los efluentes de la lixiviación de oro a nivel de laboratorio?
- ¿Cómo influye la dosificación del amonio cuaternario en la remoción de cobre de las soluciones sintéticas de lixiviación de oro?
- ¿Cuál es el efecto del pH de la solución sintética de lixiviación de oro en la remoción del cobre?
- ¿Cuál es el efecto de la temperatura de la solución sintética de lixiviación de oro en la remoción del cobre?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Explicar el efecto que ejerce el nivel de dosificación de amonio cuaternario, pH y temperatura, en la remoción de cobre de efluentes sintéticos mineros de la lixiviación de oro por precipitación química.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Determinar las características de los efluentes de la lixiviación de oro a nivel de laboratorio.
- Evaluar la influencia de la dosificación del amonio cuaternario en la remoción de cobre de las soluciones sintéticas de lixiviación de oro.
- Evaluar el efecto del pH en la remoción del cobre en la solución sintética minera de lixiviación de oro.
- Evaluar el efecto de la temperatura de la solución sintética de lixiviación de oro en la remoción del cobre.

### **1.3. Justificación e importancia**

#### **1.3.1. Justificación Ambiental**

Desde el punto de vista ambiental, el desarrollo de esta investigación se justifica por la razón de que con los resultados se dispondrá una alternativa a elegir para la reducción de efluentes tóxicos que impactan al negativamente al medio ambiente. Pues en las restricciones ambientales que la industria minera-metalúrgica debe cumplir, prohíben la descarga de efluentes que contengan sustancias peligrosas, como el cianuro y el cobre en solución, en cuerpos receptores. Esto es especialmente importante porque muchos de estos cuerpos receptores, que en su mayoría son corrientes de agua, son utilizados aguas abajo por comunidades para actividades como la ganadería, agricultura y consumo humano. La presencia de estas sustancias puede tener impactos negativos tanto en la salud de la población como en el medio ambiente.

Además, es crucial destacar que las empresas mineras tienen la responsabilidad de reducir sus costos para hacer sus procesos de extracción de metales preciosos más rentables, debido a la competencia y las demandas de los mercados internacionales.

#### **1.3.2. Justificación teórica**

Esta investigación en el aspecto teórico se justifica, pues genera conocimientos y datos que profundizan y respaldan la comprensión de la influencia de tres variables que son la dosificación de amonio cuaternario, pH y temperatura en el proceso de precipitación de cobre en soluciones que se encuentra como sustancias complejas cuprocianuradas, los cuales son típicos de los efluentes de proceso de lixiviación de minerales de oro. Y, en esta investigación, se enfatiza el estudio del problema del cobre en soluciones cianuradas desde una perspectiva experimental, apoyados en varios conceptos de precipitación selectiva.

#### **1.3.3. Justificación metodológica**

La adopción de una metodología es muy importante para asegurar la validez y confiabilidad de los resultados. Por ello, en esta investigación, se evaluó el método de precipitación de cobre, manipulando las tres variables indicadas en la sección de justificación teórica, para separarlo de los iones cianuro. Esta evaluación fue realizada aplicando un diseño factorial, que permitió hacer todas las posibles combinaciones con los niveles de cada variable, lo cual constituye una justificación y ventaja a nivel metodológico.

### **1.3.4. Justificación practica**

La calidad del agua de cuerpos receptores es un tema de creciente preocupación, debido a su fuerte impacto en el medio ambiente y, a que según el uso que se le da, puede afectar la salud humana. Niveles elevados de metales pesados y cianuros en agua, repercuten negativamente en enfermedades, pues son altamente tóxicos. Por ello, esta investigación se justifica por razones prácticas, debido a que con su aplicación es posible la implementación de tecnologías limpias, lo cual representa un desafío para la generación actual y futura de ingenieros. El objetivo es desarrollar actividades extractivas de los recursos naturales sin dañar el entorno ecológico, asegurando un futuro sostenible y brindando mejores perspectivas para las generaciones venideras.

## **1.4. Hipótesis y variables**

### **1.4.1. Hipótesis general**

“A medida que la dosis de amonio cuaternario, pH y temperatura se incrementa, el porcentaje de remoción de cobre por precipitación química de efluentes sintéticos mineros también aumenta”

### **1.4.2. Hipótesis específicas**

- La concentración del cobre en los efluentes mineros de la lixiviación de oro preparados a nivel de laboratorio es equivalente a los licores industriales utilizados para la extracción de metales preciosos.
- La variación de la dosificación del amonio cuaternario influye en la remoción del cobre de los efluentes mineros preparados en laboratorio.
- La variación del pH influye en la remoción del cobre en los efluentes mineros sintéticos de la lixiviación de oro.
- La variación de la temperatura ejerce un efecto sobre la remoción de cobre en los efluentes mineros sintéticos de la lixiviación de oro.

### **1.4.3. Variables**

#### **1.4.3.1. Variable independiente**

- Dosificación del amonio cuaternario
- Variación del pH
- Temperatura

### 1.4.3.2. Variable dependiente

- Remoción del cobre de la solución sintética

## 1.5. Operacionalización de variables

**Tabla 1. Operacionalización de variables**

<b>Variable independiente</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>
Dosificación del amonio cuaternario	Se utiliza para la investigación el cloruro de benzalconio el cual tiene la función de atrapar el cobre en la solución cianurada.	Concentración	g/l
pH	Grado de acidez o alcalinidad de una sustancia o una solución	Escala de pH	0 - 14
Temperatura	Expresa el nivel de calor o frío de la solución	Temperatura de la solución cianurada	°C
Variable dependiente			
% Remoción del cobre de la solución cianurada	Es la cantidad de cobre removida de la muestra cianurada para regenerar el cianuro	Tanto por ciento de Cu removido	%

Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes del Problema

##### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Gonzales, en su artículo de investigación: “Aplicación del diseño de experimentos factorial 2k en la evaluación del uso de aminas para la remoción de complejos cobre-cianuro de soluciones de cianuración”, presentó un estudio de investigación que tuvo como objetivo principal, evaluar aminas para la eliminación de cobre de las soluciones cianuradas sintéticas, similares a licores industriales con alto contenido de cobre. Para ello, aplicaron como estrategia un diseño factorial 2<sup>2</sup> utilizando el pH (9 y 12) y la dosificación de la amina (0.25 y 5 g/L) como variables. El autor se enfocó en investigar la relación entre la extracción de oro y el problema causado por la presencia de cobre soluble en el mineral. Durante el proceso de lixiviación, la presencia de cobre en el mineral causa contaminación en la solución cianurada, ya que el cobre tiende a desplazar al oro y reducir su eficiencia de extracción. En el estudio, realizaron pruebas con 4 diferentes compuestos, con el fin de determinar cuál lograba una mejor extracción de cobre de la solución cianurada. Encontraron que, la amina Quartamin 60 mostró la mayor eficiencia en este aspecto. Además, evaluaron el efecto del pH en la remoción del cobre, variando entre los valores de 9 y 12. Los resultados demostraron que a medida que se aumentaba la dosificación de la amina, se lograba una mayor extracción de cobre. También se comprobó que un pH más bajo tenía influencia en la remoción del cobre, obteniéndose los mejores resultados en condiciones ácidas. En conclusión, determinaron que es posible utilizar aminas para remover el cobre de soluciones cianuradas y recuperar el cianuro para su posible reutilización en el proceso de lixiviación. Sin embargo, se menciona que los resultados podrían ser mejorados al variar los valores de las variables utilizadas, con el objetivo de lograr una extracción de cobre aún más eficiente de la solución. Este estudio ofrece información importante sobre la aplicación de aminas en la eliminación de cobre en soluciones de cianuración y destaca la importancia del pH y la dosificación de la amina en el proceso. Los hallazgos podrían ser útiles para optimizar la extracción de oro y reducir la contaminación en la industria minera que utiliza la cianuración como método de procesamiento (4)

Alonso-González, Nava-Alonso, et al., en su artículo de investigación “Use of quaternary ammonium salts to remove copper–cyanide complexes by solvent extraction”, presentaron un estudio que se centra en el método de cianuración, ampliamente utilizado para la extracción de metales preciosos. Los investigadores investigaron el problema de la presencia de cobre en la solución de lixiviado, lo cual puede afectar negativamente el proceso de extracción de metales

preciosos al formar complejos de cuprocianuro. Con el objetivo de permitir el reciclaje de la solución en el proceso, utilizaron una solución sintética similar a la obtenida en la molienda de oro. Para abordar la remoción del cobre de la solución, se evaluaron diferentes extractantes, incluyendo sales de amonio cuaternario como Quartamin TPR, Adogen 464 y Aliquat 336. La solución sintética utilizada simulaba una solución de plantas de cianuración, con concentraciones de cobre de 710 mg/L y cianuro de 1100 mg/L, en un rango de pH de 9.5 a 12.2, y concentraciones de extractantes de 0.011 M, 0.022 M y 0.033 M. Los resultados del experimento revelaron que el Quartamin TPR puede remover hasta un 70% del cobre, pero la formación de emulsiones en la solución dificulta la separación de fases, lo cual podría generar problemas operativos a nivel industrial. Por otro lado, el Aliquat 336 logra eliminar hasta un 95% del cobre, mientras que el Adogen 464 mostró el mejor rendimiento al lograr una extracción de cobre del 99% en un rango de pH de 9.5 a 11, utilizando una concentración de extractante de 0.033 M. Además, se demostró que la remoción del cobre al 99% se logró en tres tiempos de contacto de la solución contaminada con la sal de amonio, con una agitación de 5 minutos a 600 rpm y a una temperatura de 22°C. Este estudio es relevante en el ámbito de la investigación, ya que proporciona datos experimentales de laboratorio que serán utilizados en una tesis. Asimismo, brinda información sobre la eficiencia de diferentes extractantes en la remoción de cobre de soluciones cianuradas, lo cual contribuye al conocimiento en este campo y puede tener implicaciones prácticas en la industria minera (6)

Alonso-González, et al., en su artículo de investigación titulado “Copper cyanide removal by precipitation with quaternary ammonium salts” El texto describe un estudio que se enfoca en el uso del cianuro como reactivo ampliamente utilizado en la industria minera para la extracción de metales preciosos de minerales que contienen especies de cobre. Estas especies de cobre pueden reaccionar con el cianuro y formar complejos de cuprocianuro. Sin embargo, la presencia de cobre en la solución afecta negativamente el proceso de extracción y resulta en un consumo elevado de cianuro. Para abordar este problema, los investigadores utilizaron sales de amonio cuaternario con el objetivo de precipitar y eliminar los complejos de cobre-cianuro, lo que permite recircular la solución tratada, que contiene cianuro libre, de nuevo en el proceso de lixiviación. En el experimento, se utilizó una solución sintética de cianuro de cobre que simulaba una solución con alta concentración de cobre, con una concentración de 2700 mg/L de cianuro y 730 mg/L de cobre, a un pH ajustado a 12 utilizando CaO como agente. Los reactivos de amonio cuaternario empleados fueron el cloruro de hexadecilo trimetilamonio (HTA), el octadecil cloruro de trimetilamonio (OTA) y el cloruro de dioctadecil dimetilamonio (DDA). Los resultados de su investigación demostraron que es posible remover hasta un 90% del cobre en el precipitado al agregar 12.32 g de OTA por gramo de cobre, a un pH de 12. En la solución, el cianuro libre permanece sin reaccionar y se puede reciclar para su uso en el

proceso de lixiviación. Además, los resultados de las pruebas realizadas a diferentes valores de pH indicaron que, independientemente del reactivo utilizado, el sólido formado consistirá principalmente en tricianuro de cobre, con cierta presencia de tetracianuro de cobre. Se comprobó que las sales de amonio cuaternario reaccionan tanto con los cianuros de cobre como con los cianuros de zinc (en caso de utilizar zinc para la extracción del oro después de la lixiviación) para formar un precipitado que puede separarse de la solución mediante filtración. Este estudio proporciona información relevante sobre la eliminación de cobre en soluciones de cianuro mediante el uso de sales de amonio cuaternario, lo que contribuye al conocimiento y desarrollo de métodos más eficientes y sostenibles para la extracción de metales preciosos en la industria minera (8)

Arias-Lafargue et al., en su trabajo de investigación: “Influencia de la lixiviación en la recuperación de oro en la Mina Oro-Barita de Santiago de Cuba”, tuvieron como objetivo principal, evaluar las variables que afectan el proceso de lixiviación del oro en la planta de Oro Barita en Santiago de Cuba. Durante dicho proceso, identificaron problemas en la extracción de oro, que los motivó a investigar con muestras del área de trituración y aglomeración. Llevaron a cabo análisis físicos y de laboratorio para investigar la eficiencia de extracción del oro. Realizaron pruebas y análisis de los pellets utilizados, para determinar sus indicadores de calidad. Demostraron que la granulometría, resistencia, estabilidad y dureza de los pellets cumplían con las normas establecidas para el proceso de lixiviación, descartando que fueran la causa de la baja extracción de oro. Examinaron la dosificación del reactivo de hidróxido de calcio en la etapa de trituración, ya que esta sustancia mantiene el pH alcalino, necesario para prevenir la degradación del cianuro y la formación de gas cianhídrico. Comprobaron que el pH del mineral aglomerado se mantenía estable, lo que aseguraba un medio alcalino adecuado durante las operaciones de la planta. Por lo tanto, descartaron que el pH fuera la causa de los problemas de recuperación de oro en la lixiviación. También analizaron la relación entre el volumen de agua y la masa del mineral. Encontraron que la humedad se mantenía en un rango de 14% a 16%, lo cual era necesario para lograr la adherencia de las partículas del mineral y formar los pellets. Además, examinaron otros parámetros como la relación líquido /mineral, la tasa de irrigación y la altura de la pila, determinaron que se encontraban dentro de los rangos operativos adecuados para el proceso, sin tener un impacto negativo en la recuperación del oro durante la lixiviación. Su evaluación les reveló que la presencia de cobre fue la variable que afectó negativamente el proceso de lixiviación, lo cual, tuvo un impacto en la recuperación de oro. Demostraron que la inyección de una solución fresca de cianuro al proceso de lixiviación mejora la recuperación de oro. En resumen, este estudio en la planta de Oro Barita en Santiago de Cuba proporcionó un análisis detallado de las variables que influyen en el proceso de lixiviación del oro. Descartaron varias variables como causantes de los problemas de

extracción, pero identificaron que la presencia de cobre constituye un factor negativo. Estos hallazgos pueden ser utilizados para optimizar y mejorar el proceso de extracción de oro en la planta (10).

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Guerra Lu et al., en su trabajo de investigación: “Influencia del cobre cianurable y sulfuro presente en minerales auríferos sobre el porcentaje de extracción de oro en la cianuración” exponen un estudio cuyo objetivo fue determinar cómo los elementos contaminantes, como el cobre cianurable y el azufre en forma de sulfuro, afectan la extracción de oro durante la lixiviación. Identificaron variables clave que influyen en la disolución del oro. Estas variables incluyen la concentración de cianuro, la concentración de oxígeno, el pH de la solución, la velocidad de agitación de la mezcla y la presencia de interferentes presentes en el mineral. Encontraron que la temperatura tiene un impacto positivo en la disolución del oro hasta alcanzar los 85°C. Después de esa temperatura, la concentración de oxígeno disuelto en la solución disminuye y prácticamente desaparece. El oxígeno juega un papel crucial en la oxidación del oro en presencia de cianuro alcalino, formando el complejo aurocianuro. El estudio también identificó interferentes que consumen cianuro, como los sulfuros de cobre, níquel, antimonio y manganeso, los sulfuros arsenicales, los sulfatos férricos y los carbonatos de cobre y zinc. Estos interferentes son altamente solubles en una solución cianurada. Además, se destacó la importancia de mantener un pH entre 9 y 11, ya que valores superiores pueden disminuir la velocidad de reacción debido a la formación de películas pasivantes en la superficie del oro. observaron que el cianuro de cobre compite con el ion aurocianuro por la absorción en el carbón activado en la etapa final de recuperación del oro después del proceso de lixiviación. El estudio recomienda el uso del método de recuperación de cobre SART seguido de la recuperación de oro, especialmente para minerales con altas concentraciones de cobre. Posteriormente, se sugiere aplicar el método AVR (adsorción y desorción en fase de vapor) para la recuperación del cianuro. Según el autor, esta técnica es una de las más utilizadas en la actualidad para la recuperación de estos componentes debido a su viabilidad económica. En resumen, este estudio resalta la importancia de las variables clave en el proceso de lixiviación del oro, incluyendo la concentración de cianuro, el oxígeno disuelto, el pH y la presencia de interferentes. También se señala la relevancia de la temperatura y se propone el uso de métodos específicos de recuperación, como SART y AVR, para maximizar la extracción de oro y la recuperación de componentes como el cobre y el cianuro (11).

Rupay et al., realizaron una investigación cuyo título es: “Remoción del cianuro con el complejo (CuSO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O) de los efluentes de cianuración de oro para evitar riesgos a la salud y al ambiente” El objetivo de su estudio fue determinar la degradación de la alta concentración



de cianuro en los efluentes generados durante las pruebas experimentales en la Planta Piloto Metalúrgica de Yauris, con el fin de minimizar su impacto en las aguas superficiales y el medio ambiente. En la minería moderna, se utiliza el cianuro de sodio como reactivo de lixiviación debido a su alta eficiencia para extraer oro del mineral, con tasas de extracción que alcanzan entre el 95% y el 98%. Aunque es un reactivo económico, su toxicidad es alta. El uso del cianuro permite la explotación rentable de minerales de baja ley de oro que antes no eran viables. En este estudio los autores mencionan que, la temperatura óptima de lixiviación para obtener la máxima cantidad de oro es de 85°C. A temperaturas más altas, la extracción disminuye debido a la falta de oxígeno, mientras que a temperaturas más bajas el proceso ocurre, pero la velocidad de disolución del oro es menor. Los autores de la investigación mencionan diferentes métodos para degradar el cianuro, incluyendo la biodegradación mediante bacterias y hongos, la degradación química y la oxidación avanzada. Resaltan la importancia de recuperar el cianuro mediante el método AVR (adsorción y desorción en fase de vapor), el cual respalda la necesidad de tratar las soluciones de cianuro para su reutilización en el proceso de lixiviación. El trabajo enfatiza la necesidad de tratar los residuos de cianuro debido a sus impactos negativos en el medio ambiente y la salud humana. Se menciona que los relaves mineros contienen una concentración de cianuro de salida de 102 mg/L, valor que excede los límites máximos permitidos de 1 mg/L para las descargas minero-metalúrgicas. En conclusión, este estudio se centra en la degradación de la alta concentración de cianuro en los efluentes generados durante las pruebas experimentales de la planta piloto. Se destacan los métodos de degradación del cianuro y se resalta la importancia de recuperarlo mediante el método AVR. Además, subrayan la necesidad de tratar los residuos de cianuro debido a su impacto negativo en el medio ambiente y la salud humana, considerando los límites máximos permitidos para las descargas minero-metalúrgicas (12).

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. El cianuro de sodio**

El cianuro de sodio es una sal inorgánica con la fórmula química NaCN. Es un compuesto extremadamente tóxico y potencialmente letal para los seres humanos y la mayoría de las formas de vida debido a su capacidad para interferir con los procesos de transporte de oxígeno en las células, lo que lleva a la asfixia celular (13).

Este compuesto se presenta en forma de cristales blancos y solubles en agua. Se utiliza en diversas aplicaciones industriales, siendo una de las más notables su uso en la minería para la extracción de metales preciosos como el oro y la plata a través del proceso de lixiviación de cianuro. También se emplea en la síntesis química de otros compuestos y en la galvanoplastia

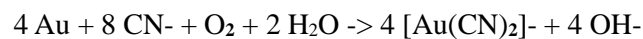
(revestimiento de objetos con una capa metálica). Sin embargo, su uso está altamente regulado debido a sus riesgos para la salud humana y el medio ambiente.

Debido a su toxicidad, el manejo del cianuro de sodio debe realizarse con extrema precaución, utilizando equipo de protección personal y siguiendo protocolos de seguridad estrictos. En muchas partes del mundo, existen regulaciones y estándares rigurosos para el transporte, almacenamiento y manipulación de este compuesto para minimizar los riesgos asociados.

El cianuro de sodio es un compuesto químico altamente tóxico que se utiliza en la industria minera, especialmente en el proceso de extracción de oro conocido como lixiviación de cianuro. La lixiviación de cianuro es un método ampliamente utilizado para recuperar oro y plata de minerales que contienen estos metales en forma de partículas muy pequeñas y dispersas en el mineral (13).

A continuación, se muestra cómo funciona el proceso de lixiviación de cianuro en la extracción de oro (13).

1. Trituración: El mineral aurífero se tritura en partículas más pequeñas para aumentar la superficie de contacto entre el cianuro y los minerales de oro.
2. Lixiviación: Las partículas de mineral triturado se colocan en una solución de cianuro de sodio diluido. El cianuro de sodio reacciona con el oro en presencia de oxígeno para formar complejos de cianuro de oro solubles en agua. La reacción química general es:



3. Adsorción en carbón activado: La solución rica en cianuro de oro se separa del mineral triturado y se hace pasar a través de columnas o tanques llenos de carbón activado. El carbón activado tiene la propiedad de absorber (retener en la superficie) los complejos de cianuro de oro disueltos en la solución.
4. Desorción y recuperación: El carbón activado cargado con cianuro de oro se lava para eliminar las impurezas y luego se somete a un proceso de desorción, donde los complejos de cianuro de oro se separan del carbón en una solución alcalina. A partir de esta solución, se recupera el oro utilizando técnicas de precipitación, electrólisis u otros métodos de refinación.
5. Eliminación y tratamiento de residuos: Después de la extracción del oro, el residuo sólido restante contiene componentes indeseables y cianuro residual. Es crucial gestionar de manera adecuada estos residuos y tratar el cianuro residual para evitar la contaminación del medio ambiente.

Es importante destacar que el cianuro es altamente tóxico para los seres humanos y la vida acuática. Por lo tanto, su manejo y eliminación deben llevarse a cabo con extremo cuidado y siguiendo estrictas regulaciones y estándares de seguridad. La industria minera ha enfrentado críticas por el uso de cianuro debido a los riesgos ambientales y de salud asociados. Se han implementado prácticas y tecnologías para reducir los impactos negativos y mejorar la seguridad en la lixiviación del cianuro.

El tratamiento adecuado del cianuro de sodio residual es fundamental para prevenir la contaminación ambiental y proteger la salud humana, Aquí hay algunas formas comunes de tratar el cianuro de sodio residual:

- Neutralización química: El cianuro de sodio se puede neutralizar mediante la adición controlada de sustancias químicas que lo convierten en productos no tóxicos. Uno de los métodos más comunes es la adición de hipoclorito de sodio (lejía) u otro oxidante, lo que convierte el cianuro en cianato, un compuesto menos tóxico y más estable. Sin embargo, este proceso debe llevarse a cabo cuidadosamente para evitar la liberación de gases tóxicos de cianuro de hidrógeno (ácido cianhídrico) (13).
- Tratamiento biológico: Algunos microorganismos tienen la capacidad de degradar cianuro de manera natural. Los sistemas de biorremediación pueden utilizarse para tratar aguas residuales que contienen cianuro residual. Los microorganismos descomponen el cianuro en compuestos menos tóxicos a través de procesos biológicos (13).
- Degradación foto catalítica: Se utilizan procesos de degradación foto catalítica donde la luz ultravioleta o algún otro catalizador se utiliza para romper los enlaces del cianuro y convertirlo en productos menos tóxicos (12).
- Procesos de oxidación avanzada: Estos procesos utilizan oxidantes fuertes, como el peróxido de hidrógeno, para descomponer el cianuro en compuestos menos tóxicos y persistentes (12).
- Destrucción térmica: En este método, el cianuro residual se somete a altas temperaturas en condiciones controladas para descomponerlo en productos menos tóxicos, como dióxido de carbono y nitrógeno (13).
- Reciclaje: En algunos casos, se puede recuperar el cianuro residual y reciclarlo en el proceso industrial, minimizando la cantidad de cianuro que debe tratarse. Esta forma de tratar el cianuro es una alternativa interesante desde el punto de vista económico y ambiental, puesto que el cianuro de sodio puede ser regenerado para volver a utilizarlo dentro del proceso de lixiviación, el presente estudio de tesis se aboca a aplicar un método de remoción de uno de los componentes que degrada la solución cianurada, el cobre, con la finalidad de recuperar las características de captura del oro por el cianuro de sodio, de

tal manera disminuir su compra, transporte desde el proveedor hasta su lugar de utilización y también para disminuir la generación de residuos peligrosos al finalizar su vida útil dentro del proceso productivo (13).

- Almacenamiento seguro: Si el cianuro no puede tratarse inmediatamente, debe almacenarse de manera segura en contenedores adecuados hasta que pueda ser tratado de manera adecuada (13).

### **2.2.2. Cianuración de oro de minerales con contenido de cobre**

La cianuración de oro es uno de los métodos más comunes y eficientes para extraer oro de minerales. Sin embargo, cuando los minerales contienen altos niveles de cobre, este metal puede interferir en el proceso de cianuración y afectar la recuperación de oro. Es esencial entender cómo manejar la presencia de cobre en la cianuración de oro para optimizar el rendimiento del proceso.

La presencia de cobre en minerales auríferos puede provenir de diferentes fuentes, como la mineralización primaria, minerales secundarios o la presencia de cobre disuelto en el agua de proceso. El cobre puede formar complejos cianurados que compiten con el oro por el cianuro, disminuyendo así la eficiencia de la extracción de oro (13).

Para superar este desafío, se han desarrollado diferentes enfoques y estrategias para mitigar los efectos negativos del cobre en la cianuración de oro. Uno de los métodos más utilizados es la adición de agentes secuestrantes de cobre, como el sulfato de zinc y el bisulfito de sodio. Estos agentes secuestrantes se agregan al proceso de cianuración para formar complejos con el cobre, evitando así su interacción con el cianuro y permitiendo una mejor extracción de oro (13).

Otra estrategia es la optimización del pH y la concentración de cianuro en el proceso de cianuración. El cobre tiene una mayor afinidad por el cianuro a pH más bajos, por lo que ajustar el pH hacia un rango óptimo puede reducir la interacción del cobre con el cianuro y mejorar la recuperación de oro. Además, el control de la concentración de cianuro es crucial, ya que una concentración demasiado baja puede resultar en una baja extracción de oro, mientras que una concentración demasiado alta puede aumentar la disolución de cobre y disminuir la selectividad hacia el oro (13).

Además de estas estrategias, es importante considerar la caracterización y el procesamiento previo de los minerales con contenido de cobre. La caracterización detallada de la mineralogía y la composición química del mineral puede ayudar a identificar los minerales portadores de cobre y su asociación con el oro. Esto permite seleccionar el enfoque de procesamiento más

adecuado, como la flotación previa para separar selectivamente los minerales de cobre antes de la cianuración (13).

### **2.2.3. Presencia del cobre en la explotación del oro**

La presencia del cobre en la explotación del oro es un aspecto relevante que puede tener tanto implicaciones positivas como negativas en el proceso. El cobre se encuentra comúnmente asociado con los depósitos de oro, ya sea en forma de minerales de cobre que contienen oro o como un elemento secundario en los minerales de oro.

En primer lugar, es importante mencionar que el cobre puede afectar la extracción y recuperación del oro de diversas maneras. Por un lado, la presencia de cobre puede ser beneficiosa, ya que puede actuar como un catalizador en la disolución del oro durante el proceso de lixiviación. Esto significa que el cobre puede acelerar la velocidad de extracción del oro al facilitar su disolución en los agentes lixiviantes utilizados, como el cianuro (14).

Además, el cobre puede contribuir a mejorar la eficiencia de recuperación del oro al formar complejos solubles con el cianuro. Estos complejos de cobre-cianuro son más estables y menos propensos a reaccionar con otros componentes presentes en la solución, lo que ayuda a evitar la formación de compuestos cianurados que podrían reducir la recuperación del oro (14).

Sin embargo, la presencia del cobre también puede tener efectos negativos en la explotación del oro. Por ejemplo, en algunos casos, el cobre puede competir con el oro por los sitios de adsorción en el carbón activado utilizado en el proceso de adsorción del oro. Esto puede conducir a una disminución en la eficiencia de adsorción del oro y, por lo tanto, afectar la recuperación global del metal precioso.

Además, cuando el cobre está presente en altas concentraciones, puede generar problemas relacionados con la calidad del agua. Durante el proceso de lixiviación, las soluciones que contienen cobre pueden filtrarse al medio ambiente y causar contaminación si no se gestionan adecuadamente. La liberación de cianuro y cobre al medio ambiente puede representar un riesgo para los ecosistemas acuáticos y la salud humana si no se controla y trata de manera adecuada (14).

Por lo tanto, es esencial implementar estrategias y tecnologías apropiadas para minimizar los impactos negativos asociados con la presencia de cobre en la explotación del oro. Esto puede incluir el monitoreo y control estricto de las concentraciones de cobre en las soluciones de lixiviación, así como la implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales para minimizar la liberación de cobre y otros contaminantes al medio ambiente.

En conclusión, la presencia del cobre en la explotación del oro es un factor que debe tenerse en cuenta debido a sus efectos tanto positivos como negativos en el proceso. Si bien puede actuar como un catalizador y mejorar la eficiencia de extracción y recuperación del oro, también puede afectar la adsorción del oro en el carbón activado y generar problemas ambientales si se libera al medio ambiente sin un tratamiento adecuado. Por lo tanto, es fundamental adoptar medidas de gestión y mitigación adecuadas para optimizar la explotación del oro y minimizar los impactos negativos asociados con la presencia del cobre (14).

#### **2.2.4. Presencia de cobre en los lixiviados de oro**

La lixiviación de oro es un proceso ampliamente utilizado en la industria minera para extraer oro de minerales y concentrados de oro. La presencia de cobre en los sistemas de lixiviación de oro puede tener tanto efectos positivos como negativos, y su influencia depende de varios factores, como la concentración de cobre, el pH del sistema, la presencia de otros minerales y la presencia de agentes lixiviantes (15).

En primer lugar, es importante destacar que el cobre a menudo se encuentra en minerales de oro en forma de sulfuros de cobre, como la calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ), la bornita ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ) y la covelita ( $\text{CuS}$ ). Estos minerales de cobre pueden estar presentes en el mineral de oro en diferentes proporciones, dependiendo de la geología de la zona minera.

Cuando se lleva a cabo la lixiviación de oro, la presencia de cobre puede tener un impacto positivo en el proceso. El cobre actúa como un catalizador en la disolución del oro, acelerando la velocidad de lixiviación. Esto se debe a que el cobre puede formar complejos solubles con el cianuro utilizado como agente lixivante, lo que facilita la liberación de partículas de oro y su disolución en la solución (15).

Además, la presencia de cobre puede ayudar a reducir la formación de especies reactivas de cianuro, como el cianuro de cobre complejo, que es menos tóxico que otras especies de cianuro. Esto puede mejorar la seguridad ambiental y reducir los riesgos asociados con la liberación de cianuro al medio ambiente (15).

Sin embargo, la presencia de cobre también puede tener efectos negativos en la lixiviación de oro. A altas concentraciones de cobre, se puede producir una competencia entre el cobre y el oro por los sitios de adsorción en el carbón activado utilizado en la etapa de adsorción del proceso de recuperación de oro. Esto puede resultar en una disminución de la eficiencia de adsorción del oro y una menor recuperación global del metal precioso (15).

Además, la presencia de cobre en concentraciones elevadas puede aumentar la formación de compuestos de cianuro complejos, como el cianuro de cobre complejo, que puede ser más difícil de tratar y eliminar de manera segura de la solución lixiviante. Esto puede requerir un tratamiento adicional, como la precipitación o la adsorción selectiva, para reducir la concentración de cobre y otros metales en la solución antes de la recuperación del oro.

La presencia de cobre en la lixiviación de oro puede tener tanto efectos positivos como negativos. A bajas concentraciones, el cobre puede acelerar la velocidad de lixiviación y mejorar la seguridad ambiental al reducir la formación de especies tóxicas de cianuro. Sin embargo, a altas concentraciones, puede disminuir la eficiencia de adsorción del oro y requerir tratamientos adicionales para eliminar el cobre y otros metales de la solución lixiviante. Por lo tanto, es importante llevar a cabo un análisis detallado de la presencia de cobre en los sistemas de lixiviación (15).

### **2.2.5. Características del cianuro**

El cianuro, tanto en su forma de gas como en forma de sales, es conocido por ser un compuesto altamente contaminante y venenoso. Los cianuros se dividen en dos categorías principales: cianuros simples y cianuros complejos (15).

El cianuro de hidrógeno (HCN) es un gas altamente tóxico y volátil que forma parte de los cianuros simples. Es conocido por su peligrosidad y ha sido utilizado en casos extremadamente nocivos.

Por otro lado, los cianuros de sodio (NaCN) y de potasio (KCN) son sales y son las formas más comunes y utilizadas de cianuro en la industria metalúrgica y minera. Estas sales de cianuro se utilizan en procesos como la extracción de oro y plata a través de la técnica de cianuración (15).

Es importante destacar que, si bien los cianuros pueden ser peligrosos y contaminantes, su manejo adecuado y controlado es esencial en la industria para evitar impactos negativos en el medio ambiente y riesgos para la salud humana. Se deben seguir estrictos protocolos de seguridad y disposición adecuada para minimizar los efectos nocivos del cianuro.

### **2.2.6. Toxicidad del cianuro**

El manejo inadecuado o mal uso del cianuro puede convertirlo en un compuesto potencialmente tóxico. En diferentes países se establecen límites y regulaciones para controlar la descarga de cianuro en el medio ambiente.

En Canadá, por ejemplo, se permiten descargas de cianuro con valores de CN- total entre 1-2 mg/l y CN WAD (cianuro fácilmente liberado) de 0.1-0.5 mg/l. Mientras tanto, en Estados Unidos, la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) ha establecido límites de 0.2 mg/l de cianuro WAD y 1 mg/l de cianuro total (16).

En el Perú, la legislación establece niveles de 1 mg/l de cianuro total, 0.1 mg/l de cianuro libre y 0.2 mg/l de cianuro WAD (16).

Es importante destacar que los seres humanos entran en contacto directo con el cianuro o sus derivados a diario a través de los alimentos que consumimos y los productos que utilizamos. Sin embargo, es crucial garantizar que los niveles de exposición estén dentro de los límites establecidos y que los alimentos y productos sean seguros para el consumo humano.

El control y la regulación adecuados en el manejo del cianuro son fundamentales para garantizar la protección del medio ambiente y la salud pública.

En la industria minera, existen trabajadores que tienen contacto frecuente con el cianuro, y es importante destacar que no se han reportado accidentes fatales o muertes causadas por la intoxicación con este compuesto en ese ámbito específico. Es crucial seguir estrictas medidas de seguridad y protocolos de manejo adecuados para garantizar la protección de los trabajadores y prevenir incidentes relacionados con la exposición al cianuro.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que la causa principal de muertes relacionadas con el cianuro se relaciona más con la ingesta de plantas cianogénicas. Estas plantas contienen niveles elevados de cianuro, lo cual puede provocar una parálisis permanente de las extremidades y tener consecuencias graves para la salud humana en casos de ingestión (16).

Es esencial tener conocimiento de las plantas cianogénicas y evitar su consumo o contacto directo con ellas, ya que representan un riesgo potencial para la salud. En el entorno minero, donde se maneja el cianuro de manera controlada y segura, los accidentes fatales o muertes debido a la intoxicación con este compuesto son extremadamente raros.

El cianuro es una sustancia extremadamente tóxica que puede tener efectos graves en la salud humana y en el medio ambiente. Su toxicidad se debe a su capacidad para interferir con los procesos bioquímicos esenciales en el cuerpo. A continuación, se presenta un texto detallado sobre la toxicidad del cianuro:

El cianuro es conocido por ser uno de los venenos más potentes y rápidos que existen. Puede causar graves daños en el sistema nervioso central y en otros sistemas vitales del organismo.



La forma más común en la que el cianuro entra en el cuerpo humano es a través de la inhalación, la ingestión o la absorción a través de la piel (16).

Una vez dentro del cuerpo, el cianuro se disocia y libera iones de cianuro altamente reactivos. Estos iones pueden unirse a las enzimas clave en las células, bloqueando su funcionamiento normal y afectando a procesos esenciales como la producción de energía en las mitocondrias.

Los efectos de la exposición al cianuro pueden variar dependiendo de la cantidad y la vía de exposición. En pequeñas dosis, la inhalación o la ingestión de cianuro puede causar síntomas como dificultad respiratoria, mareos, confusión, náuseas y vómitos. En dosis más altas, los efectos pueden ser más graves e incluir convulsiones, pérdida del conocimiento, paro cardíaco y, en casos extremos, la muerte.

La toxicidad del cianuro también depende de la forma en que se encuentra en el medio ambiente. El cianuro de hidrógeno (HCN) es una forma gaseosa altamente volátil que puede ser fácilmente inhalada, mientras que los compuestos de cianuro sólidos o líquidos pueden ser absorbidos a través de la piel o ingeridos accidentalmente (16).

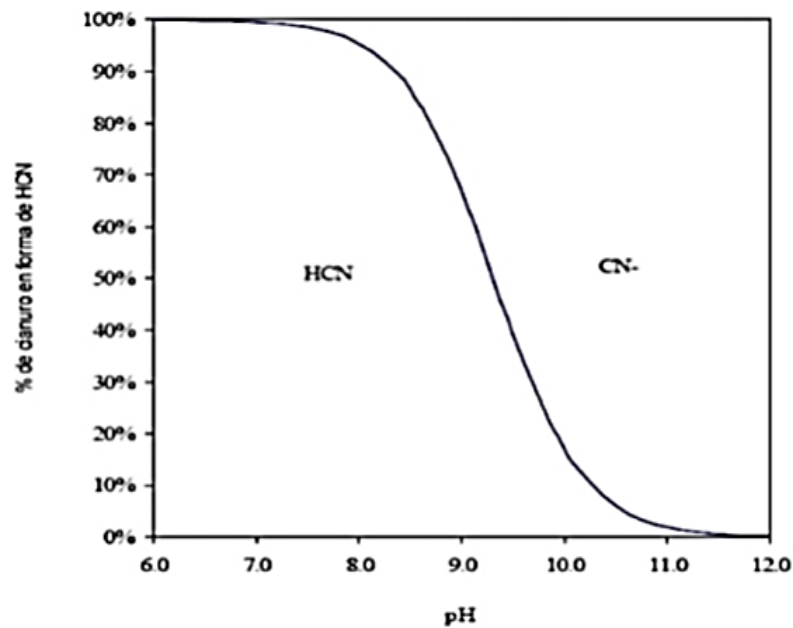
Es importante destacar que la exposición crónica o repetida al cianuro puede tener efectos acumulativos y aumentar el riesgo de daños graves para la salud. Además de los efectos agudos, la exposición prolongada al cianuro puede provocar daños en el sistema nervioso, cardiovascular y respiratorio, así como también afectar la función renal y hepática.

La rapidez con la que el cianuro actúa en el cuerpo humano es motivo de preocupación, ya que puede llevar a un envenenamiento rápido y potencialmente letal. Es fundamental buscar atención médica (16).

### **2.2.7. Química del Cianuro Libre**

Los cianuros libres se refieren a las formas moleculares e iónicas de cianuro que se liberan en una solución acuosa debido a la disolución y disociación (o ionización) de compuestos cianurados simples y complejos. Por lo tanto, el término "cianuro libre" se limita a dos especies químicas, el ion cianuro (CN<sup>-</sup>) y el ácido cianhídrico o cianuro de hidrógeno (HCN). La proporción relativa entre estas dos formas depende del pH del sistema (17).

**Figura 1: Relación entre HCN y CN en función del pH**



Fuente: (18)

El cianuro es un compuesto químico altamente tóxico y venenoso. Se trata de un anión compuesto por un átomo de carbono (C) y un átomo de nitrógeno (N), con una carga negativa (CN<sup>-</sup>). Aunque existen varias formas de cianuro, el más común y conocido es el cianuro de hidrógeno (HCN) y sus sales, como el cianuro de potasio (KCN) y el cianuro de sodio (NaCN) (17).

El cianuro es extremadamente peligroso debido a su alta afinidad por los metales de transición en el cuerpo humano, especialmente el hierro en la hemoglobina, la proteína responsable del transporte de oxígeno en la sangre. Cuando el cianuro se introduce en el organismo, se une irreversiblemente a la hemoglobina, impidiendo que esta cumpla su función de transportar oxígeno, lo que lleva a una rápida asfixia celular y, en última instancia, a la muerte.

Además de afectar la función de la hemoglobina, el cianuro también interfiere con la respiración celular al inhibir la enzima citocromo oxidasa, que es esencial en la cadena de transporte de electrones en las mitocondrias. Esto lleva a una interrupción de la producción de ATP, la principal fuente de energía en las células, y provoca un colapso metabólico generalizado (17).

Los síntomas de la intoxicación por cianuro pueden aparecer rápidamente después de la exposición y son extremadamente graves. Inicialmente, la persona afectada puede experimentar dificultad para respirar, dolor de cabeza intenso, mareos, náuseas y vómitos. Conforme la

exposición continúa, se producen convulsiones, pérdida de conciencia, arritmias cardíacas y finalmente, puede llevar a un paro cardíaco y la muerte en cuestión de minutos.

Debido a su alta toxicidad, el cianuro ha sido utilizado históricamente como un veneno en homicidios y suicidios. También se ha utilizado en algunos procesos industriales, como la extracción de oro y plata de minerales, la fabricación de productos químicos y la producción de plásticos. Sin embargo, su uso está estrictamente regulado y controlado debido a los graves riesgos para la salud humana y el medio ambiente (17).

El ion cianuro es un compuesto químico altamente tóxico que afecta gravemente la función respiratoria y metabólica en el organismo. Su capacidad para unirse a la hemoglobina e inhibir la enzima citocromo oxidasa provoca una rápida asfixia celular y puede llevar a la muerte en poco tiempo. Debido a su peligrosidad, su uso está limitado y se requieren precauciones extremas en su manejo y almacenamiento (17).

La volatilización del HCN es una de las reacciones más importantes que afectan la concentración de cianuro libre. Como la mayoría de los gases, el HCN se separa del agua y se escapa al aire. El cianuro libre no persiste en la mayoría de las aguas superficiales debido a que su pH generalmente es de 8, lo que provoca la volatilización y dispersión del HCN. La volatilidad del cianuro de hidrógeno y su posterior transformación en compuestos inofensivos en el aire son importantes porque actúan como un mecanismo natural que controla las concentraciones de cianuro libre en los efluentes residuales y en los procesos mineros.

La volatilización del HCN (cianuro de hidrógeno) es un proceso fisicoquímico en el cual este compuesto se convierte en forma gaseosa y se dispersa en el aire. El HCN es un líquido incoloro y altamente volátil que tiene un olor característico a almendras amargas, aunque algunas personas no pueden percibirlo debido a una variante genética.

La volatilización del HCN puede ocurrir en diferentes circunstancias, principalmente cuando se manipulan sustancias que contienen cianuro o en presencia de fuentes de calor. Aunque el HCN es más comúnmente conocido como un gas, en condiciones normales de temperatura y presión, es un líquido que se evapora fácilmente, volviéndose altamente inflamable cuando se encuentra en concentraciones adecuadas en el aire (17).

Existen varios factores que influyen en la volatilización del HCN. Uno de los más importantes es la temperatura. A medida que la temperatura aumenta, la velocidad de evaporación del HCN también se incrementa, lo que aumenta la cantidad de gas en el aire. Además, la volatilización del HCN puede ser acelerada por la agitación mecánica, la exposición a la luz ultravioleta y la presencia de superficies de absorción, como la tierra (17).

Es importante destacar que la volatilización del HCN puede representar un grave riesgo para la salud humana y el medio ambiente. La inhalación de altas concentraciones de HCN puede causar efectos adversos para la salud, incluyendo irritación en los ojos, la piel y el tracto respiratorio, dificultad para respirar, mareos, confusión, convulsiones e incluso la muerte (17).

Desde el punto de vista de la seguridad, es fundamental tomar precauciones adecuadas al trabajar con sustancias que contienen cianuro para minimizar el riesgo de volatilización del HCN. Esto implica utilizar equipos de protección personal, como guantes y mascarillas apropiadas, trabajar en áreas bien ventiladas o con sistemas de extracción de aire, y evitar la exposición directa y prolongada al HCN.

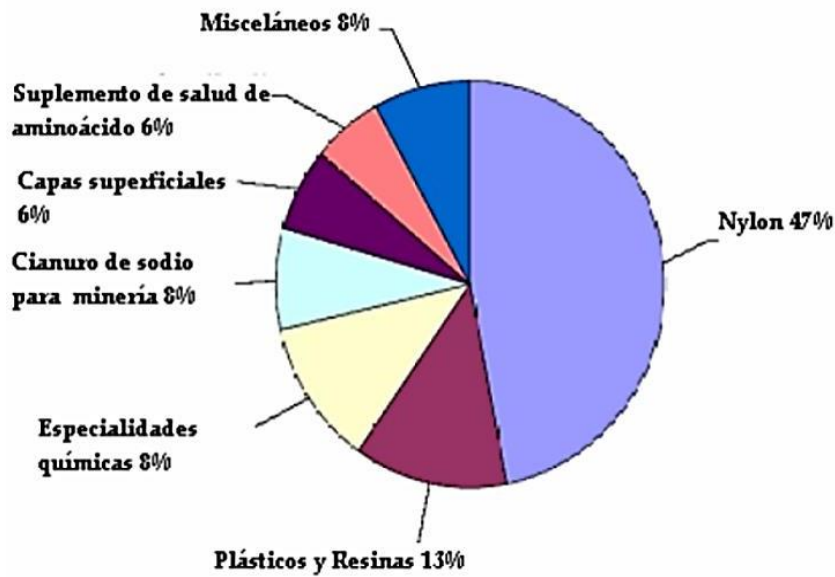
Además, se deben seguir estrictamente las regulaciones y directrices establecidas por los organismos de control y gestión ambiental para el manejo seguro de sustancias que contienen cianuro, como su almacenamiento adecuado en contenedores sellados y etiquetados correctamente.

En conclusión, la volatilización del HCN es el proceso mediante el cual este compuesto se convierte en forma gaseosa y se dispersa en el aire. Factores como la temperatura, la agitación y la exposición a la luz ultravioleta pueden acelerar este proceso. Sin embargo, debido a la toxicidad del HCN, es fundamental tomar precauciones adecuadas y seguir las normativas de seguridad para evitar la exposición y minimizar los riesgos para la salud humana y el medio ambiente (17).

#### **2.2.8. Usos industriales del cianuro**

La industria química utiliza el cianuro como uno de sus principales compuestos debido a su composición de carbono y nitrógeno, que son elementos comunes en muchas moléculas orgánicas. Además, el cianuro tiene la capacidad de reaccionar fácilmente con otras sustancias, lo que lo hace versátil y útil en diversas aplicaciones industriales.

**Figura 2: Uso industrial del cianuro**



Fuente: (19)

El cianuro ha sido utilizado en diversos usos industriales, aunque su empleo está sujeto a regulaciones estrictas debido a su toxicidad y potencial impacto ambiental. A continuación, se proporciona una explicación de algunos de los usos más destacados del cianuro en la industria:

**Extracción de oro y plata:** Uno de los usos más conocidos del cianuro en la industria es en la extracción de oro y plata de minerales. El cianuro se utiliza para disolver y extraer los metales preciosos formando complejos solubles de cianuro metálico. Este proceso se conoce como lixiviación de cianuro o cianuración y es ampliamente utilizado en la minería (19).

**Industria química:** El cianuro se emplea en la producción de una variedad de productos químicos y compuestos. Por ejemplo, se utiliza en la fabricación de plásticos, como el poliacrilonitrilo, que se utiliza en la producción de fibras sintéticas y textiles. Además, se emplea en la síntesis de productos farmacéuticos, pesticidas y colorantes.

**Galvanoplastia:** La galvanoplastia, también conocida como electrochapado, es un proceso utilizado para recubrir objetos metálicos con una capa delgada de otro metal. El cianuro se utiliza como parte de la solución electrolítica en este proceso para facilitar la deposición del metal sobre la superficie del objeto.

**Industria del acero y metales:** El cianuro se emplea en ciertas etapas de la producción de acero y metales no ferrosos, como el níquel y el cobalto. Se utiliza en procesos de tratamiento térmico y de temple para mejorar la resistencia y las propiedades físicas de los metales.

Es importante destacar que el uso industrial del cianuro está sujeto a regulaciones estrictas y se requieren precauciones especiales para minimizar el riesgo para la salud humana y el medio ambiente. Los efluentes y residuos que contienen cianuro deben ser tratados adecuadamente antes de su descarga para evitar la contaminación de los cuerpos de agua y garantizar la protección ambiental.

En muchos casos, se fomenta la investigación y el desarrollo de alternativas menos tóxicas al cianuro en los procesos industriales. Esto incluye el desarrollo de métodos de extracción de metales preciosos que utilizan técnicas más sostenibles y menos dañinas para el medio ambiente.

El cianuro se utiliza en diversos usos industriales, como la extracción de oro y plata, la industria química, la galvanoplastia y la producción de acero y metales. Sin embargo, su uso está sujeto a regulaciones estrictas debido a su toxicidad y se requieren precauciones adecuadas para minimizar los riesgos para la salud humana y el medio ambiente (19).

### **2.2.9. Uso del cianuro en la producción de oro**

El alto valor atribuido al oro se debe, en parte, a su resistencia frente al ataque de la mayoría de los productos químicos. Sin embargo, el cianuro, en forma de una solución que contiene cianuro, es una excepción a esta resistencia y puede disolver el metal precioso. Es por esta razón que el cianuro se utiliza en la industria minera para extraer oro y plata de los minerales.

Específicamente, el cianuro se emplea en la extracción de oro y plata de minerales de baja ley, así como de aquellos minerales que no pueden ser tratados fácilmente mediante procesos físicos simples, como la trituración y la separación por gravedad. La solución de cianuro se utiliza en un proceso conocido como cianuración, en el cual el cianuro reacciona con el oro y la plata presentes en el mineral, formando complejos solubles que pueden ser separados y recuperados posteriormente.

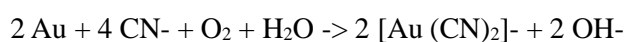
La utilización del cianuro en la minería ha sido objeto de debate debido a los riesgos potenciales para el medio ambiente y la salud humana. Por esta razón, se han implementado regulaciones y prácticas estrictas para minimizar los impactos negativos y asegurar un manejo seguro y responsable del cianuro en la industria minera.

El cianuro de sodio es un compuesto químico ampliamente utilizado en la industria minera para la lixiviación de oro. Es un sólido cristalino de color blanco que se disuelve fácilmente en agua, formando una solución altamente alcalina conocida como solución de cianuro. Esta solución se

utiliza para disolver el oro presente en minerales y concentrados, permitiendo su posterior extracción y recuperación (20).

La eficacia del cianuro de sodio en la lixiviación de oro se debe a su capacidad para formar complejos solubles con el oro. Cuando se agrega cianuro de sodio a la pulpa de mineral aurífero, el cianuro se disocia en iones de cianuro (CN<sup>-</sup>) en presencia de agua. Estos iones de cianuro reaccionan con el oro metálico, formando complejos de cianuro de oro estables y solubles en agua.

La reacción química general que ocurre durante la lixiviación de oro con cianuro de sodio se conoce como la reacción de Elsner (20):



Esta reacción muestra cómo los iones de cianuro y el oxígeno disuelto en la solución actúan conjuntamente para disolver el oro en forma de complejo de cianuro de oro. La presencia de iones hidróxido (OH<sup>-</sup>) se debe a que el cianuro de sodio es un compuesto altamente alcalino, lo que proporciona un entorno adecuado para la disolución del oro (20).

Es importante destacar que el cianuro de sodio es un compuesto tóxico y peligroso si se maneja de manera inapropiada. Por esta razón, se implementan estrictas medidas de seguridad y manejo en su uso. Las instalaciones que emplean cianuro de sodio en la lixiviación de oro deben contar con sistemas de contención, manejo de residuos y control de emisiones para minimizar los riesgos para la salud humana y el medio ambiente.

Además, para asegurar una lixiviación eficiente y controlada, se monitorea cuidadosamente la concentración de cianuro en la solución de lixiviación. Un exceso de cianuro puede ser perjudicial, ya que puede conducir a la formación de especies cianuradas adicionales y aumentar los riesgos ambientales. Por otro lado, una concentración insuficiente de cianuro puede disminuir la velocidad y la eficacia de la lixiviación del oro (20).

Después de completar la lixiviación, se lleva a cabo el proceso de recuperación del oro a partir de la solución de cianuro. Esto puede implicar la adsorción del oro en carbón activado, seguido de la desorción y electrólisis para obtener el oro metálico. También se pueden emplear otros métodos, como la precipitación química o el uso de resinas de intercambio iónico.

En resumen, el cianuro de sodio desempeña un papel fundamental en la lixiviación de oro, permitiendo la disolución del metal precioso en forma de complejos de cianuro de oro solubles. Sin embargo, su uso requiere una gestión y manejo cuidadosos debido a su toxicidad. Las instalaciones mineras deben cumplir con estrictas regulaciones y prácticas de seguridad para

garantizar la protección de la salud humana y el medio ambiente durante todo el proceso de lixiviación y recuperación del oro (20).

#### **2.2.10. Residuos de cobre en la lixiviación de oro**

Durante el proceso de lixiviación de oro, es común que se generen residuos de cobre debido a la presencia de minerales de cobre en el mineral de oro y a la acción de los agentes lixiviantes utilizados. Estos residuos de cobre pueden ser tanto sólidos como líquidos, y es importante gestionarlos de manera adecuada para minimizar los impactos ambientales y cumplir con las regulaciones aplicables (21).

En el caso de los residuos sólidos, generalmente se trata de los relaves o colas de la lixiviación, que son los materiales que quedan después de extraer el oro de la solución lixivante. Estos relaves suelen contener una variedad de minerales, incluido el cobre en forma de sulfuros de cobre. La presencia de cobre en los relaves puede depender de factores como la composición del mineral de partida, la eficiencia de extracción del cobre durante la lixiviación y los métodos utilizados para recuperar el oro (21).

La gestión de los residuos sólidos de cobre en la lixiviación de oro implica generalmente su disposición en instalaciones adecuadas. Esto puede incluir la construcción de depósitos de relaves, que son áreas especialmente diseñadas y revestidas para evitar la contaminación del suelo y las aguas subterráneas. Además, se pueden implementar medidas para estabilizar los relaves y minimizar los riesgos de dispersión de los contaminantes, como la revegetación o el uso de coberturas protectoras (21).

En cuanto a los residuos líquidos de cobre, estos suelen ser las soluciones de lixiviación que contienen concentraciones residuales de cobre después de la extracción del oro. Estas soluciones pueden ser tratadas antes de su descarga al medio ambiente para cumplir con los límites y regulaciones establecidos. Los métodos comunes de tratamiento pueden incluir la precipitación química para remover el cobre, la adsorción en resinas o carbón activado para capturar el cobre, o la electro obtención para recuperar el cobre en forma de un producto comercializable.

Es importante destacar que el manejo y tratamiento de los residuos de cobre en la lixiviación de oro deben llevarse a cabo de acuerdo con las normativas y regulaciones ambientales locales y nacionales. Además, las compañías mineras suelen implementar prácticas de gestión ambiental y monitoreo para asegurar el cumplimiento de estas regulaciones y minimizar los impactos negativos en el entorno.



Los residuos de cobre son una preocupación importante en la lixiviación de oro debido a la presencia de minerales de cobre en el mineral de oro y a la acción de los agentes lixiviantes. Estos residuos pueden ser sólidos o líquidos y requieren una gestión adecuada para minimizar los impactos ambientales. La disposición adecuada de los relaves sólidos y el tratamiento de las soluciones líquidas residuales son medidas clave para asegurar la protección del medio ambiente y el cumplimiento de las regulaciones ambientales vigentes (21).

#### **2.2.11. Regeneración del cianuro de sodio en la reutilización en la lixiviación de oro**

La regeneración del cianuro de sodio es un proceso importante en la industria minera, especialmente en la lixiviación de oro, debido a la necesidad de reutilizar el cianuro y reducir los costos asociados con su compra y disposición. La regeneración del cianuro implica la recuperación y purificación del cianuro de sodio de las soluciones de lixiviación agotadas y residuos generados durante el proceso de extracción del oro.

La regeneración del cianuro de sodio se lleva a cabo mediante varios métodos, dependiendo de las características específicas de las soluciones y los residuos de cianuro. Uno de los métodos comunes implica la precipitación química del cianuro de sodio en forma de cianuro de cobre o cianuro de hierro. Esta precipitación se logra mediante la adición controlada de sales de cobre o hierro a la solución, lo que provoca la formación de complejos insolubles de cianuro metálico (22).

Una vez que se ha realizado la precipitación, los complejos de cianuro metálico se separan de la solución mediante procesos de filtración o sedimentación. Posteriormente, los precipitados se someten a un proceso de lavado para eliminar impurezas y se les aplica un tratamiento químico para convertirlos nuevamente en cianuro de sodio soluble. Este proceso de conversión se lleva a cabo mediante la adición de soluciones alcalinas para disolver los precipitados y regenerar el cianuro de sodio (22).

Además de la precipitación química, existen otros métodos para la regeneración del cianuro de sodio. Uno de ellos es el proceso de adsorción en resinas, en el cual las soluciones de cianuro agotadas se pasan a través de resinas de intercambio iónico específicas para capturar y concentrar el cianuro. Posteriormente, el cianuro se efluye de las resinas con soluciones alcalinas, obteniendo así cianuro de sodio regenerado y listo para su reutilización (22).

La regeneración del cianuro de sodio presenta varias ventajas. En primer lugar, reduce la necesidad de adquirir grandes cantidades de cianuro fresco, lo que implica ahorros significativos en costos. Además, ayuda a minimizar el impacto ambiental al reducir la

generación de residuos de cianuro y la necesidad de su disposición. También es una medida responsable desde el punto de vista de la seguridad, ya que reduce los riesgos asociados con el transporte y el almacenamiento de grandes cantidades de cianuro (22).

Es importante destacar que el proceso de regeneración del cianuro de sodio debe llevarse a cabo de manera cuidadosa y bajo condiciones controladas para garantizar la eficacia y la seguridad. Se deben seguir estrictas regulaciones y prácticas de manejo para prevenir la liberación de cianuro al medio ambiente y proteger la salud humana.

En conclusión, la regeneración del cianuro de sodio es esencial en la lixiviación de oro para permitir su reutilización y reducir los costos asociados con su adquisición y disposición. Mediante procesos como la precipitación química o la adsorción en resinas, se recupera el cianuro de sodio de las soluciones agotadas, permitiendo su conversión nuevamente en una forma utilizable. La regeneración del cianuro de sodio representa una práctica ambientalmente responsable y económicamente viable en la industria minera (22).

#### **2.2.12. Presencia de cobre en la solución de cianuro de sodio**

La presencia de cobre en la solución de cianuro puede tener varios efectos negativos en el proceso de lixiviación de oro. Algunas de las principales consecuencias son las siguientes:

**Reducción de la velocidad de lixiviación:** El cobre puede competir con el oro por los sitios de adsorción en los minerales de carbono o resinas utilizados en el proceso de lixiviación. Esto puede disminuir la velocidad a la que el oro se disuelve en la solución de cianuro, lo que resulta en una lixiviación más lenta y menor eficiencia en la extracción del oro (23).

**Formación de complejos indeseables:** El cobre puede formar complejos de cianuro de cobre en la solución, lo que puede interferir con la formación de complejos de cianuro de oro. Estos complejos de cobre-cianuro no son deseables, ya que pueden reducir la disponibilidad de cianuro para disolver el oro y, por lo tanto, disminuir la eficiencia de la lixiviación.

**Problemas de estabilidad de la solución:** Altas concentraciones de cobre en la solución de cianuro pueden causar problemas de estabilidad, como la formación de precipitados o la generación de espumas indeseables. Esto puede afectar la eficiencia de los procesos de separación sólido-líquido, obstruir tuberías y equipos, y dificultar la recuperación eficiente del oro (23).

**Impacto en la recuperación de metales valiosos:** El cobre presente en la solución de cianuro puede afectar negativamente la recuperación de metales valiosos, como el oro y la plata, durante

los procesos de extracción y electro obtención. El cobre puede interferir con la deposición del oro y la plata en los cátodos durante la electro obtención, lo que resulta en una menor eficiencia de recuperación.

En general, la presencia de cobre en la solución de cianuro puede provocar una disminución en la eficiencia y la velocidad de la lixiviación de oro, así como complicaciones en los procesos de separación y recuperación de metales valiosos. Por lo tanto, es necesario eliminar o reducir adecuadamente el cobre de la solución de cianuro antes de su uso en la lixiviación de oro (23).

### **2.2.13. Problemas producidos por el cianuro de sodio**

El cianuro de sodio presenta una serie de problemas y riesgos debido a su alta toxicidad y su potencial para causar daños al medio ambiente y a la salud humana. Algunos de los problemas más destacados relacionados con el cianuro de sodio son (26):

- Toxicidad para los seres humanos: El cianuro de sodio es extremadamente tóxico para los seres humanos y puede causar envenenamiento grave e incluso la muerte si se ingiere, inhala o se absorbe a través de la piel en cantidades suficientes. Los síntomas de la exposición incluyen dificultad para respirar, mareos, convulsiones y colapso cardiovascular.
- Impacto en la vida acuática: Las descargas de cianuro no tratado en cuerpos de agua pueden ser devastadores para la vida acuática. El cianuro interfiere con el sistema de transporte de oxígeno en las células, lo que puede llevar a la asfixia de los organismos acuáticos.
- Contaminación del suelo y agua subterránea: El cianuro puede filtrarse en el suelo y llegar a las capas de agua subterránea, contaminando tanto el suelo como el agua potable. Esto puede tener efectos a largo plazo en la calidad del agua y la salud del ecosistema.
- Riesgos en la minería y procesamiento de metales: El uso de cianuro en la minería de oro y plata plantea riesgos tanto para los trabajadores mineros como para las comunidades cercanas. Las fugas o derrames de soluciones de cianuro pueden poner en peligro la salud de las personas que trabajan en la minería y los residentes locales.
- Accidentes y desastres ambientales: Los accidentes que involucran cianuro pueden tener consecuencias graves. Derrames de soluciones de cianuro o fallas en los sistemas de contención pueden resultar en liberaciones significativas de cianuro al medio ambiente, causando daños considerables en la vida acuática y en los ecosistemas.
- Resistencia y acumulación en la cadena alimentaria: Aunque en cianuro se degrada con el tiempo, la acumulación de pequeñas cantidades en la cadena alimentaria puede ser perjudicial para la salud de los animales y los seres humanos que consumen organismos afectados.

- Problemas de eliminación: La eliminación segura de cianuro residual y productos relacionados con su tratamiento puede ser un desafío, ya que se deben evitar liberaciones inadvertidas en el medio ambiente.

#### **2.2.14. Efecto del cobre en el medio ambiente**

El cobre y el cianuro de sodio pueden tener efectos significativos en el medio ambiente si no se manejan adecuadamente. Aquí se describen algunos de los impactos potenciales asociados con estos compuestos:

Efectos del cobre en el medio ambiente:

La liberación de residuos de cobre en el medio ambiente puede tener varios efectos negativos, ya que el cobre es un metal pesado que puede ser tóxico para los organismos vivos en ciertas concentraciones. Aquí hay algunos de los posibles efectos de los residuos de cobre en el medio ambiente (26):

- Contaminación del agua: Las aguas superficiales y subterráneas pueden contaminarse con residuos de cobre, especialmente en áreas cercanas a actividades mineras, fundiciones de cobre, o donde se vierten desechos industriales. Esto puede afectar la calidad del agua y poner en riesgo la vida acuática.
- Toxicidad para la vida acuática: El cobre en concentraciones elevadas puede ser tóxico para los organismos acuáticos, como peces, crustáceos e insectos acuáticos. Puede interferir con sus sistemas nerviosos y otros procesos fisiológicos, lo que lleva a la mortalidad y la disminución de la biodiversidad en los cuerpos de agua.
- Acumulación en los suelos: Los residuos de cobre pueden acumularse en los suelos, especialmente en áreas cercanas a fuentes de liberación. Esto puede tener efectos negativos en la salud de las plantas y otros organismos del suelo, alterando los ciclos naturales de nutrientes.
- Impactos en la vegetación terrestre: Las plantas pueden ser sensibles a las concentraciones elevadas de cobre en el suelo. El cobre puede afectar la absorción de nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas y alterar su metabolismo.
- Contaminación de alimentos y cadenas alimenticias: Si los residuos de cobre llegan a cultivos agrícolas o pastizales, pueden acumularse en los tejidos de los vegetales y ser ingeridos por animales que los consumen, lo que podría resultar en la bioacumulación del metal en las cadenas alimenticias.

- Impactos en la salud humana: La exposición prolongada a concentraciones elevadas de cobre en el agua potable o en alimentos puede tener efectos negativos en la salud humana, incluyendo problemas gastrointestinales y daños al hígado y los riñones.
- Cambios en los ecosistemas acuáticos: La contaminación por cobre puede alterar los ecosistemas acuáticos al cambiar las dinámicas de las poblaciones de organismos y la estructura de las comunidades, lo que a su vez puede tener efectos cascada en todo el ecosistema.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Método, tipo y nivel de investigación**

##### **3.1.1. Métodos de la investigación**

El método de investigación científica fue el que se aplicó en este estudio. Este método, es un proceso sistemático y riguroso que busca obtener conocimientos nuevos, verificar hipótesis o resolver problemas mediante la aplicación de métodos científicos (24). Estos métodos siguen una serie de etapas bien definidas. A continuación, se presenta una explicación general de estas etapas:

**Planteamiento del problema:** Se identifica y define claramente el problema de investigación, estableciendo preguntas de investigación o hipótesis que se pretenden responder o probar.

**Revisión de la literatura:** Se realiza una búsqueda exhaustiva de estudios previos y literatura relevante sobre el tema de investigación para familiarizarse con el conocimiento existente y establecer el contexto del estudio.

**Diseño de la investigación:** Se determina el diseño y los métodos de investigación más apropiados para abordar el problema planteado. Esto incluye la selección de muestras, la recopilación de datos, la elección de las variables a medir y las técnicas de análisis de datos.

**Recopilación de datos:** Se lleva a cabo la recopilación de información mediante técnicas específicas, como encuestas, experimentos, observaciones, entrevistas u otras herramientas de investigación. Se asegura que los datos recopilados sean confiables, válidos y representativos de la población o fenómeno en estudio.

**Análisis de datos:** Los datos recopilados se analizan utilizando métodos estadísticos u otros enfoques apropiados. Esto implica la interpretación de los resultados obtenidos y la búsqueda de patrones, relaciones o tendencias significativas en los datos.

**Conclusiones:** Se extraen conclusiones basadas en los resultados del análisis de datos y se comparan con las preguntas de investigación o hipótesis planteadas inicialmente. Se evalúa si los datos respaldan o refutan las afirmaciones iniciales y se establece su relevancia en el contexto más amplio del campo de estudio.

**Comunicación de resultados:** Se presentan los resultados y conclusiones de la investigación en informes, artículos científicos, presentaciones o cualquier otro medio adecuado. Esto permite

compartir el conocimiento generado con la comunidad científica y la sociedad en general, fomentando el avance del campo de estudio y la toma de decisiones informadas.

Es importante destacar que el método científico es un proceso iterativo y acumulativo, lo que significa que los resultados y conclusiones obtenidos pueden generar nuevas preguntas de investigación y dar lugar a investigaciones posteriores. Además, la investigación científica se rige por principios éticos que incluyen la integridad, la transparencia y la protección de los derechos de los participantes en el estudio.

### **3.1.2. Tipo de la investigación**

Por finalidad de este estudio el tipo de investigación es aplicada. La investigación aplicada se centra en la aplicación práctica de los conocimientos científicos existentes para resolver problemas específicos o abordar necesidades concretas en diferentes ámbitos. A diferencia de la investigación pura, que busca generar conocimiento por sí mismo, la investigación aplicada se orienta hacia la solución de problemas prácticos y la mejora de situaciones reales (25)

En la investigación aplicada, se identifica un problema o una necesidad práctica y se busca desarrollar soluciones efectivas basadas en el conocimiento científico existente. Este tipo de investigación se caracteriza por su enfoque orientado a la acción y la implementación de los resultados obtenidos.

El objetivo principal de la investigación aplicada es generar información y conocimientos que puedan ser utilizados directamente en el desarrollo de políticas, programas, productos o intervenciones concretas. Se busca la transferencia de los resultados de investigación a la práctica, con el propósito de mejorar procesos, tomar decisiones fundamentadas o abordar desafíos específicos en diversos campos.

La investigación aplicada se lleva a cabo en colaboración con diferentes actores, como instituciones gubernamentales, organizaciones no gubernamentales, empresas privadas u otros grupos interesados en resolver problemas prácticos. Estas colaboraciones permiten que los resultados de la investigación se apliquen de manera efectiva en contextos reales y se traduzcan en acciones concretas.

A lo largo del proceso de investigación aplicada, se utilizan métodos científicos para recopilar datos, analizarlos y sacar conclusiones que sean relevantes y aplicables al problema en cuestión. La investigación puede implicar la realización de experimentos, estudios de casos, análisis de datos existentes o cualquier otro enfoque que permita obtener información valiosa y práctica.

Este tipo de investigación aplicada se enfoca en la aplicación práctica de los conocimientos científicos existentes para resolver problemas específicos. Su objetivo es generar información y soluciones que puedan ser utilizadas directamente en la práctica y que tengan un impacto positivo en el mundo real.

### **3.1.3. Nivel de la investigación**

El nivel de esta investigación es explicativo. En la literatura se encuentra que este nivel de investigación es aquel que permite responder, explicando, las causas de los efectos, hechos, acontecimientos y fenómenos físicos o sociales, que se van a manifestar en una o varias características de interés del caso investigado (24).

Para este caso particular, el objetivo se orientó a explicar cómo se van a manifestar los efectos que van a ocasionar la dosis de amonio cuaternario, temperatura y el pH de soluciones sintéticas; que poseen características similares a los efluentes mineros procedentes de la lixiviación de oro, sobre la cantidad de cobre removido de estas soluciones.

## **3.2. Diseño experimental**

La estrategia que se aplicó para obtener datos que permitieron dar respuesta a la pregunta de investigación, a nivel explicativo, fue adoptando un diseño experimental factorial (24). Pues como ya se indicó, se eligió tres factores para evaluar sus efectos en el proceso de precipitación química para remover cobre de soluciones sintéticas. A cada uno de estos factores se le asignó dos niveles para la experimentación, por lo que el diseño factorial que corresponde es el  $2^3$ . Para el primer factor, dosis de amonio cuaternario, los niveles fueron: 2 y 7 g/L. Para el segundo factor, pH de a solución sintética, los niveles fueron: 8 y 10. Y, para el tercer factor, temperatura de la solución, los niveles fueron: 17 °C y 20 °C.

Como en los diseños factoriales, la cantidad de ensayos experimentales básicos, se obtiene combinando todos los niveles de los factores que se eligieron para evaluar, entonces el diseño que resultó con sus respectivas replicas, se puede apreciar a continuación, en la siguiente tabla.



**Tabla 2. Esquema del diseño experimental.**

N°	Factores evaluados (manipulados en los ensayos)			Factor o variable de observación Porcentaje de cobre removido		
	Dosis de amonio cuaternario	pH de solución	Temperatura de solución	Ensayo I	Ensayo II	Ensayo III
1	2.0	8	17	Resultado (1)	Resultado (2)	Resultado (3)
2	2.0	8	20	Resultado (4)	Resultado (5)	Resultado (6)
3	2.0	10	17	Resultado (7)	Resultado (8)	Resultado (9)
4	2.0	10	20	Resultado (10)	Resultado (11)	Resultado (12)
5	7.0	8	17	Resultado (13)	Resultado (14)	Resultado (15)
6	7.0	8	20	Resultado (16)	Resultado (17)	Resultado (18)
7	7.0	10	17	Resultado (19)	Resultado (20)	Resultado (21)
8	7.0	10	20	Resultado (22)	Resultado (23)	Resultado (24)

### 3.3. Población y muestra

La unidad o sujetos de análisis que integran a la población de esta investigación poseen las características siguientes: solución sintética cianurada con características similares a la de los efluentes mineros provenientes de la lixiviación de oro con soluciones cianuradas. Con concentración de cobre en la solución sintética de 700 ppm y de cianuro 2500 ppm. Esta solución sintética se preparó, de acuerdo con lo indicado en la sección 3.4, con las sustancias que se indican en la tabla 3.

**Tabla 3. Sustancias que se utilizaron para preparar la solución sintética cianurada**

<b>Sustancia</b>	<b>Peso</b>
Sulfato de cobre pentahidratado al 99% de pureza	6.9435 g en 2.5 L de solución
Cianuro de sodio al 99.1 % de pureza	11.8791 g en 2.5 L de solución
Oxido de calcio al 92.8 % de pureza	2.9600 g en 2.5 L de solución

La muestra que se utilizó para cubrir todos los ensayos de acuerdo con el diseño factorial, fueron 2400 mL.

En la revisión bibliográfica se encontró las soluciones sintéticas que emplearon en las investigaciones sobre la eliminación de cobre. En todas ellas indican que estas soluciones preparadas son semejantes a los que se manejan dentro de los procesos de lixiviación de minerales auríferos. Entre ellas tenemos:

Feng Xie y David Dreisinger prepararon mezclas de soluciones sintéticas de cianuro de cobre y sodio, en el que el cianuro total tiene una concentración de 2045.6 mg/L y el ion cobre de 250 mg/L, con el fin de desarrollar experimentos que permita estudiar la recuperación de cianuro de cobre, partiendo de soluciones cianuradas, utilizando guanidina.

Michael R. Davis, Murdoch W. MacKenzie y Kathryn C. Sole, prepararon soluciones sintéticas cuya concentración en cianuro total fue de 424 mg/L y cobre de 912 mg/L. el objetivo de ello fue usar estas soluciones en sus experimentos orientados a recuperar cobre y cianuro de soluciones semejantes a los producidos en lixiviación de minerales de cobre y oro.

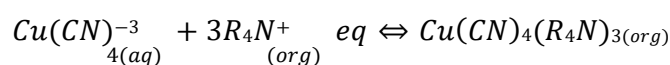
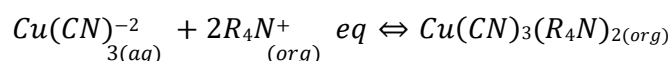
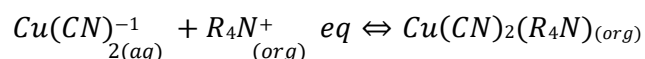
Alonso González, F. Nava Alonso, C. Jiménez Velasco y A. Uribe Salas, también utilizaron soluciones sintéticas de cianuro de cobre, con alto contenido de cobre y cianuro. La concentración de cianuro fue de 2700 mg/L y la de cobre de 730 mg/L. y esta investigación es la que fue tomado como referencia para la preparación de la solución cianurada en este estudio.

### **3.3.1. Mecanismo de la precipitación de cobre con especies de amonio cuaternario**

De los tres estados de oxidación que tiene el cobre (+1, +2 y +3), se da la particularidad que en soluciones cianuradas el cobre actúa con su valencia +1. Y, en estas circunstancias las sustancias que se genera con los iones cianuro son las siguientes:  $\text{Cu}(\text{CN})_{2(\text{acuoso})}^{-1}$ ,  $\text{Cu}(\text{CN})_{3(\text{acuoso})}^{-2}$ ,  $\text{Cu}$

$(CN)_{4(acuoso)}^{-3}$  y  $CuCN_{(sólido)}$ . Esta particularidad, sobre todo con las tres primeras sustancias cupro cianuradas, que poseen cargas negativas, les confiere la posibilidad de combinarse con sustancias de carga positiva. Esta es una de las razones por la que se emplea especies de amonio cuaternario, que se representan en forma general con la fórmula  $R_4N^+_{(org)}$

Las reacciones que se manifiestan entre las sustancias cupro cianuradas y una sustancia de amonio cuaternario son:



Entonces, de acuerdo con estas reacciones químicas, para promover que el cobre sea precipitado en mayor cantidad en medio acuoso, es recomendable que se enlace con el ion cianuro formando las tres sustancias cupro cianuradas  $Cu(CN)_{2(acuoso)}^{-1}$ ,  $Cu(CN)_{3(acuoso)}^{-2}$ ,  $Cu(CN)_{4(acuoso)}^{-3}$ .

<sup>3</sup>. Pues, son estas sustancias las que serán precipitadas con el amonio cuaternario, mas no cuando el cobre está formando el  $CuCN_{(sólido)}$ . Para ello, será necesario encontrar condiciones adecuadas de temperatura, pH y concentración de iones cianuro y cobre.

En termino generales, el mecanismo del proceso de precipitación de cobre presente en soluciones cianuradas inicia con modificación del pH a un nivel en el que alcanzar concentraciones de las tres especies cupro cianuradas según el equilibrio químico que gobierne a cada reacción. Luego de esto, con las especies formadas, al adicionar una especie de amonio cuaternario, las sustancias cupro cianuradas se enlazarán formando precipitado que luego se podrá separar de la solución.

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

Para lograr los objetivos que se planteó en esta investigación, las técnicas que se aplicaron fueron: la experimentación y la observación directa del fenómeno de precipitación química. La experimentación, es la técnica mediante el cual se ha manipulado variables de manera controlada, que, fueron tres factores, cada uno con sus dos niveles (ver tabla 1).

Los instrumentos que se utilizaron en el laboratorio fueron:

- Mezclador magnético.

- Medidor de temperatura.
- Medidor de pH.
- Balanza analítica.
- Vasos de precipitado.
- Fiola de 1L y 0.5 L
- Equipo de filtración al vacío.
- Filtro de fibra de vidrio con tamaño de poro de 1.0  $\mu\text{m}$ .
- Micropipetas de 1000 a 5000  $\mu\text{l}$  y de 100 a 1000  $\mu\text{l}$ .
- Instrumental de laboratorio.
- Recipientes plásticos con tapa para toma de muestra

Los reactivos que se emplearon para la preparación de soluciones y también en el desarrollo del experimento fueron:

- Sulfato de cobre pentahidratado.
- Cianuro de sodio.
- Oxido de calcio
- Ácido sulfúrico grado reactivo
- Cloruro de benzalconio (amonio cuaternario)
- Agua destilada.

Las etapas de la experimentación para conseguir los datos relevantes fueron tres:

- **Etapas de la experimentación:**
  - a) **Etapa 1: Preparación de las soluciones sintética y reactivos para precipitación**  
 La solución sintética que fue preparada para todos los ensayos tuvo una concentración en cianuro de 2500 mg/L y en total de cobre 700 mg/L. Para cubrir el volumen total requerido de muestra (2.4 L), se preparó 2.5 L, disolviendo: sulfato de cobre pentahidratado ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) = 6.9435 g, cianuro de sodio ( $\text{NaCN}$ ) = 11.8791 g y oxido de calcio ( $\text{CaO}$ ) = 2.9600 g, en agua destilada, de modo tal que, se afora hasta el volumen de la fiola utilizada. Los materiales de laboratorio que se emplearon para tal fin fueron: fiolas de 1000 mL y 500 mL, balanza analítica, agua destilada y, compuestos químicos mencionados de grado reactivo.
  - b) El reactivo para disminuir el pH de la solución sintética, según los niveles establecidos en el diseño experimental, fue una solución de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) a una concentración de 2.5 N. De esta solución se ha preparado 50 mL, disolviendo 3.438 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  grado reactivo en agua destilada aforado en una fiola de 50 mL. El ácido

sulfúrico (grado reactivo) tiene 97% en peso de pureza y una densidad de 1.84 g/mL. Los materiales de laboratorio que se utilizó en este caso fueron fiola de 50 mL, micropipeta de 0 a 5 mL y ácido sulfúrico.

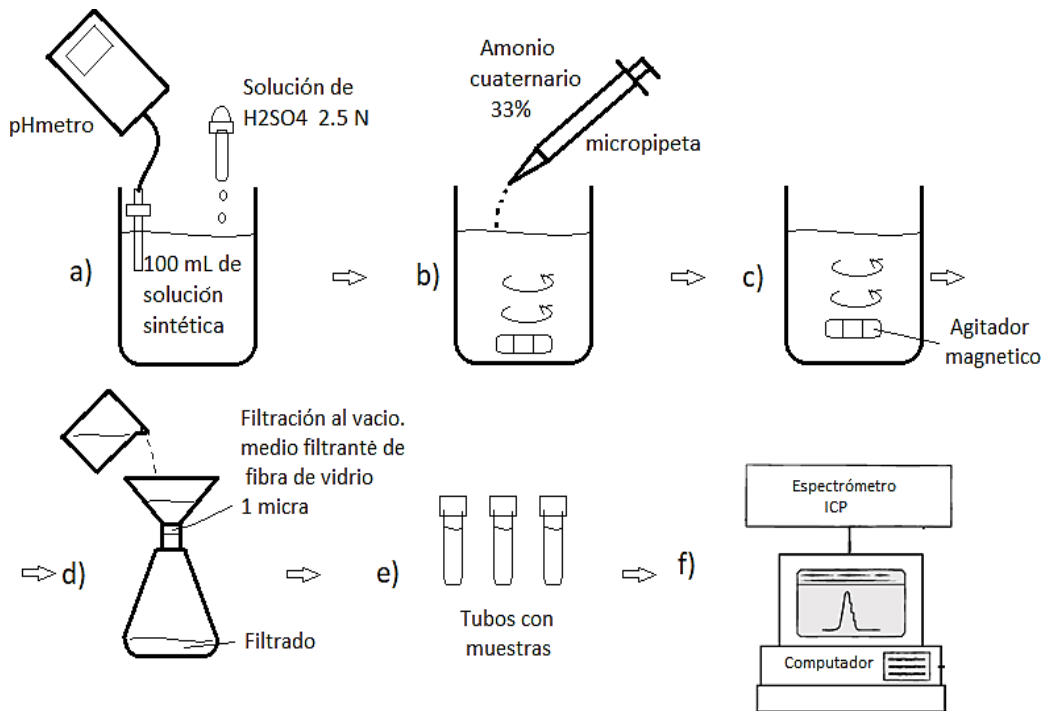
- c) El amonio cuaternario que se utilizó para llevar a cabo la precipitación química fue la sal de cloruro de benzalconio. El producto comercial de esta sal viene a una concentración de 33 % peso/volumen. Y, para alcanzar la concentración de cada ensayo, según el nivel de concentración establecida en el diseño experimental, fue adicionado; con la ayuda de una micropipeta, las cantidades de: 0.6098 mL del producto comercial en 100 ml de solución sintética para una concentración de 2 g/L, y 2.1672 mL del producto comercial en 100 mL de solución sintética para alcanzar una concentración de 7g/L.

- Etapa 2: Realización de los experimentos de precipitación.

Las fases en que se realizaron cada uno de los experimentos fueron:

- a) Regulación del pH de la solución cianurada sintética.
- b) Precipitación con amonio cuaternario (cloruro de benzalconio). Previo a la precipitación, se ha regulado la temperatura de la plataforma y velocidad de agitación del agitador magnético, con la muestra (de 100 mL) ya regulada el pH, contenida en el vaso y dispuesta sobre la plataforma del agitador. La temperatura fue regulada de acuerdo con lo indicado en el diseño experimental. Alcanzado la temperatura y el agitador en funcionamiento; en seguida, fue adicionado el precipitante (al 33% peso/volumen) para alcanzar las concentraciones 2.0 g/L y 7.0 g/L respectivamente. Los volúmenes que se adicionaron para ello fueron los que se indican en la parte c) de la etapa 1.
- c) Agitación de mezcla por 5 minutos.
- d) Filtración al vacío del producto mezclado.
- e) Almacenado del filtrado en frascos de plástico para enviar a laboratorio de análisis
- f) Análisis químico en laboratorio para determinación de cobre en la solución filtrada, mediante espectrometría con plasma acoplado por inducción (ICP)

Esquemáticamente se puede apreciar en la figura siguiente:



**Figura 3: Fases de los experimentos de precipitación**

En la realización de estos experimentos se utilizó: vasos de precipitado de 150 mL, agitador magnético, pHmetro, termómetro, equipo para filtración al vacío de laboratorio, filtro de fibra de vidrio, micropipetas de 1 a 5 mL y de 0.1 a 1 mL, tubos porta muestras de plástico.

- **Etapas 3: Determinación de la cantidad de cobre removido después de ensayos**

La cantidad de cobre removido por unidad de volumen fue determinada mediante diferencia de la concentración (en mg/l) de cobre que posee la solución cianurada sintética, menos la concentración (en mg/l) de cobre en la solución filtrada que se obtuvo después de cada experimento.

El porcentaje de cobre removido en cada prueba se obtuvo calculando el tanto por ciento de que representa el cobre que se removió por precipitación química, respecto del cobre que se tenía en la solución sintética antes de la precipitación química.

$$\%Remoción = \frac{\text{Cantidad de cobre removido}}{\text{Cantidad de cobre en solución cianurada}} * 100$$

La evaluación del efecto de los tres factores indicados en el diseño experimental, sobre el tanto por ciento de remoción, se realizó mediante el análisis de varianza aplicado a un diseño factorial  $2^3$ . Y, para ampliar el análisis de efectos principales de cada factor y sus interacciones, se emplearon diagramas de Pareto, de superficie y normal de efectos.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta parte del informe se encuentran los datos de concentraciones: de cobre en la solución sintética cianurada y, de cobre remanente en la solución filtrada que se obtuvieron después de los experimentos de precipitación química. También; en ese orden, se tiene a los resultados de cálculos del tanto por ciento de remoción de cobre y, resultados de evaluación de significancia de efectos de los factores independientes y sus interacciones; sobre el dependiente, mediante el análisis de varianza.

#### 4.1. Datos colectados en ensayos experimentales.

La solución sintética cianurada, fue preparada para obtener una concentración total de cobre de 700 mg/L. Luego de enviar muestras para el análisis en laboratorio, se obtiene que, en promedio posee una concentración de 687.96 mg/L. Existe una diferencia de 12.04 mg/L, que está asociada a los errores que se cometen en todo el manipuleo instrumental desde el pesado de reactivos hasta la preparación de la solución.

El análisis químico para la determinación de cobre fue llevado a cabo; como ya se indicó previamente, instrumentalmente en un ICP.

Los datos obtenidos de cobre remanente o presente en la solución filtrada, que se obtuvo después de cada ensayo experimental, se muestran en la tabla 4.

**Tabla 4. Concentración de cobre disuelto en solución filtrada**

N° de exper.	Dosis de amonio cuaternario	pH de solución	Temperatura de solución	Cobre disuelto (mg/L)		
				Ensayo I	Ensayo II	Ensayo III
1	2 g/L	8	17 C°	426.79	427.881	448.204
2	2 g/L	8	20 C°	398.02	387.198	395.98
3	2 g/L	10	17 C°	451.882	454.36	452.687
4	2 g/L	10	20 C°	407.186	403.218	412.032
5	7.0 g/L	8	17 C°	57.214	54.354	52.635
6	7.0 g/L	8	20 C°	43.654	40.321	39.761
7	7.0 g/L	10	17 C°	132.84	134.984	135.872



8	7.0 g/L	10	20 C°	129.646	133.784	132.634
---	---------	----	-------	---------	---------	---------

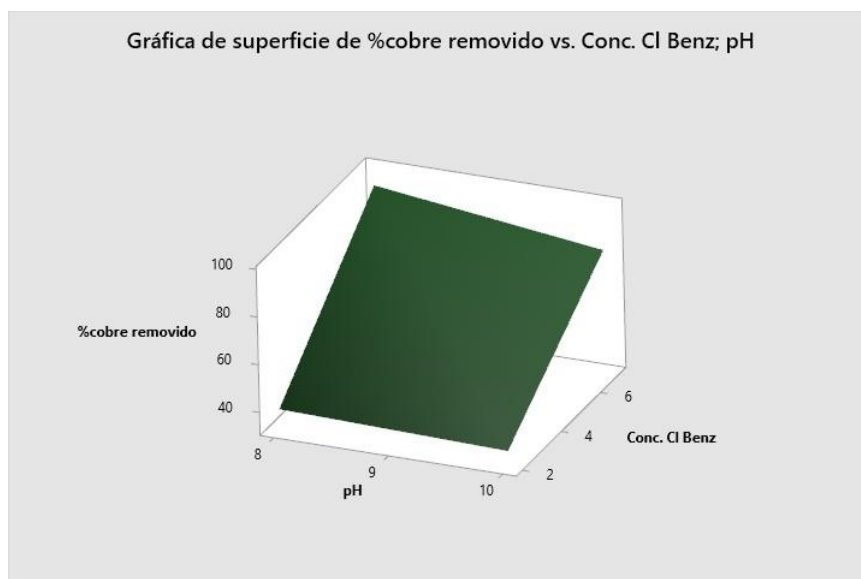
#### 4.2. Porcentaje de cobre eliminado por precipitación.

La cantidad de cobre eliminado expresado en tanto por ciento respecto del inicial, fue calculado con los datos de la tabla 4. Los resultados de cada ensayo se encuentran en la tabla 5.

**Tabla 5. Tanto por ciento de cobre eliminado por precipitación**

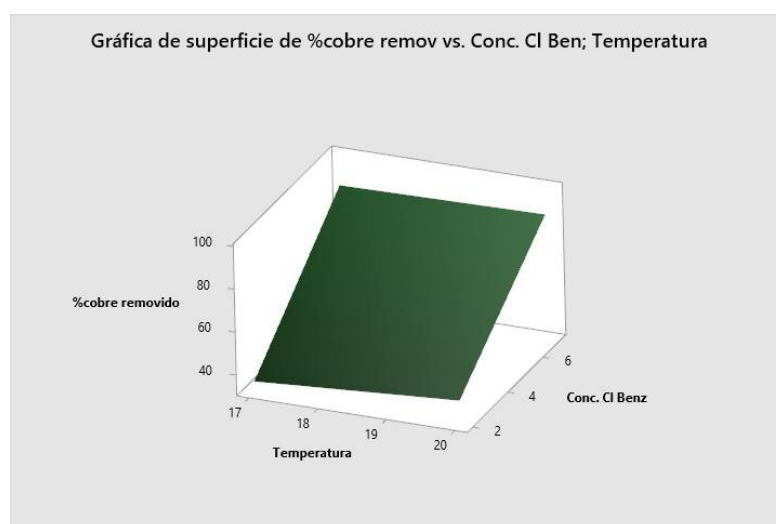
Dosis de amonio cuaternario	pH de solución	Temperatura de solución	Tanto por ciento de cobre eliminado (%)		
			Ensayo I	Ensayo II	Ensayo III
2 g/L	8	17 C°	37.96	37.80	34.85
2 g/L	8	20 C°	42.14	43.72	42.44
2 g/L	10	17 C°	34.32	33.96	34.20
2 g/L	10	20 C°	40.81	41.39	40.11
7.0 g/L	8	17 C°	91.68	92.10	92.35
7.0 g/L	8	20 C°	93.65	94.14	94.22
7.0 g/L	10	17 C°	80.69	80.38	80.25
7.0 g/L	10	20 C°	81.59	81.28	82.07

Los resultados de la tabla 4 se utilizó para representarlo en forma tridimensional, con el fin de evaluar los efectos que se observan, en el porcentaje de remoción o eliminación de cobre por precipitación, cuando los factores temperatura, pH y dosis de amonio cuaternario fueron modificados. Para facilidad de observación y evaluación, en las representaciones tridimensionales, la escala del porcentaje de remoción de cobre fue dispuesto en el eje vertical. Además, en cada caso que fue graficado, en los dos ejes horizontales, fue dispuesto las escalas de dos factores. El tercer factor fue mantenido constante a un valor promedio de los niveles del respectivo factor.



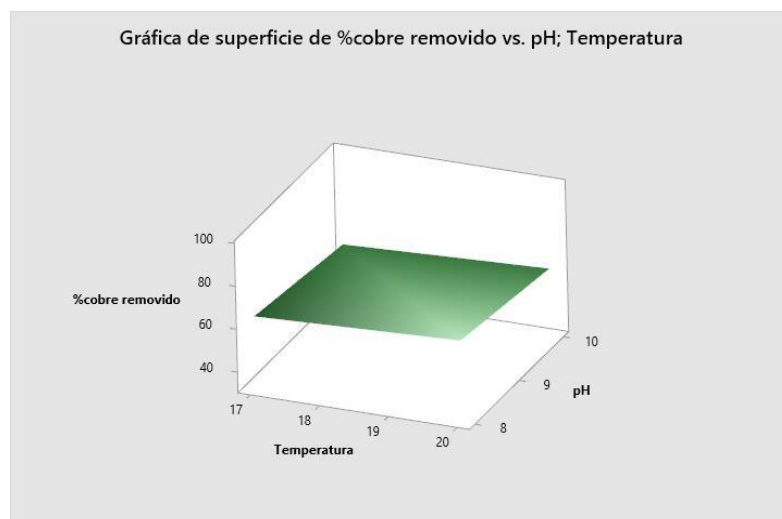
**Figura 4. Representación tridimensional con variables: dosis de amonio cuaternario y pH**

Observando la figura 4, para la evaluación, se tiene que, los factores que varían fueron pH y dosis de amonio cuaternario. Según esto, el porcentaje de cobre removido se ve bastante favorecido cuando la dosis de amonio cuaternario fue incrementada. Con respecto al pH, al incrementarlo, no contribuye favorablemente el incremento del porcentaje de cobre removido; por el contrario, disminuye.



**Figura 5. Representación tridimensional con variables: temperatura y dosis de amonio cuaternario**

En la figura 5 se observa que, cuando fue modificada la temperatura del nivel bajo al alto, el porcentaje de remoción fue favorecido, incrementándose (esta variable ejerce un efecto positivo). El efecto de la dosis de amonio es el mismo que se indicó en la figura 4.



**Figura 6. Grafica tridimensional de superficie. Factores pH y temperatura**

En la figura 6, se confirma los efectos de pH y temperatura que se explicó con las figuras 4 y 5. Y, explicando de otro modo, el porcentaje de cobre removido es favorecido cuando el pH disminuye y cuando la temperatura aumenta.

#### **4.3. Evaluación estadística de los efectos de los tres factores**

La evaluación estadística de los efectos de los factores fue llevada a cabo aplicando el análisis de varianza (ANOVA) para el diseño factorial de  $2^3$ , mediante el software minitab. Para lo cual, se tomó en cuenta los resultados de la tabla 5. Los resultados de este análisis se muestran en la tabla 6:

**Tabla 6. Resumen de análisis de varianza**

<b>Factor que origina el efecto</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>F determinado</b>	<b>Valor p</b>
Dosis de amonio	1	14050.9	14050.9	24254.71	0.000
pH	1	308.3	308.3	532.27	0.000
Temperatura	1	92.2	92.2	159.10	0.000
Interacciones					
Dosis-pH	1	138.9	138.9	239.80	0.000
Dosis-Temperatura	1	32.7	32.7	56.48	0.000
pH-Temperatura	1	0.0	0.0	0.00	0.978
Dosis-pH-Temperatura	1	0.8	0.8	1.40	0.254

Error	16	9.3	0.6		
Total	23	14633.1			

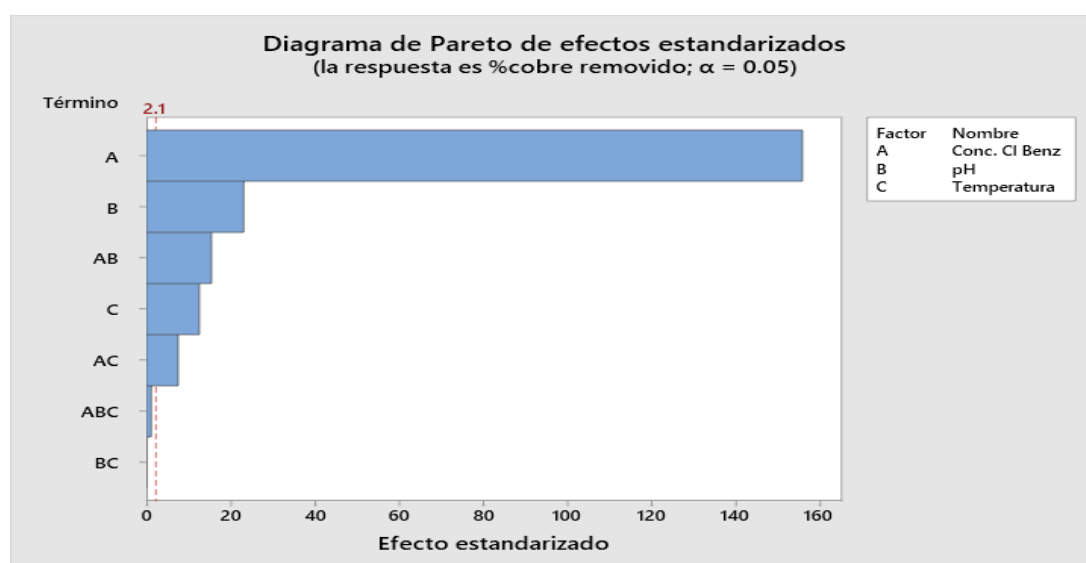
Para evaluar la significancia que tienen los efectos de los factores y sus interacciones que se observan en la variable dependiente, se consideró el criterio que se apoya en los valores P. Es decir, si el valor P obtenido para un factor que ocasiona el efecto, es mayor que 0.05; entonces, el efecto que está ocasionando ese factor o interacción sobre la variable respuesta, es poco significativo.

En función a este criterio de evaluación, y con los valores P de la tabla 6, se observa que las interacciones de pH-Temperatura y Dosis-pH y Temperatura tienen valores P de 0.978 y 0.254 respectivamente, y son mayores a 0.05. Por lo tanto, los efectos que ocasionan estas dos interacciones en el porcentaje de cobre removido, es estadísticamente poco significativos.

Se debe indicar que, la evaluación de la significancia utilizando este criterio, estadísticamente es a una confianza del 95%.

Con relación a los demás factores que originan efectos, se concluye que, sus variaciones en los niveles que se ensayaron experimentalmente modificaron significativamente al porcentaje de remoción.

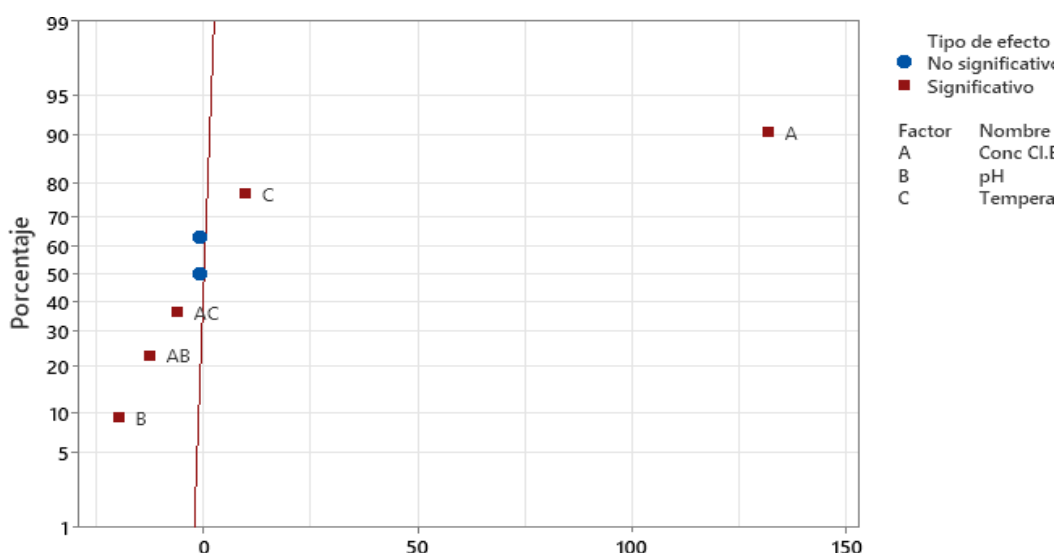
Con respecto a la magnitud de los efectos que ejercen los factores e interacciones, fue evaluado con ayuda de un diagrama de Pareto.



**Figura 7. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados**

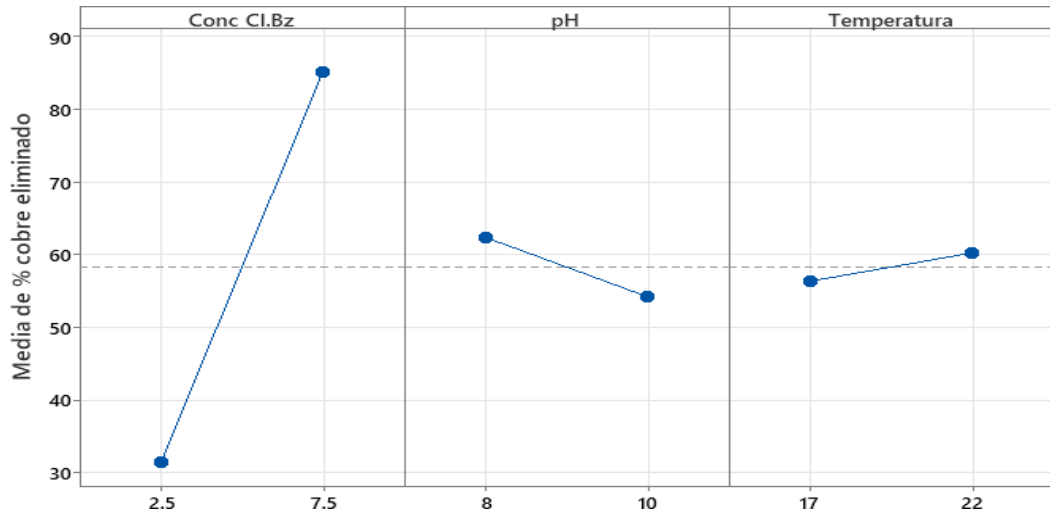
Según este diagrama (ver figura 7), se tiene a los tres factores que fueron manipulados designados con las letras A, B y C. En el diagrama se encuentran barras horizontales que corresponden a cada factor y sus interacciones. El tamaño de la cada barra permite representar a la magnitud del efecto que ejerce un factor o interacción en el porcentaje de remoción. La línea entrecortada  $z = 2.1$ , representa el límite mínimo, al que el efecto de un factor o interacción es significativo.

De acuerdo con esto, se confirma que el efecto de las interacciones pH- Temperatura y pH- Temperatura-Dosis de amonio cuaternario, que ejercen sobre el porcentaje de remoción, es insignificante. Las demás fuentes de variación ejercen un efecto estadísticamente significativo, donde, la dosis de amonio cuaternario es el que mayor efecto ejerce, mientras que la interacción dosis de amonio cuaternario- temperatura, menor efecto significativo.



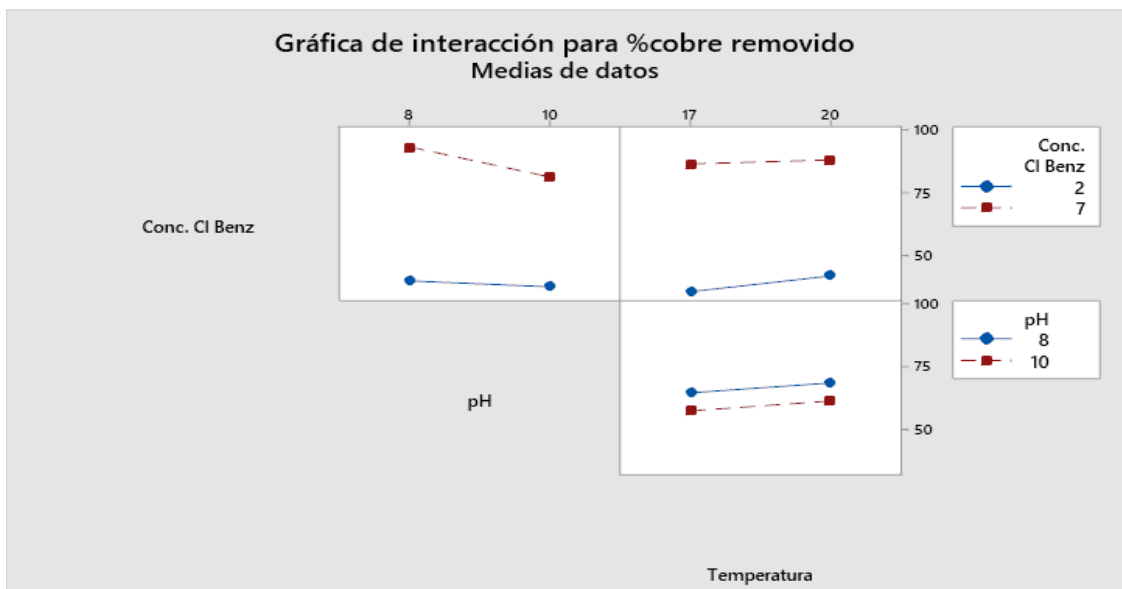
**Figura 8. Representación gráfica normal de efectos de los factores**

En la figura 8, los puntos que están a la derecha de la línea inclinada representan a los factores que ejercen un efecto positivo sobre el porcentaje de remoción. Mientras que los puntos que están a la izquierda representan a los factores e interacciones que ejercen un efecto negativo sobre el porcentaje de remoción.



**Figura 9. Representación de efectos principales**

En la figura 9, se observa los efectos positivos y negativos, de los principales factores, que se manifiesta en el porcentaje de remoción de cobre. En el caso de la dosis de amonio cuaternario y la temperatura, el efecto es positivo. En el caso del pH el efecto es negativo.



**Figura 10. Representación de efectos de interacciones**

En la figura 10, el criterio para distinguir los casos de interacciones que ejercen un efecto insignificante en el porcentaje de remoción de cobre es que las líneas sean paralelas. De acuerdo con ello, la interacción temperatura-pH, se confirma que ejerce un efecto insignificante.

## CONCLUSIONES

Se evaluó el efecto del nivel de dosificación de amonio cuaternario, pH y temperatura, en la remoción de cobre por precipitación química, de una solución sintética semejante a los efluentes mineros procedentes de la lixiviación de oro, concluyéndose que, al modificar los niveles de estos tres factores en el proceso de precipitación química, la cantidad de cobre que se remueve de la solución sintética, estadísticamente a un nivel de confianza del 95 %, afectado principalmente por el incremento de la dosis de amonio cuaternario.

Las características principales de los efluentes procedentes del proceso de lixiviación de oro, es que tienen cantidades elevadas de cobre y cianuro disueltos, normalmente contenidas entre una concentración de cobre en la solución de 700 ppm y de cianuro 2500 ppm. que pueden ser reusado en el proceso previa separación del cobre.

Al incrementar el nivel de dosificación de amonio cuaternario de 2 a 7 g/L en el proceso de precipitación química, el efecto observado en el porcentaje de remoción de cobre es favorecida notablemente. Se encontró que, el porcentaje mínimo y máximo de remoción de cobre conseguido fue de 34.2 y 42.8% respectivamente, con una dosis de 2 g/L y, de 80.4 y 94.0 %, también respectivamente, a una dosis de 7.0 g/L

En el caso del pH, el incremento de 8 a 10, ocasiona que el porcentaje de remoción de cobre por precipitación química se ve afectado negativamente, de manera notable.

Con relación a la temperatura de la solución sintética en el proceso de precipitación química, al modificar su magnitud de 17 a 20 °C, favorece a la remoción de cobre, positivamente.

## **RECOMENDACIONES**

Investigar sobre los límites de toxicidad de las sustancias cianuradas, en las soluciones sintéticas, para establecer límites de las condiciones de operación para la precipitación química.

Realizar la determinación y evaluación de la cantidad de cobre removido, a mayor cantidad de niveles de los factores evaluados, con la finalidad de establecer las condiciones de cada factor, que maximicen el proceso de precipitación química de cobre usando cloruro de benzalconio y otros tipos de amonio cuaternario.

Caracterizar las cualidades y propiedades del sólido retenido en la fase de filtración, para prever un adecuado manejo del mismo, después de la precipitación química.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DAI, Xianwen, Andrew SIMONS a Paul BREUER. A review of copper cyanide recovery technologies for the cyanidation of copper containing gold ores. *Minerals Engineering* [online]. 2012, **25**(1), 1–13. ISSN 08926875. Dostupné z: doi: 10.1016/j.mineng.2011.10.002
2. IAGUA, redaccion. El peligro oculto de la mina de Corcoesto. iAgua. Online. 18 July 2013. [Accessed 5 December 2022]. Available from: <https://www.iagua.es/blogs/plataforma-salvemos-cabana/el-peligro-oculto-de-la-mina-de-corcoesto>
3. XIE, Feng, David DREISINGER a Fiona DOYLE. A review on recovery of copper and cyanide from waste cyanide solutions. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review* [online]. 2013, **34**(6), 387–411. ISSN 15477401. Dostupné z: doi:10.1080/08827508.2012.695303
4. ALONSO-GONZÁLEZ, Omero, Margarito ZERTUCHE-SALAS, Fabiola NAVA-ALONSO a Alejandro URIBE-SALAS. Aplicación del diseño de experimentos factorial 2 k en la evaluación del uso de aminas para la remoción de complejos cobre-cianuro de soluciones de cianuración. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales* [online]. 2009, **1**(2), 821–826 [vid. 2023-06-23]. Dostupné z: [www.polimeros.labb.usb.ve/RLMM/home.html](http://www.polimeros.labb.usb.ve/RLMM/home.html)
5. GUEVARA, Alicia, Ernesto DE LA TORRE, Ana VILLEGAS a Evelyn CRIOLLO. Uso De La Rizofiltración Para El Tratamiento De Efluentes Liquidos De Cianuración Que Contienen Cromo, Cobre Y Cadmio. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*. 2009, **1**(2), 871–878.
6. ALONSO-GONZÁLEZ, O., F. NAVA-ALONSO, A. URIBE-SALAS a D. DREISINGER. Use of quaternary ammonium salts to remove copper–cyanide complexes by solvent extraction. *Minerals Engineering* [online]. 2010, **23**(10), 765–770 [vid. 2023-06-23]. ISSN 0892-6875. Dostupné z: DOI: 10.1016/J.MINENG.2010.05.017
7. ALGUACIL, F. J., A. HERNÁNDEZ a A. LUIS. Study of the KAu (CN)<sub>2</sub>-amine amberlite LA-2 extraction equilibrium system. *Hydrometallurgy* [online]. 1990, **24**(2), 157–166. ISSN 0304386X. Dostupné z: doi:10.1016/0304-386X (90)90083-E
8. ALONSO-GONZÁLEZ, O., F. NAVA-ALONSO, C. JIMÉNEZ-VELASCO a A. URIBE-SALAS. Copper cyanide removal by precipitation with quaternary ammonium salts. *Minerals Engineering* [online]. 2013, **42**, 43–49 [vid. 2023-06-23]. ISSN 0892-6875. Dostupné z: doi: 10.1016/J.MINENG.2012.11.013

9. DAVIS, Michael R, Murdoch W MACKENZIE, Kathryn C SOLE a Michael J VIRNIG. Recovery of Cu and Cn -By Sx From Solutions Produced in Leaching of Cu/Au Ores. 2015, (January 1999).
  
10. TELVIA ARIAS-LAFARGUE, MsC I, Ing II DAVID FERNÁNDEZ-COMPTA, Ing II YOLEIDI SÁNCHEZ-RODRIGUEZ a Ing II ARAMIS LASSERRA-PORTUONDO. Influencia de la lixiviación en la recuperación de oro en la Mina Oro-Barita de Santiago de Cuba. *Tecnología Química* [online]. 2017, **37**(3), 461–476 [vid. 2023-06-23]. ISSN 2224-6185. Dostupné z: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-61852017000300008&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852017000300008&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
  
11. GUERRA LU, José Alexander. Influencia del cobre cianurable y sulfuro presente en minerales auríferos sobre el porcentaje de extracción de oro en la cianuración. *Universidad Nacional de Trujillo* [online]. 2021 [vid. 2023-06-23]. Dostupné z: <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2996450>
  
12. RUPAY GÜERE, Felipe. Remoción del cianuro con el complejo (CuSO<sub>4</sub>–H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) de los efluentes de cianuración de oro para evitar riesgos a la salud y al ambiente. 2016.
  
13. JEFFREY, M. I., P. L. BREUER a W. L. CHOO. A kinetic study that compares the leaching of gold in the cyanide, thiosulfate, and chloride systems. *Metallurgical and Materials Transactions B: Process Metallurgy and Materials Processing Science* [online]. 2001, **32**(6), 979–986 [vid. 2023-06-23]. ISSN 10735615. Dostupné z: doi:10.1007/S11663-001-0086-7/METRICS
  
14. LOBANOV, V. G. a E. I. TIMOFEEV. Development and Introduction of Contemporary Technology of Gold Cyanide Leaching From Gravitational Concentrates. *Metallurgist* [online]. 2017, **61**(5–6), 491–497 [vid. 2023-06-23]. ISSN 15738892. Dostupné z: doi:10.1007/S11015-017-0522-9/METRICS
  
15. DANG, Xiao E., Wen Shuai KE, Chen TANG, Jun LV, Xue ZHOU a Cheng Peng LIU. Increasing leaching rate of gold cyanide of two-stage calcination generated from refractory ore containing arsenopyrite and pyrrhotite. *Rare Metals* [online]. 2016, **35**(10), 804–810 [vid. 2023-06-23]. ISSN 18677185. Dostupné z: doi:10.1007/S12598-015-0470-0/METRICS
  
16. DOBROSZ-GÓMEZ, Izabela, Miguel Ángel GÓMEZ GARCÍA, Guillermo H. GAVIRIA a Edison GILPAVAS. Mineralization of cyanide originating from gold leaching effluent using electro-oxidation: multi-objective optimization and kinetic study. *Journal of*

- Applied Electrochemistry* [online]. 2020, **50**(2), 217–230 [vid. 2023-06-23]. ISSN 15728838. Dostupné z: doi:10.1007/S10800-019-01392-1/METRICS
17. PARGA, José R., Jesús L. VALENZUELA a Francisco CEPEDA T. Pressure cyanide leaching for precious metals recovery. *JOM* [online]. 2007, **59**(10), 43–47 [vid. 2023-06-23]. ISSN 10474838. Dostupné z: doi:10.1007/S11837-007-0130-4/METRICS
18. CÉSAR PÉREZ DOMÍNGUEZ, Julio, Óscar FABIÁN a Higuera COBOS. Comportamiento electroquímico del cianuro. nedatováno.
19. ESQUIVEL, Daniel. Realidades sobre el uso del cianuro. 2013.
20. KOZIN, L. F. a V. T. MELEKHIN. Extraction of Gold from ores and concentrates by leaching with the use of cyanides and alternative reagents. *Russian Journal of Applied Chemistry* [online]. 2004, **77**(10), 1573–1592 [vid. 2023-06-23]. ISSN 10704272. Dostupné z: doi:10.1007/S11167-005-0077-6/METRICS
21. SALAZAR-CAMPOY, María M., Jesús L. VALENZUELA-GARCÍA, Luis S. QUIRÓZ-CASTILLO, Martín A. ENCINAS-ROMERO, Guillermo TIBURCIO-MUNIVE, Patricia GUERRERO-GERMÁN a José R. PARGA-TORRES. Comparative Study of Gold Extraction from Refractory Pyritic Ores through Conventional Leaching and Simultaneous Pressure Leaching/Oxidation. *Mining, Metallurgy and Exploration* [online]. 2020, **37**(4), 1279–1284 [vid. 2023-06-23]. ISSN 25243470. Dostupné z: doi:10.1007/S42461-020-00217-6/METRICS
22. SPRINGERLINK (Online service), Madhav, S., Singh, P., Mishra, V., Ahmed, S., & Mishra, P. K. (2022). *Recent Trends in Wastewater Treatment* (1st ed. 2022.). Springer International Publishing : Imprint: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-99858-5>
23. HIGUERA COBOS, Colombia, Oscar FABIÁN, Tristanco REYES, José LUIS, Florez GARCÍA a Luis CARLOS. Comportamiento electroquímico del cobre en soluciones cianuradas. *redalyc.org* [online]. nedatováno [vid. 2023-06-23]. ISSN 0122-1701. Dostupné z: <https://www.redalyc.org/pdf/849/84903644.pdf>
24. HERNÁNDEZ-SAMPIERI, Roberto; MENDOZA TORRES, Christian Paulina. Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. 2018.
25. AURORA, Marrou ROLDÁN, Kenneth; DELGADO, SANTA GADEA, PACHECO LAY; MEJÍA MEJÍA, Elías. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Textos para la Maestría en Educación. nedatováno. s/f

26. POMA PALACIOS, Javier Camilo. Evaluación del Amonio Cuaternario Como Precipitante de Cobre Para Regenerar Cianuro en Procesos de Lixiviación de Metales. Universidad Nacional del Centro del Perú. 2022.  
<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20500.12894/8602>

## ANEXOS

### Anexo 01: Certificado de calibración del equipo ICP



Equipos Analíticos y Tecnología de Información S.A.C.

ICPMS 7900 (ICP-MS-04)	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	ICPMS/MP-01 Edición N° 01 Revisión N° 01 01-07-13
---------------------------	-----------------------------	--

#### I.- INFORMACIÓN GENERAL

CLIENTE : ALS LS Peru S.A.C.  
DIRECCIÓN : Avenida Argentina 1859 – Lima  
RESPONSABLE : Edith Quispe Oncebay  
SISTEMA : 7900 ICP-MS ICP-MS-04

<u>Equipamiento instalado:</u>	<u>Modelo</u>	<u>N° de Serie</u>
7900 ICP-MS (ICP-MS-04)	G8403A	JP17362002
SPS4 Autosampler (L-AS-LIM-06)	G8410A	AU17172886
Bomba de vacío Agilent (LBOMV-LIM-22)	MS 40-S	IT21205065
Sistema de refrigeración Chiller (L-CHIL-LIM-08)	G3292	2U1560513

<u>Software de Control</u>	<u>Versión</u>	<u>Upgrade</u>
MassHunter 4.4 G7201C	C.01.04 Build 544.16	Patch 2

#### II.- LISTA DE VERIFICACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO

##### 1.- Generalidades

- Consulte con el operador si el sistema ICPMS trabaja dentro de los parámetros habituales de funcionamiento (si existe alguna anomalía repórtelo).
- Consultar al usuario por el último reporte de Autotune realizado. Revisar valores de espectro de picos, línea de base, forma de pico, asignación de masas y resolución.
- Revisar los registros de rendimiento del instrumento antes de realizar el mantenimiento.
- Realice el venteo del instrumento.
- Realice inspección general del sistema:
  - Revisar si presenta evidente daño externo.
  - Revisar fugas de líquidos en la bomba mecánica.
  - Inspeccionar mangueras de vacío, tubos de escape de la bomba, cable de conexión por evidencia de uso excesivo.

Soporte Técnico División Instrumental Analítica	Página 1 de 4
--	---------------

ICPMS 7900 (ICP-MS-04)	<b>MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b>	ICPMS/MP-01 Edición N° 01 Revisión N° 01 01-07-13
---------------------------	-------------------------------------	--

- Inspeccionar los contactos del Shield plate. Limpiar o reemplazar las partes si fuera necesario.
- Inspeccionar la cinta de revestimiento de los brazos de la bomba peristáltica. Reemplazar la cinta si fuera necesario.
- Revisar las tarjetas electrónicas por acumulación de polvo, limpiar si fuera necesario.

#### 2.-Bomba mecánica de vacío

- ☑ Drenar y reemplazar el aceite de la bomba mecánica.
- ☑ Verificar el adecuado funcionamiento del reciclaje del aceite, la válvula Gas Ballast debe estar abierta, reemplazar el filtro de la bomba de vacío.

#### 3.-Sistema de refrigeración Chiller

- ☑ Retire, limpie y reinstale el filtro metálico.
- ☑ Registre el valor del flujo de agua 1.5 l/min RF/MC/IF

#### 4.-Autosampler

- ☑ Retire y limpie el Z drive. Reemplazar si es necesario.
- ☑ Retire y limpie la estación de enjuague y la bandeja del autosampler.
- ☑ Revise, limpie y engrase el eje del dispositivo Y axis. Reemplazar si es necesario.
- ☑ Revise el tornillo sin fin, así como la faja de transmisión del Y axis.
- ☑ Revise las tarjetas electrónicas, retire el polvo.
- ☑ Revise las tuberías de la bomba peristáltica de la estación de enjuague. Reemplace si fuera necesario.
- ☑ Reinstale en el orden inverso, verificar operatividad del autosampler.

#### 5.- Limpieza de lentes iónicos

- ☑ Retirar los lentes extracción/omega y proceda a limpiar todos los lentes.
- ☑ Retirar la celda de reacción y proceda a limpiar todos los lentes (cell entrance ,cell focus,cell exit,deflect y plate bias).
- ☑ Limpie el octopolo, reemplazar si fuera necesario.
- ☑ Reinstalar los lentes iónicos y cierre el analizador.
- ☑ Proceder a colocar el sistema en vacío.

Soporte Técnico División Instrumental Analítica	Página 2 de 4
--	---------------

ICPMS 7900 (ICP-MS-04)	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	ICPMS/MP-01 Edición N° 01 Revisión N° 01 01-07-13
---------------------------	-----------------------------	--

## 6.- Pruebas finales.

- Realice el ajuste del quadropole matching.
- Realice el ajuste del octople matching.
- Verificar el buen funcionamiento del controlador de gas, cambiando el flujo y observando los valores de lectura. Realice el ajuste automático del offset de los controladores.
- Verificar en Tune (usando el último tune del usuario) que los cambios en los voltajes de los lentes resultan en un esperado cambio de la sensibilidad.
- Realice un Autotune e imprima el reporte. Compare los resultados con los del anexo.
- Registrar el valor de voltaje del EM y el discriminador.

\_\_\_\_\_ 2131V \_\_\_\_\_ Analog HV

\_\_\_\_\_ 1197V \_\_\_\_\_ Pulse HV

\_\_\_\_\_ 4.0 mv \_\_\_\_\_ Discriminator

- Realizar la prueba de estabilidad de 10 minutos con solución Tuning.
- Registrar los valores de vacío en Standby.

\_\_\_\_\_ 3.92E+0 \_\_\_\_\_ Pa An

\_\_\_\_\_ 1.59E-5 \_\_\_\_\_ Pa Bk

## 7.- Revisión final del servicio

- Realizar la actualización en los registros mantenimiento del MassHunter.
- Pegar la etiqueta del mantenimiento preventivo realizado en el instrumento.
- Adjunte pruebas impresas de pre y post mantenimiento a la documentación del mantenimiento preventivo.

Soporte Técnico División Instrumental Analítica	Página 3 de 4
--	---------------

ICPMS 7900 (ICP-MS-04)	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	ICPMS/MP-01 Edición N° 01 Revisión N° 01 01-07-13
---------------------------	-----------------------------	--

III.- **Conclusión:** EQUIPO OPERATIVO

- Firma del Cliente;  Edith C. Quispe Oncebay
- Nombre y firma del responsable del servicio EQUANTI:

**EQUANTI**  
  
LEO PALOMINO MEDINA  
FIELD SERVICE SPECIALIST

Leo Palomino

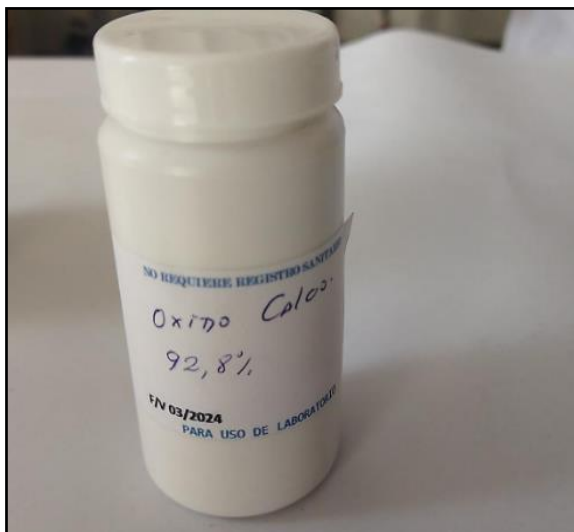
- Fecha: 04-05-2022

Soporte Técnico División Instrumental Analítica	Página 4 de 4
--	---------------

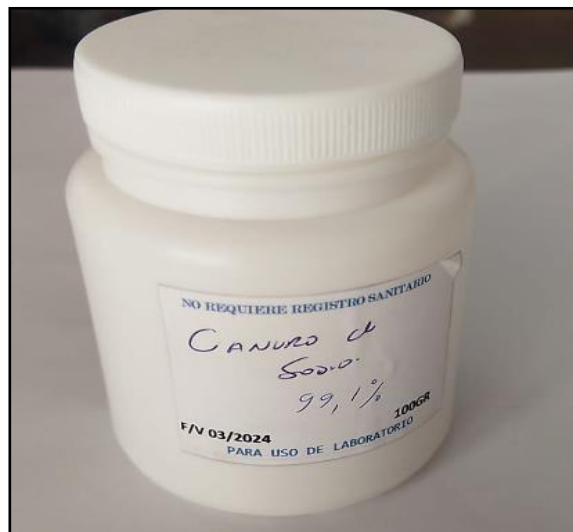


**Anexo 02: Panel fotográfico de la fase de la experimentación.**

**Reactivos usados:**



**OXIDO DE CALCIO**



**CIANURO DE SODIO**

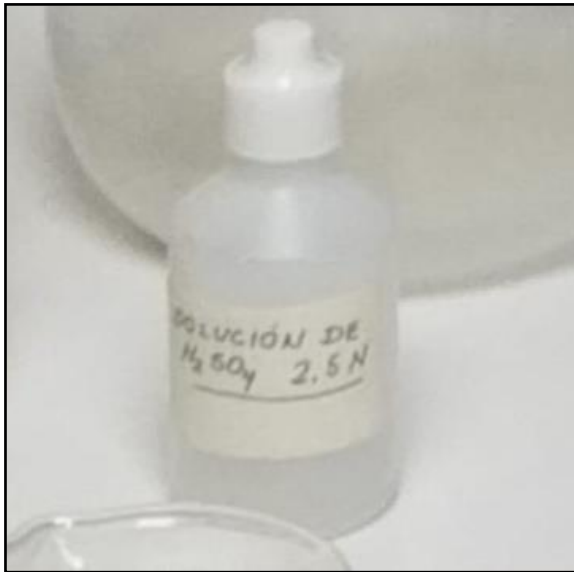


**CLORURO DE BENZALCONIO**



**SULFATO DE COBRE PENTAHIDRATADO**

**PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN SINTÉTICA:**



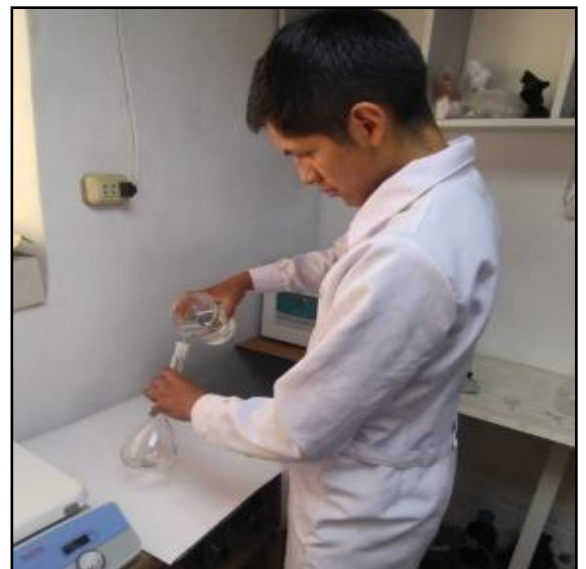
**ACIDO SULFÚRICO GRADO REACTIVO**



**USO DE LA BALANZA ANALÍTICA PARA PESAR EL SULFATO DE COBRE PENTAHIDRATADO**



**USO DE LA BALANZA ANALÍTICA PARA PESAR EL CIANURO DE SODIO, OXIDO DE CALCIO**



**AGREGANDO EL AGUA DESTILADA EN LA FIOLA**



**AGREGANDO EL SULFATO DE COBRE  
PENTAHIDRATADO**



**AGREGANDO EL CIANURO DE SODIO, OXIDO  
DE CALCIO A LA SOLUCIÓN**



**AGREGANDO AGUA DESTILADA A LA SOLUCIÓN  
HASTA LLEGAR A 1L, CONFORMANDO ASÍ LA  
SOLUCIÓN SINTÉTICA, AGITANDO**



**RETIRANDO 100 MI DE LA SOLUCIÓN  
SINTÉTICA**



AGREGANDO LOS 100 ml AL VASO DE PRECIPITACIÓN



100 ml DE LA MUESTRA SINTÉTICA EN EL VASO DE PRECIPITACIÓN



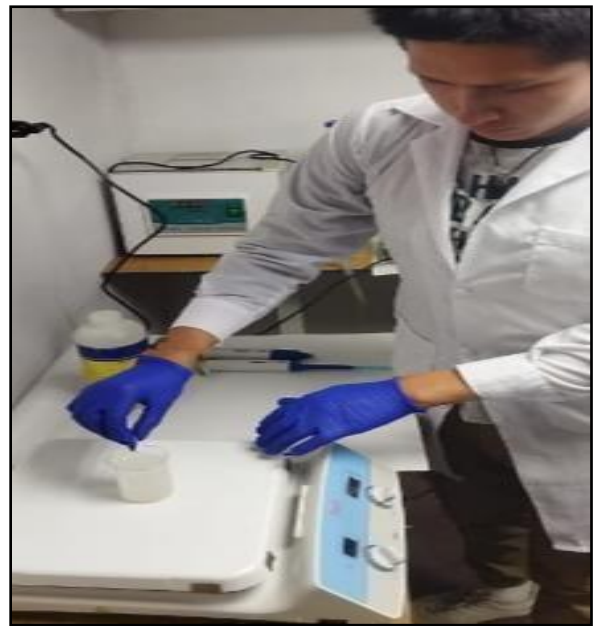
USO DEL MEDIDOR DE PH, PARA TRABAJAR CON PH A 10 Y pH A 8



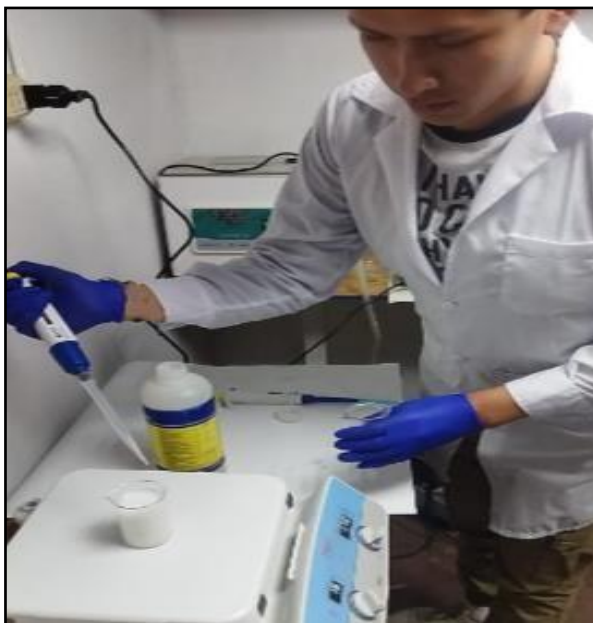
USO DEL ACIDO SULFÚRICO PARA LLEGAR A UN pH DE 8



LLEGANDO AL PH DE 8 USANDO EL ACIDO SULFÚRICO



USO DEL AGITADOR MAGNÉTICO CON CALENTADOR, PARA LLEGAR A LA TEMPERATURA DE 17°C Y 20°C



USO DE MICROPIPETAS PARA AÑADIR EL AMONIO CUATERNARIO A LA SOLUCIÓN SINTÉTICA PARA LLEGAR A CONCENTRACIONES DE 2 g/l Y 7 g/l



DESPUÉS DEL TIEMPO DE AGITACIÓN SE OBSERVA UNA SEPARACIÓN, PRECIPITADO EN LA SOLUCIÓN SINTÉTICA DESPUÉS DE USAR EL AMONIO CUATERNARIO



**USO DEL FILTRO DE FIBRA DE VIDRIO CON TAMAÑO DE PORO DE 1.0  $\mu\text{m}$**



**USO DEL EQUIPO DE FILTRACIÓN AL VACÍO**




**TRASLADO DEL FILTRADO HACIA UN VASO DE PRECIPITACIÓN**



**TRASLADO DE LA MUESTRA HACIA EL TUBO DE ENSAYO PARA SU ANÁLISIS**

Anexo 03: Resultado de análisis de laboratorio.



Muestras del Grupo: 11111/2022  
Fecha de Muestreo: 27/04/2023

				27/04/2023	27/04/2023	27/04/2023	27/04/2023	27/04/2023	27/04/2023	27/04/2023	27/04/2023	27/04/2023	27/04/2023	27/04/2023	
				Aguas Proceso	Aguas Proceso	Aguas Proceso	Aguas Proceso	Aguas Proceso	Aguas Proceso	Aguas Proceso	Aguas Proceso	Aguas Proceso	Aguas Proceso	Aguas Proceso	
Tipo de Muestra				M-1.1	M-1.2	M-1.3	M-2.1	M-2.2	M-2.3	M-3.1	M-3.2	M-3.3	M-4.1	M-4.2	M-4.3
Identificación	Método de Análisis	Parámetro	Unidad	LD											
<b>007 ENSAYOS DE METALES - Metales Totales por ICP-OES</b>															
Metales Disueltos por ICP-OES		Plata Disuelta (Ag)	mg/L	0,002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Metales Disueltos por ICP-OES		Aluminio Disuelto (Al)	mg/L	0,01	0.25	0.24	0.24	0.252	0.23	0.241	0.46	0.438	0.42	0.24	0.242
Metales Disueltos por ICP-OES		Arsénico Disuelto (As)	mg/L	0,02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Metales Disueltos por ICP-OES		Boro Disuelto (B)	mg/L	0,005	<0.005	<0.005	<0.005	0.45	0.45	0.45	0.1	0.11	0.09	0.07	0.07
Metales Disueltos por ICP-OES		Bario Disuelto (Ba)	mg/L	0,0080	0.023	0.023	0.019	0.027	0.029	0.026	0.023	0.022	0.018	0.029	0.028
Metales Disueltos por ICP-OES		Berilio Disuelto (Be)	mg/L	0,007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007
Metales Disueltos por ICP-OES		Calcio Disuelto (Ca)	mg/L	0,01	99.94	94.317	93.205	140.212	140.278	142.316	73.833	74.025	73.933	120.753	117.221
Metales Disueltos por ICP-OES		Cadmio Disuelto (Cd)	mg/L	0,003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
Metales Disueltos por ICP-OES		Cobalto Disuelto (Co)	mg/L	0,004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004
Metales Disueltos por ICP-OES		Cromo Disuelto (Cr)	mg/L	0,002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Metales Disueltos por ICP-OES		Cobre Disuelto (Cu)	mg/L	0,004	690.85	688.1	685.13	426.79	427.881	448.204	451.882	454.36	452.687	57.214	54.354
Metales Disueltos por ICP-OES		Hierro Disuelto (Fe)	mg/L	0,01	0.182	0.2061	0.2063	0.456	0.449	0.423	0.2	0.234	0.239	<0.01	<0.01
Metales Disueltos por ICP-OES		Potasio Disuelto (K)	mg/L	0,04	0.931	0.971	1.002	1.432	1.471	1.321	1.215	1.178	1.275	6.567	6.581
Metales Disueltos por ICP-OES		Litio Disuelto (Li)	mg/L	0,04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04
Metales Disueltos por ICP-OES		Magnesio Disuelto (Mg)	mg/L	0,01	3.38	3.22	3.08	3.92	4.08	3.99	3.86	3.71	3.76	3.68	3.64
Metales Disueltos por ICP-OES		Manganeso Disuelto (Mn)	mg/L	0,0020	0.26	0.24	0.25	<0.0008	<0.0008	<0.0008	<0.0008	<0.0008	<0.0008	<0.0008	<0.0008
Metales Disueltos por ICP-OES		Molibdeno Disuelto (Mo)	mg/L	0,004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004
Metales Disueltos por ICP-OES		Sodio Disuelto (Na)	mg/L	0,3	1666.3	1667.26	1620.33	1657.79	1672.46	1686.1	1670.05	1624.2	1679.15	1637.19	1572.22
Metales Disueltos por ICP-OES		Níquel Disuelto (Ni)	mg/L	0,011	<0.011	<0.011	<0.011	<0.011	<0.011	<0.011	<0.011	<0.011	<0.011	<0.011	<0.011
Metales Disueltos por ICP-OES		Fósforo Disuelto (P)	mg/L	0,11	<0.11	<0.11	<0.11	<0.11	<0.11	<0.11	<0.11	<0.11	<0.11	<0.11	<0.11
Metales Disueltos por ICP-OES		Plomo Disuelto (Pb)	mg/L	0,03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Metales Disueltos por ICP-OES		Antimonio Disuelto (Sb)	mg/L	0,04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04
Metales Disueltos por ICP-OES		Selenio Disuelto (Se)	mg/L	0,04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04
Metales Disueltos por ICP-OES		Estaño Disuelto (Sn)	mg/L	0,03	0.72	0.62	0.3	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Metales Disueltos por ICP-OES		Estroncio Disuelto (Sr)	mg/L	0,0002	0.615	0.615	0.603	0.732	0.728	0.731	0.609	0.607	0.608	0.673	0.674
Metales Disueltos por ICP-OES		Titanio Disuelto (Ti)	mg/L	0,001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Metales Disueltos por ICP-OES		Talio Disuelto (Tl)	mg/L	0,05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Metales Disueltos por ICP-OES		Vanadio Disuelto (V)	mg/L	0,002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Metales Disueltos por ICP-OES		Zinc Disuelto (Zn)	mg/L	0,003	1.66	1.659	1.68	0.831	0.835	0.87	0.881	0.903	0.875	<0.003	<0.003

27/04/2023	27/04/2023	27/04/2023	27/04/2023	27/04/2023	27/04/2023	27/04/2023	27/04/2023	27/04/2023	27/04/2023	27/04/2023	27/04/2023	27/04/2023	27/04/2023	27/04/2023	27/04/2023
Aguas Proceso M-5.1	Aguas Proceso M-5.2	Aguas Proceso M-5.3	Aguas Proceso M-6.1	Aguas Proceso M-6.2	Aguas Proceso M-6.3	Aguas Proceso M-7.1	Aguas Proceso M-7.2	Aguas Proceso M-7.3	Aguas Proceso M-8.1	Aguas Proceso M-8.2	Aguas Proceso M-8.3	Aguas Proceso M-9.1	Aguas Proceso M-9.2	Aguas Proceso M-9.3	
<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	
0.42	0.44	0.49	0.75	1.026	1	0.423	0.4	0.46	0.24	0.242	0.24	0.252	0.23	0.241	
<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	
<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.07	0.07	0.07	0.45	0.45	0.45	
0.016	0.019	0.015	0.022	0.02	0.018	0.018	0.021	0.021	0.029	0.028	0.027	0.027	0.029	0.026	
<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	
75.226	75.27	75.355	66.391	66.623	66.676	78.798	79.403	80.054	115.73	197.261	119.21	121.28	119.52	123.625	
<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	
<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	
<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	
132.84	134.984	135.872	407.186	403.218	412.032	126.646	128.784	123.341	43.854	40.371	39.761	398.02	387.198	395.98	
<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.456	0.449	0.423	
1.504	1.395	1.317	1.272	1.178	1.187	1.181	1.278	1.237	6.567	6.581	6.954	1.432	1.471	1.321	
<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	
3.4	3.34	3.03	4.23	4.17	3.94	3.42	3.5	3.73	3.68	3.64	3.56	3.92	4.08	3.99	
<0.0008	<0.0008	<0.0008	<0.0008	<0.0008	<0.0008	<0.0008	<0.0008	<0.0008	<0.0008	<0.0008	<0.0008	<0.0008	<0.0008	<0.0008	
<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	
1697.21	1670.31	1591.24	1506.52	1489.64	1502.76	1597.62	1685.57	1696.59	1673.84	1564.52	1609.64	1632.25	1663.25	1667.54	
<0.011	<0.011	<0.011	<0.011	<0.011	<0.011	<0.011	<0.011	<0.011	<0.011	<0.011	<0.011	<0.011	<0.011	<0.011	
<0.11	<0.11	<0.11	<0.11	<0.11	<0.11	<0.11	<0.11	<0.11	<0.11	<0.11	<0.11	<0.11	<0.11	<0.11	
<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	
<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	
<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	
<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	
0.583	0.585	0.595	0.593	0.593	0.597	0.602	0.601	0.598	0.673	0.674	0.662	0.732	0.728	0.731	
<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	
<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	
<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	
0.17	0.157	0.159	0.74	0.772	0.732	0.17	0.179	0.187	<0.003	<0.003	<0.003	0.831	0.835	0.87	

Revisado por:



ING. EDITH C. QUISPE ONCEBAY  
Supervisor de Laboratorio.  
CIP: 218297



**Anexo 04: Matriz de consistencia.**

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
<p><b>PROBLEMA GENERAL</b></p> <p>¿Como es el efecto que ejerce el nivel de dosificación de amonio cuaternario, pH y temperatura, en la remoción de cobre de efluentes sintéticos mineros de la lixiviación de oro por precipitación química?</p> <p><b>PROBLEMA ESPECIFICO</b></p> <p>¿Cuál es la caracterización de los efluentes de la lixiviación de oro a nivel de laboratorio?</p> <p>¿Cómo influye la dosificación del amonio cuaternario en la remoción de cobre de las soluciones sintéticas de lixiviación de oro?</p> <p>¿Cuál es el efecto del pH de la solución sintética de lixiviación de oro en la remoción del cobre?</p> <p>¿Cuál es el efecto de la temperatura de la solución sintética de lixiviación de oro en la remoción del cobre?</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL</b></p> <p>Explicar el efecto que ejerce el nivel de dosificación de amonio cuaternario, pH y temperatura, en la remoción de cobre de efluentes sintéticos mineros de la lixiviación de oro por precipitación química.</p> <p><b>OBJETIVO ESPECÍFICOS</b></p> <p>Determinar las características de los efluentes de la lixiviación de oro a nivel de laboratorio.</p> <p>Evaluar la influencia de la dosificación del amonio cuaternario en la remoción de cobre de las soluciones sintéticas de lixiviación de oro.</p> <p>Evaluar el efecto del pH en la remoción del cobre en la solución sintética minera de lixiviación de oro.</p> <p>Evaluar el efecto de la temperatura de la solución sintética de lixiviación de oro en la remoción del cobre.</p>	<p>Hipótesis de investigación</p> <p>“A medida que la dosis de amonio cuaternario, pH y temperatura se incrementa, el porcentaje de remoción de cobre por precipitación química de efluentes sintéticos mineros también aumenta”</p> <p>Hipótesis nula</p> <p>Ho: Los agentes oxidantes no remueven el azul de metileno de agua residual industrial textil.</p> <p>Hipótesis alterna</p> <p>H1: Los agentes oxidantes remueven el azul de metileno de agua residual industrial textil.</p> <p>Hipótesis específicas</p> <p>La concentración del cobre en los efluentes mineros de la lixiviación de oro preparados a nivel de laboratorio es equivalente a los licores industriales utilizados para la extracción de metales preciosos.</p> <p>La variación de la dosificación del amonio cuaternario influye en la remoción del cobre de los efluentes mineros preparados en laboratorio.</p> <p>La variación del pH influye en la remoción del cobre en los efluentes mineros sintéticos de la lixiviación de oro.</p> <p>La variación de la temperatura ejerce un efecto sobre la remoción de cobre en los efluentes mineros sintéticos de la lixiviación de oro.</p>	<p><b>VARIABLE DEPENDIENTE</b></p> <p>% Remoción del cobre de la solución cianurada</p> <p><b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b></p> <p>Dosificación del amonio cuaternario</p> <p>Variación del pH</p> <p>Temperatura</p>	<p><b>MÉTODO DE INVESTIGACIÓN</b></p> <p>El método específico de investigación del estudio fue experimental con fundamento científico.</p> <p><b>TIPO DE INVESTIGACIÓN</b></p> <p>-Aplicada</p> <p><b>NIVEL DE INVESTIGACIÓN</b></p> <p>-explicativo</p> <p><b>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN</b></p> <p>-Experimental puro</p> <p><b>POBLACIÓN Y MUESTRA</b></p> <p>En la presente investigación la población y muestra del estudio está conformada por el volumen de 5 L de solución sintética, con lo que se realizará el proceso de remoción del cobre por precipitación con todas las combinaciones necesarias que se obtendrán del modelo factorial 23 con sus respectivas replicas</p>