

Área del Conocimiento de Agricultura

MODIFICACIÓN DE LA ETAPA DE RECUPERACIÓN DE ORO EN MINERALES AURÍFEROS MEDIANTE LIXIVIACIÓN CON CIANURO DE SODIO ENFOCADO EN LA MINERÍA ARTESANAL

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero Químico

Elaborado por:

Tutor:

Br. ASHLEY
GIMENA REYES
GARAY
2018-1089U

Br. JOSUÉ
ABRAHAM ROJAS
PILARTE
2018-1169U

Dr. LÉSTER JAVIER
ESPINOZA PÉREZ

OPINIÓN DEL CATEDRÁTICO GUÍA

Es un honor presentar mi opinión sobre el trabajo de investigación realizado por los tesisistas **Br. Ashley Gimena Reyes Garay** y **Br. Josué Abraham Rojas Pilarte**, quienes han culminado exitosamente su tesis titulada **"Modificación de la Etapa de Recuperación de Oro en Minerales Auríferos mediante Lixiviación con Cianuro de Sodio Enfocado en la Minería Artesanal"**, con la que optarán al título de Ingeniero Químico de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI).

Este trabajo de investigación representa una contribución significativa al campo de la minería artesanal, abordando uno de los principales desafíos técnicos y ambientales asociados con la recuperación de oro. La aplicación de un diseño experimental basado en el método Taguchi para la optimización del proceso de lixiviación con cianuro de sodio (NaCN) demuestra la rigurosidad y el compromiso de los tesisistas con la investigación aplicada. Su trabajo ha permitido identificar parámetros críticos que impactan la eficiencia del proceso, logrando un aumento notable en la recuperación de oro y una significativa reducción en el consumo de reactivos químicos.

Los resultados obtenidos evidencian que la concentración de NaCN es el factor más influyente en la recuperación del oro, seguido por el pH de la solución y el tiempo de residencia. La mejor condición experimental identificada permitió alcanzar una recuperación del 104%, equivalente a 2.7 gramos de oro, optimizando así la eficiencia del proceso y reduciendo costos operativos. Este hallazgo no solo demuestra el impacto de la investigación en la minería artesanal, sino que también abre oportunidades para el desarrollo de procesos más sostenibles y rentables en el sector.

Es importante destacar el alto nivel de compromiso, disciplina y capacidad analítica demostrada por los tesisistas durante el desarrollo de su trabajo de investigación. Su habilidad para abordar problemáticas complejas, así como su rigurosidad metodológica, refleja su madurez académica y profesional. Asimismo, su dedicación y esmero han sido fundamentales para la obtención de resultados de alta calidad que pueden tener una aplicabilidad inmediata en la minería artesanal de Nicaragua.

Como catedrático guía, expreso mi reconocimiento y felicitación a los tesisistas Br. Ashley Gimena Reyes Garay y Br. Josué Abraham Rojas Pilarte por la culminación exitosa de su investigación. Sin duda, su trabajo representa un valioso aporte a la ingeniería química y a la mejora de los procesos mineros en el país.

Atentamente,

Dr. Lester Javier Espinoza Pérez
Catedrático Guía – Doctor en Ciencias en Ingeniería Metalúrgica y Cerámica
Universidad Nacional de Ingeniería

Dedicatoria

A mis padres, quienes con amor me han brindado apoyo incondicional, tiempo y confianza en cada una de mis aspiraciones y metas, por cada palabra de aliento y por siempre creer en mí.

A mis abuelos y mis tíos por su cariño incondicional, por sus enseñanzas y sus consejos, por su apoyo constante, por su aliento sincero y motivación para siempre seguir adelante.

A todos los que formaron parte de este camino académico, que con su apoyo, conocimiento y confianza hicieron más llevadero este camino.

Ashley Gimena Reyes Garay

Dedicatoria

Dedico este trabajo monográfico a mi madre, Magdalena Pilarte, por haber alcanzado este logro junto conmigo, significando un triunfo compartido que atesoramos profundamente. A Leonel Rojas, por ser un padre ejemplar.

A mi gata Venecia, cuya compañía me reconfortó en incontables noches de estudio. A mi querida perrita Miley, cuyo recuerdo y apoyo emocional siguen acompañándome.

Y a El Madroñal, por ser el corazón de mi infancia y la fuente de inspiración que me ha moldeado en la persona que soy hoy.

Josué Abraham Rojas Pilarte

Agradecimientos

A Dios. Gracias por acompañarme e iluminar mi camino en cada paso.

A mis padres, por todo lo que han hecho por mí, por cada sacrificio, por cada consejo, por brindarme todo lo necesario y más en la vida, por impulsarme a seguir adelante y por estar siempre presentes. Gracias por ser mi ejemplo de vida, por enseñarme con su dedicación y esfuerzo que los sueños se alcanzan con trabajo y perseverancia.

A mi hermano, mis abuelos y mis tíos, por cada muestra de amor incondicional, por sus palabras de aliento, por sus consejos en cada etapa de mi vida y por celebrar conmigo cada logro sin importar lo pequeño que fuera.

A mi compañero de tesis y mejor amigo, con quien recorrí desde un inicio esta etapa universitaria, por los momentos de risas a lo largo de los años, por su apoyo y paciencia a lo largo de este proceso.

A mis amigos, por su apoyo y compañía en lo académico y lo personal, por los momentos de risa que servían de alivio en los momentos de estrés y por alegrarse conmigo por cada pequeño logro.

A nuestro tutor, por su guía, paciencia y dedicación en este proceso. Gracias por cada consejo y su apoyo en este camino.

A cada persona que formo parte de este proceso, por su apoyo y cada palabra de aliento.

Ashley Gimena Reyes Garay

Agradecimiento

Agradezco primeramente a Dios por haberme permitido alcanzar este logro, a mis padres que me han apoyado con mi educación incluso en tiempos difíciles y a mi hermano por despertar interés en gran parte de mi conocimiento.

A mi tía Isabel y mi tía Mayra por brindarme su apoyo incondicional durante la realización de este trabajo. A mis abuelos por abrirme las puertas de su hogar y brindarme su cariño y respaldo en todo momento.

A mi compañera de tesis y mejor amiga, con quien no solo llevamos a cabo este importante trabajo, sino también compartimos muchos momentos amenos desde aquel propedéutico donde nos conocimos.

A Danelis Barrios por ser parte fundamental de mi proceso de aprendizaje y a todos mis amigos, tutores, compañeros de clases y maestros quienes han brindado apoyo durante mi vida universitaria.

Josué Abraham Rojas Pilarte

Resumen

La minería artesanal es una actividad económica de gran importancia en diversas regiones de Nicaragua, pero enfrenta múltiples desafíos operativos y técnicos, tal y como la ineficiencia en la recuperación de oro, el uso inadecuado de reactivos químicos y la falta de optimización en los procesos de extracción. Tradicionalmente, la amalgamación con mercurio ha sido el método más utilizado, pero su baja eficiencia en la recuperación de oro ha impulsado la búsqueda de alternativas más efectivas. El presente estudio se enfocó en la optimización del proceso de lixiviación con cianuro de sodio (NaCN), un método ampliamente utilizado en la minería.

El objetivo principal de la investigación fue mejorar la recuperación de oro en minerales auríferos mediante la lixiviación con NaCN, ajustando parámetros de operación para maximizar el % de recuperación de oro. Se estudiaron tres variables fundamentales: la concentración de cianuro de sodio, el pH de la solución y el tiempo de residencia. Se empleó un diseño experimental basado en el método Taguchi para determinar las condiciones óptimas que permitieron obtener la mayor recuperación de oro con el menor consumo de reactivos posible.

Los resultados obtenidos demostraron que la concentración de cianuro de sodio es el factor más influyente en el proceso de lixiviación, seguido por el pH y el tiempo de residencia. A medida que la concentración de cianuro de sodio incrementó, también lo hizo el porcentaje de oro recuperado, aunque un control adecuado del pH fue esencial para evitar pérdidas de reactivo y la formación de compuestos indeseados.

Índice

I. Introducción	1
II. Antecedentes	3
III. Justificación	5
IV. Objetivos	6
4.1. Objetivo general	6
4.2. Objetivos específicos.....	6
V. Marco teórico	7
5.1. Generalidades del oro	7
5.1.1. Historia del oro en Nicaragua	7
5.1.2. Historia de la minería en el municipio de Santa Rosa del Peñón.	8
5.2. Cianuro de sodio	9
5.3. Descripción general del proceso de obtención de oro.....	10
5.3.1. Trituración y molienda.....	10
5.3.2. Lixiviación con cianuro de sodio	12
5.3.3. Método Merrill-Crowe.....	15
5.4. Minería artesanal en Nicaragua	15
5.4.1. Extracción de broza	16
5.4.2. Amalgamación por mercurio	16
5.4.3. Lixiviación con cianuro de sodio	17
5.4.4. Precipitación con polvo de zinc.....	18
5.4.5. Elución del oro	20
VI. Hipótesis	22
VII. Metodología	23
7.1. Materiales y Equipos	23

7.2. Método	25
7.2.1. Evaluación del efecto de variables en la recuperación de oro	25
7.2.2. Análisis estadístico de variables mediante diseño Taguchi	26
7.2.3. Validación experimental de condiciones óptimas	28
VIII. Resultados y discusión	29
8.1. Caracterización de materia prima.....	29
8.2. Preparación del tanque de cianuración y precipitación	30
8.3. Condiciones de la parte experimental	32
8.4. Análisis gráfico y estadístico	36
8.5. Predicción y validación de niveles óptimos	42
IX. Conclusión	46
X. Recomendaciones	48
XI. Bibliografía	50
XII. Anexos.....	54
12.1. Glosario de términos	54
12.2. Cálculo de densidad de la lama	55
12.3. Hoja de seguridad de cianuro de sodio.....	56
12.4. Hoja de seguridad de ácido nítrico.....	63
12.5. Hoja de seguridad de polvo de zinc	69
12.6. Hoja de seguridad de ácido clorhídrico	75
12.7. Evidencias de la fase experimental.....	82

Índice de Figuras

Figura 1 Molino de rastra.....	12
Figura 2 Formación de cianuro de hidrógeno (HCN) y cianuro libre (CN) en soluciones acuosas en función del pH.	14
Figura 3 Diagrama de proceso de extracción de oro por amalgamación en finca El Madroñal	17
Figura 4 Tanque de precipitación	19
Figura 5 Diagrama de proceso de extracción y refinación de oro por lixiviación con cianuro de sodio en finca El Madroñal.....	21
Figura 6 Prueba de densidad de lama.....	30
Figura 7 Tanque de cianuración y precipitación	31
Figura 8 Gráfica de efectos principales para relaciones señal/ruido (S/N)	38
Figura 9 Gráfica de efectos principales para Medias.....	40
Figura 10 Gráfica de probabilidad Normal	41
Figura A: Secado de lama.....	82
Figura B: Lixiviación de lama.....	82
Figura C: Solución de cianuro de sodio (NaCN).....	83
Figura D: Sancada (precipitación antes de recircular).....	83
Figura E: Recirculación de solución de cianuro de sodio (NaCN)	84
Figura F: Monitoreo de pH con tiras reactivas	84
Figura G: Monitoreo de pH con medidor de pH portátil Milwaukee	85
Figura H: Precipitación con polvo de zinc.....	85
Figura I: Precipitado de Merrill-Crowe	86
Figura J: Fundición de oro.....	86
Figura K: Oro fundido	87
Figura L: Medición de kilataje.....	87
Figura M: Corrida #1.....	88
Figura N: Corrida #2	88
Figura O: Corrida #3.....	89
Figura P: Corrida #4	89

Figura Q: Corrida #5.....	90
Figura R: Corrida #6	90
Figura S: Corrida #7	91
Figura T: Corrida #8	91
Figura U: Corrida #9	92
Figura V: Resultado de condiciones optimas	92

Índice de tablas

Tabla 1 Propiedades del oro	7
Tabla 2 Propiedades del cianuro de sodio	10
Tabla 3 Equipos para la preparación de lixiviación	25
Tabla 4 Variables Controladas y sus Niveles	27
Tabla 5 Arreglo de Taguchi.....	28
Tabla 6 Resultados del diseño experimental	35
Tabla 7 Coeficientes del Modelo Estimados para la Relación Señal/Ruido (S/N)	36
Tabla 8 Resumen del modelo	36
Tabla 9 Análisis de varianza de relaciones S/N	37
Tabla 10 Respuesta para las relaciones de Señal/Ruido.....	39
Tabla 11 Respuesta para medias	39
Tabla 12 Predicción de niveles óptimos.....	42
Tabla 13 Resultados de niveles óptimos.....	43
Tabla 14 Resumen de modificación del proceso.....	44
Tabla 15 Costos de mano de obra y reactivos	45

Índice de ecuaciones

Ecuación 1: Oxidación del oro.....	13
Ecuación 2: Reducción del oxígeno	13
Ecuación 3: Disociación del cianuro de sodio	13
Ecuación 4: Reacción del oro con cianuro	13
Ecuación 5: Ecuación de Elsner.....	13
Ecuación 6: Disociación del cianuro de sodio	13
Ecuación 7: Equilibrio del cianuro en agua	13
Ecuación 8: Disolución con zinc.....	15
Ecuación 9: Ecuación de predicción	42

I. Introducción

Desde que inició la minería artesanal, se le ha relacionado como una actividad de alto riesgo tanto para los trabajadores como para el ambiente. La minería artesanal enfrenta diversas amenazas tales como el incremento en el precio de los reactivos, la competencia desigual de grandes empresas mineras extranjeras y la necesidad ocasional de tramitar permisos legales para explotar zonas de interés geológico. Además, las malas prácticas y el uso excesivo de reactivos químicos no solo ponen en riesgo el ambiente, sino también la salud y seguridad de los trabajadores.

Bajo estas problemáticas, este estudio busca enriquecerse de conocimiento científico para ser aplicado en el ámbito de la minería artesanal para facilitar de herramientas asequibles que favorezcan a las comunidades mineras, al mismo tiempo que promuevan prácticas de recuperación de oro en minerales auríferos más seguras y sostenibles mediante la optimización de los procesos de lixiviación de oro con cianuro de sodio (NaCN). El cianuro de sodio es más ventajoso que el mercurio para la recuperación de oro debido a su rápida degradación en el ambiente. El cianuro de sodio (NaCN), aunque altamente tóxico, se degrada más rápidamente y no se bioacumula, a diferencia del mercurio. Mientras el mercurio es altamente tóxico y se acumula en los organismos vivos, el cianuro de sodio se descompone al exponerse al aire, la luz solar y ciertas bacterias, reduciendo su impacto a largo plazo. Además, la lixiviación con cianuro es más eficiente que la amalgamación con mercurio, ya que recupera hasta un 95% del oro, frente al 30-40% del mercurio. Esto disminuye la generación de residuos, reduciendo el impacto ambiental.

En el presente trabajo de investigación, se delimitaron parámetros de operación esenciales tales como: la concentración de cianuro, para evitar su uso excesivo en la lixiviación y minimizar su impacto en la cadena trófica; el pH de solución, para impedir que las sales de cianuro se hidrolicen en agua y formen gases

tóxicos; y el tiempo de reacción, para establecer la mejor relación de tiempo de reacción versus porcentaje de oro recuperado. La evaluación e interpretación de los tres parámetros a evaluar se realizó mediante un arreglo ortogonal Taguchi, el cual mejoró la calidad y el rendimiento del proceso de lixiviación de minerales auríferos descritos en esta investigación.

II. Antecedentes

En Nicaragua, la minería artesanal es el principal sustento de vida para más de 30,000 nicaragüenses. Los trabajadores artesanales de la minería, comúnmente conocidos como **güiriseros**, se dedican a la extracción de oro en pequeñas vetas subterráneas de cuarzo altamente fracturadas. (Condor Gold, 2018).

A lo largo de los años, los güiriseros han adoptados diferentes métodos para la extracción de oro contenido en minerales auríferos, desde la amalgamación del oro utilizando mercurio hasta la lixiviación de este con cianuro de sodio o cianuro de potasio. Estos métodos carecen de estandarización porque los emplea el razonamiento empírico. Desde este punto de vista, surge en el país la necesidad de mejorar los procesos de recuperación de oro desde la perspectiva de la ciencia y la ingeniería.

(Bonilla & Martínez, 2022) realizaron su tesis titulada “Optimización del proceso de recuperación de oro, a partir de la implementación del control de los parámetros operacionales, en las etapas de amalgamación y lixiviación en pilas, plantel Santa Isabel, Matagalpa-Nicaragua en el período de abril a noviembre 2020”. En dicho trabajo, se pudo identificar con éxito los puntos de muestreo estratégicos en el proceso de extracción de oro para detectar áreas de pérdida de mineral, brindando datos valiosos para mejorar el proceso. Además, se categorizó las etapas de amalgamación y lixiviación con detalles operativos mediante la introducción de diagramas de bloques, una herramienta nueva en el plantel.

Como las grandes industrias mineras, los mineros artesanales mejoran con el tiempo sus métodos de recuperación de oro de forma más lenta y arcaica. Como prueba de ello, (Fragoso, 2023) llevó a cabo un estudio investigativo titulado “*Evolución de los procesos de metalurgia extractiva de minerales de oro y plata*”. Este estudio evidenció la evolución de las técnicas extractivas de oro y plata a través de una revisión bibliográfica exhaustiva, el cual logra exponer el desarrollo y avance del beneficio de minerales de oro y plata de manera general de poco más de 5,000 años desde el enfoque ingenieril, científico y en menor medida

social concluyendo que ningún descubrimiento, avance o innovación ha sido espontanea invención de ningún hombre, todo adelanto ha sido el producto histórico de numerosos trabajos; los descubrimientos científicos y tecnológicos son el resultado de la actividad creativa colectiva a medida que cambia el entorno.

Sin duda, la minería artesanal ha evolucionado para mejorar la recuperación de oro, pero en procesos más complejos como la cianuración se ignoran variables elementales como la alcalinidad y la cantidad de cianuro de sodio a utilizar. Bajo esta necesidad, (Mendoza & Bonilla, 2021) realizaron un trabajo a nivel experimental con el objetivo de medir estas variables. Consideraron la composición de dos tipos de minerales auríferos, extraídos de vetas de sulfuros y de óxidos. En la cianuración de los minerales auríferos sulfurosos lograron obtener una recuperación de 88.36% de oro y 46.95% para la plata con un consumo de 4.97 kg NaCN/TM, 1.15 kg CaO/TM para una ley de cabeza 14.26 g de oro/TM, 190 g de plata/TM. Por otro lado, para el mineral oxidado en la cianuración se obtuvo una recuperación de 90.22% para el oro y 54.99% para la plata, con un consumo de 2.01 kg NaCN/TM, 3.85 kg CaO/TM para una ley de cabeza de 9.41 g oro/TM, 24.90 g plata/TM.

III. Justificación

El sector minero en Nicaragua se caracteriza por ser uno de los principales exportadores del país, superando incluso al sector cafetalero y bovino. Sin embargo, la producción de oro en bruto está dominado por el sector privado que representa el 74.47% de las exportaciones anuales. El desarrollo y aumento de la minería artesanal puede repercutir positivamente en la economía del país, empero, que no ha tenido un crecimiento estable por diversos factores. (M.A.P.A. Gobierno de España, 2022).

El principal problema de la minería artesanal se basa en la escasez de recursos tanto económicos como tecnológicos, los cuales no permiten el acceso a tecnología adecuada para mejorar el método de extracción, lo que limita la capacidad de aumentar la eficiencia y la sostenibilidad de sus operaciones. También se requieren capacitaciones para que el minero trabaje óptima y seguramente, con conocimientos técnicos de minado y geológicos, el buen uso de herramientas e instrumentos, entre otros métodos y procedimientos para aminorar los riesgos en cada etapa de extracción.

El uso de mercurio representa una amenaza al ambiente, ya que este puede filtrarse y contaminar los suelos y aguas provocando la acumulación en la biodiversidad llegando a perjudicar al ser humano. Por esto se pretende implementar la lixiviación con cianuro de sodio para evitar la contaminación ambiental y las posibles afecciones al ser humano.

La aplicación de nuevas tecnologías puede aumentar significativamente la productividad en las minerías artesanales al permitir la extracción y el procesamiento de minerales de manera más eficiente, optimizando tareas repetitivas y tediosas como la reducción de tamaño del mineral a mano o la extracción de este de la veta con punta y mazo, lo que libera tiempo y recursos para tareas más minuciosas. Dichas implementaciones requieren capacitación adicional y adaptación a cambios en los roles laborales, especialmente en aquellos trabajadores que han estado durante mucho tiempo en la industria.

IV. Objetivos

4.1. Objetivo general

Mejorar el proceso de recuperación de oro contenido en minerales auríferos mediante el control de parámetros en la lixiviación con cianuro de sodio a nivel artesanal.

4.2. Objetivos específicos

- Determinar el efecto de variar la concentración de NaCN, el pH de la solución y el tiempo de disolución en la recuperación de oro en minerales auríferos a nivel artesanal.
- Estudiar las variables de mayor influencia en la eficiencia de recuperación mediante un diseño estadístico de experimentos haciendo uso de un arreglo ortogonal Taguchi.
- Validar los resultados obtenidos mediante replicas ajustadas a las mejores condiciones encontradas.

V. Marco teórico

5.1. Generalidades del oro

El oro (Au del latín aurum), se encuentra en el grupo 11 de la tabla periódica con número atómico 79, se caracteriza por ser un metal blando, brillante, amarillo, pesado, maleable. Generalmente se encuentra en estado puro, incrustado en vetas de cuarzo, pepitas de oro, depósitos aluviales, depósitos de roca y depósitos en yacimientos epitermales. En la Tabla 1 se presentan las propiedades fisicoquímicas del oro:

Tabla 1

Propiedades del oro

Propiedad fisicoquímica	
Masa atómica (g/mol)	196.96
Densidad (g/ml)	19.3
Punto de fusión (°C)	1063
Reactividad química	baja
Solubilidad	Agua regia
Aleación	Mercurio

Fuente: Sitio oficial Lenntech.es

5.1.1. Historia del oro en Nicaragua

La historia del oro en Nicaragua está presente desde antes de la conquista de las américas. Los pueblos precolombinos que habitaban la región de Mesoamérica (occidente de Nicaragua) creían que el oro era desechos del sol, por consiguiente, sagrado. Su uso estaba dedicado a la elaboración de orfebrería como símbolo de ofrenda para los dioses y su portación se asociaba a personas con poder en la sociedad (Instituto Nacional de Antropología e Historia , 2020).

Desde el siglo XIX se han visto los vestigios de la explotación minera en el país. Uno de los mayores acontecimientos en la historia del oro en Nicaragua ocurrió tras la llegada en 1854 del explorador alemán Carl von Scherzer quien recorrió la mayor parte del territorio nacional. Scherzer descubrió minas en estado de abandono casi por completo en Macuelizo, Nueva Segovia las cuales empezaron su explotación desde 1813.

A finales de la década de los 60 el Dr. Berthold Seeman y el ingeniero en minas Thomas Belt llevaron a cabo investigaciones en unos yacimientos ubicado en Macuelizo y Dipilto en Nueva Segovia y San Ramón en Matagalpa. Ambos concluyeron que la explotación de oro y plata no era rentable debido a la profundidad de las vetas.

Luego de la investigación llevada a cabo en el norte del país, las exploraciones continuaron en la zona central, cuando la explotación minera en Nicaragua dio luz verde tras el descubrimiento de la mina del Jabalí en Chontales, a tan solo 3 km de La Libertad. Dicho descubrimiento despertó gran interés y pronto encontraron más de 300 minas (Lanuza Matamoros, 2012).

5.1.2. Historia de la minería en el municipio de Santa Rosa del Peñón.

La historia de la minería en este municipio se remonta a principios del siglo XVIII, alrededor del año 1700. No obstante, la verdadera historia de Santa Cruz de La India se sitúa en la década de 1920, cuando el señor Polo Blanco hizo el descubrimiento de la presencia de oro en la región. Posteriormente, en 1938, la empresa canadiense Noranda Inc. inició la explotación de oro en esta área. En ese período, comenzaron a llegar trabajadores mineros a Mina La India y se establecieron en las inmediaciones, lo que dio origen a la comunidad. Durante el tiempo de operación minera, la comarca de Mina La India experimentó un desarrollo que superaba a la mayoría de las localidades circundantes. Se construyeron instituciones educativas públicas y privadas, un cine, una tienda

comunitaria, una planta de fabricación de hielo, un club social, un hospital y otros servicios y facilidades (Mina La India, 2018).

No fue hasta octubre de 1954 que ocurrió el incidente en la presa La Simona producto de las fuertes lluvias lo que ocasionó que se inundara el plantel y las obras mineras, por lo que en 1956 la mina cerró operaciones debido a la difícil accesibilidad al mineral dada la profundidad y poca capacidad de desagüe de las aguas subterráneas (Mina La India, 2018).

Durante el período que abarca de 1960 a 1970, a medida que la empresa minera dejó de operar, la economía de la localidad comenzó a deteriorarse, lo que llevó a que los residentes se trasladaran a otras regiones mineras en busca de oportunidades laborales, particularmente a Mina El Limón. Al mismo tiempo, algunos individuos se involucraron en la extracción de oro cerca el río y en actividades agrícolas a pequeña escala. Hasta que, en el año 2010, la empresa CONDOR GOLD S.A. llegó a la comunidad para llevar a cabo labores de exploración, lo que resultó en la generación de empleos tanto directos como indirectos para los habitantes locales. Además, esta presencia impulsó programas significativos de inversión social en la comunidad (Mina La India, 2018).

5.2. Cianuro de sodio

El cianuro de sodio es una sal sódica del ácido cianhídrico cuya fórmula química es NaCN , es un compuesto inorgánico sólido e incoloro que no posee olor en estado seco. El cianuro como tal se puede encontrar en forma natural, ya que algunas bacterias, hongos y algas pueden producir cianuro de sodio, así como parte de azúcares o de otros compuestos naturales en algunas plantas comestibles; también puede ser manufacturado mediante el tratamiento de cianuro de hidrógeno con hidróxido de sodio lo que produce cianuro de sodio con agua (ATSDR, 2016). En la Tabla 2 se presentan las propiedades fisicoquímicas del cianuro de sodio:

Tabla 2

Propiedades del cianuro de sodio

Propiedad fisicoquímica	
Estado físico	Sólido
Apariencia	Blanco
Olor en presencia de humedad	Almendras amargas
pH, concentración y temperatura	Aproximadamente 11.7 (100 g/l, 20°C)
Tempera de ebullición	1496 °C a 1013 hPa
Temperatura de fusión	563 °C
Temperatura de descomposición	>1500 °C
Densidad	1.6 g/cm ³ a 20°C
Densidad aparente	Aproximadamente 750-900kg/m ³
Solubilidad	370 g/l a 20 °C

Fuente: Hoja de datos de seguridad Sodio Cianuro P.A. – Winkler.

5.3. Descripción general del proceso de obtención de oro

Por más de un siglo, la industria del procesamiento de oro ha confiado en la técnica de lixiviación con cianuro como su estándar. En el proceso de lixiviación con cianuro de sodio, una solución con cianuro de sodio pasa por el mineral a través de tanques o pilas en el que el oro se disuelve gracias al cianuro de sodio para después extraer oro de la solución de lixiviación enriquecida usando carbón activado o resinas (SGS, 2023). Las etapas del proceso de obtención de oro se describen a continuación.

5.3.1. Trituración y molienda

El objetivo de la trituración y molienda es la liberación de minerales a partir de la broza. Para lograr la división de los sólidos se utilizan cuatro métodos

fundamentales: la compresión, el corte, la abrasión o frotamiento y la percusión. El método depende de las propiedades de la sustancia; así, las sólidas y frágiles se dividen por compresión, corte y percusión y las viscosas, por aplastamiento y abrasión (Rosabal & Valle, 1989).

5.3.1.1. Molino de bolas

Las cámaras giratorias de acero, que tienen una forma cilíndrica, están equipadas con bolas o guijarros de hierro o acero que llenan aproximadamente la mitad de su volumen. Su función principal es reducir el tamaño de los materiales a través de los impactos generados por estas bolas, las cuales caen desde una cierta altura debido a la rotación del cilindro. Estos molinos tienen una entrada en un extremo para la alimentación de los materiales y una salida en el extremo opuesto para la descarga.

Es importante destacar que estos molinos tienen la versatilidad de funcionar tanto en condiciones de proceso en seco como en húmedo, lo que facilita la manipulación y el transporte de pulpas resultantes. En el caso de procesos húmedos, es posible utilizar bombas de cañerías para llevar a cabo el transporte de los materiales de manera eficiente (Bonilla & Martínez, 2022).

5.3.1.2. Molino de rastras

Es un equipo de trituración-molienda muy antiguo, típico del beneficio de oro en cuarzo. Consta de dos, tres y hasta cuatro piedras con un peso cercano a la media tonelada que se mueven sobre una especie de solera circular enchapada también en piedra y alcanza a producir granos finos. El tamaño final de grano es regulado mediante el tiempo de permanencia de la broza en la rastra, en este se logran alcanzar granulometrías aproximadas de 80% menor a 150 mallas Tyler. (Carrillo Claros, 2017). En la Figura 1 se muestra la imagen de un molino de rastra:

Figura 1

Molino de rastra.



Fuente: Elaboración propia

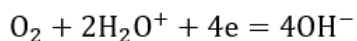
5.3.2. Lixiviación con cianuro de sodio

El oro es un elemento metálico que puede separarse de los minerales auríferos mediante un proceso de lixiviación con una solución acuosa de cianuro de sodio. Este compuesto inorgánico es ampliamente utilizado como agente de lixiviación en las minas de oro debido a su alta eficiencia, robustez y costo relativamente bajo (Yahya, Ibrahim, B A, & Suli, 2020).

De acuerdo con (Currie, 1937), “El cianuro de sodio no disuelve al oro por sí solo. El oxígeno y el agua son necesarios”. Esto es demostrado por las siguientes reacciones químicas:



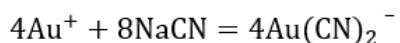
Ecuación 1: Oxidación del oro



Ecuación 2: Reducción del oxígeno

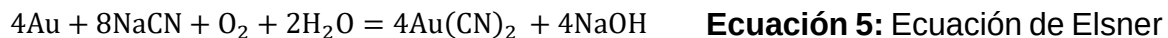


Ecuación 3: Disociación del cianuro de sodio



Ecuación 4: Reacción del oro con cianuro

Al simplificar estas ecuaciones, se obtiene la siguiente reacción combinada también conocida como Ecuación de Elsner:



Ecuación 5: Ecuación de Elsner

5.3.2.1. Importancia del pH en la cianuración

Se sabe que las sales simples pueden disolverse y ionizarse en agua tales como las sales de cianuro. Sin embargo, los iones de cianuro hidrolizados en agua forman HCN e iones hidroxilo (OH^-), con un incremento correspondiente en el pH, (Pérez & Higuera, 2008).



Ecuación 6: Disociación del cianuro de sodio

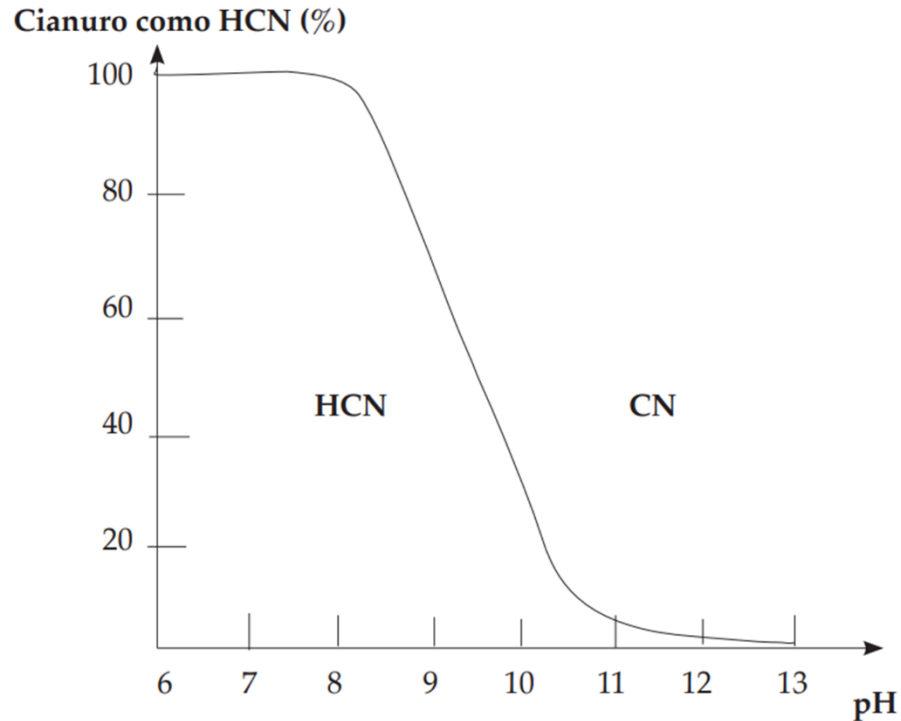


Ecuación 7: Equilibrio del cianuro en agua

Es por ello que se necesita de soluciones ligeramente alcalinas para evitar que se produzca HCN, ya que es un ácido altamente tóxico que se volatiliza a 26° C. En la Figura 2 se muestra la formación de cianuro de hidrógeno y cianuro libre en soluciones acuosas en función del pH:

Figura 2

Formación de cianuro de hidrógeno (HCN) y cianuro libre (CN) en soluciones acuosas en función del pH.



Fuente: (Pérez & Higuera, 2008)

5.3.2.2. Cianuración directa

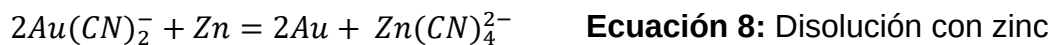
La cianuración directa es el método más utilizado por pequeños mineros debido a su bajo consumo de energía. Este método, al igual que la lixiviación por efecto de agitación, es un proceso por lotes con la diferencia de que no se dispone de un mecanismo de agitación ni de bombeo de aire que favorezca la oxigenación de la pulpa.

Luego de la trituración y molienda del mineral aurífero seleccionado, la pulpa resultante se descarga usualmente en pilas de concretos rectangulares donde posteriormente se cianura. La lixiviación en la cianuración directa depende esencialmente del efecto de la gravedad.

5.3.3. Método Merrill-Crowe

El método de precipitación con polvos de zinc o mejor conocido como método de Merrill-Crowe es ampliamente usado en la industria metalúrgica debido a su alta eficiencia para la recuperación de oro y plata, ya que obtiene el 99% de estos metales en forma de precipitado a partir de la solución cianurada. Anteriormente se empleaban virutas de zinc lo cual resultaba ineficiente debido a que presentaba una tasa de reacción lenta, esto se solucionó mediante la adición de una sal de plomo que eliminaba la pasividad de la superficie del Zinc (Bonilla & Martínez, 2022).

Actualmente se emplea el polvo de zinc debido a que al aumentar el área superficial se acelera la cinética de la reacción química. Este método depende del hecho que el oro y la plata son elementos más nobles que el zinc. Esto significa que son más apropiados para reducirse a sus estados nativos a partir de la solución de cianuro de acuerdo con la reacción:



5.4. Minería artesanal en Nicaragua

La minería artesanal ha sido una actividad ancestral que ha desempeñado un papel significativo en la historia y economía de Nicaragua. A lo largo de los años, esta práctica ha evolucionado y se ha adaptado a las condiciones locales, contribuyendo tanto a los medios de vida de las comunidades rurales como a la economía nacional. Conforme el país ha aumentado la extracción de minerales, en particular oro, la minería artesanal ha emergido como parte del panorama minero de Nicaragua. Esta actividad se caracteriza por la participación de pequeños mineros, a menudo de comunidades marginadas, que extraen minerales utilizando métodos tradicionales y herramientas rudimentarias (Mina La India, 2018).

5.4.1. Extracción de broza

Generalmente, la extracción de la materia prima, minerales auríferos, comúnmente llamada **broza** por los güiriseros, se realiza por debajo de la capa labrantía, es decir, en el subsuelo. Los minerales auríferos se componen por grandes depósitos de cuarzo llamados vetas.

Los minerales auríferos se extraen de manera manual con rotomartillos y, en casos especiales, con punta y maso. Se acumulan en recipientes de plásticos dentro de las minas y cuando están llenos, salen a través de un sistema de poleas. Posteriormente, la broza recolectada se acopia en sacos y se transporta por camiones hasta el punto de procesamiento, llamado coloquialmente como **plantel**.

5.4.2. Amalgamación por mercurio

Al llegar la broza al plantel pasa por un proceso de reducción de tamaño constituido por dos etapas: primero se reduce la broza mediante un triturador de mandíbulas para posteriormente pasar por el molino de rastra (Ver Figura 1).

Los molinos de rastra tienen una entrada de agua de 2.6 L/min y otra de broza de un saco por cada 40 min, aproximadamente 83.3 Kg/h. Durante el proceso de molienda en rastras, el mercurio se agrega a la tasa (ver Figura 3). Al ser un metal denso se asienta en el fondo de la tasa, impidiendo que se salga por el escape de la superficie del molino.

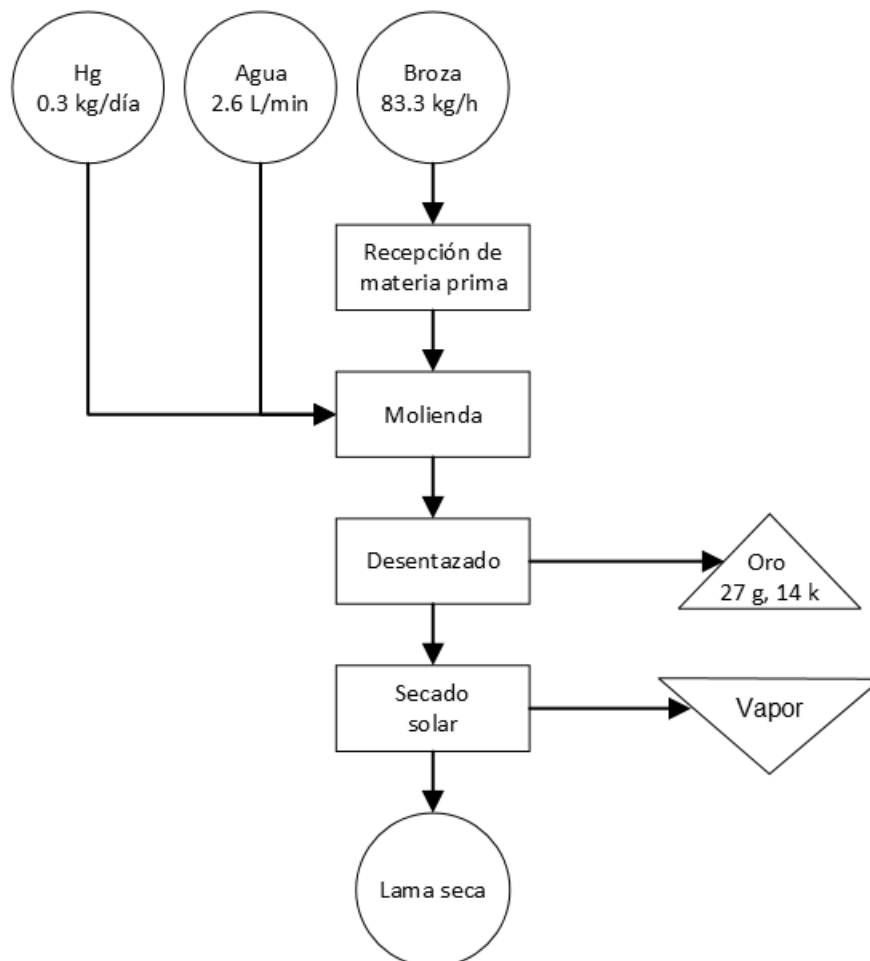
Una vez que se haya molido la broza, se procede a desmontar, por lo general, dos de las 4 piedras de trituración del molino de rastra con ayuda de un tecla para extraer la lama que se encuentra en la superficie para obtener las partículas de oro que se han amalgamado con el mercurio.

Posteriormente se extrae la amalgama con ayuda de un gotero, se deposita en un recipiente más grande y se le pasa por encima de la superficie un imán para extraer las virutas de hierro. Por último, se coloca la amalgama en un pañuelo de

algodón en el que se exprime a mano para filtrar el mercurio, dejando en el interior una aleación de oro y plata. En la Figura 3 se muestra el diagrama de extracción de oro por amalgamación con mercurio.

Figura 3

Diagrama de proceso de extracción de oro por amalgamación en finca El Madroñal



Fuente: Elaboración propia

5.4.3. Lixiviación con cianuro de sodio

Una vez que la lama se seca por evaporación, es alcalinizada con cemento comercial con una relación en peso de 117.6/1 de lama seca/cemento. Al agregar

cemento a la lama, su pH se incrementa, volviéndola más alcalina, condición ideal para que el cianuro pueda reaccionar con el oro.

En recipientes grandes con capacidad de 1,000 L para almacenar agua, se disuelve 0.9 kg de cianuro de sodio (NaCN) por cada tonelada de lama y se procede a mojarlo con una manguera instalada al recipiente o simplemente con una pana.

Al cianurar la lama, esta se mezcla moviéndola de posición con una pala. Esta acción de mezclado se realiza 2 veces al día por dos días, una por la mañana y otra por la tarde con el fin de “aportar oxígeno” u oxigenar para que reaccione el cianuro con el oro (Ver Figura 4). Finalizados los dos días de mezclado, la lama cianurada se transporta en carretillas a las pilas de cianuración donde se agrega 0.25 L de agua por cada Kg de lama.

Las pilas de cianuración cuentan con un sistema de filtración de modo que, los productos lixiviados, es decir, el oro y la plata se depositen en una pila menor donde se almacenan los lixiviados. En el fondo de la pila de cianuración, hay tubos con pequeños orificios cubiertos por sacos y luego por una capa delgada de arena, con el propósito de filtrar la solución cianurada.

5.4.4. Precipitación con polvo de zinc

La solución lixiviada se bombea en el tanque donde se disuelve el cianuro. A dicha solución se le aplica polvo de zinc para que este precipite el oro según la reacción de Elsner (Ver Ecuación 6), a este proceso se le conoce como Merrill-Crowe y es aplicado a baja escala. En la Figura 4 se muestra el tanque utilizado para precipitar oro con polvo de zinc.

Figura 4

Tanque de precipitación



Fuente: Elaboración propia

Todo el volumen de la solución lixiviada sobrepasa la capacidad de un solo tanque, es por ello que se llena hasta 6 veces, y se repite en cada una de ella el método de Merrill-Crowe. La acción de llenar el tanque con solución lixiviada y precipitar el oro con polvo de zinc se conoce como **sancada**.

Al agregar el polvo de zinc, se homogeniza la solución lixiviada con un mezclador y se deja reposar hasta que todas las partículas de zinc se asienten en el fondo del tanque. Luego se descarga la solución a las pilas de cianuración.

Para evitar que el oro precipitado vuelva a las pilas de cianuración, los tanques cuentan con un tubo pegado al escape de agua del tanque con un codo plástico apuntando hacia arriba, de este modo no se descargará toda la solución y el oro precipitado permanecerá en el fondo del tanque.

5.4.5. Elución del oro

El precipitado del tanque está compuesto de una mezcla de oro, plata y zinc. Este último se encuentra en mayor cantidad dando como resultado una mezcla gris oscura que impide la visibilidad de las partículas de oro.

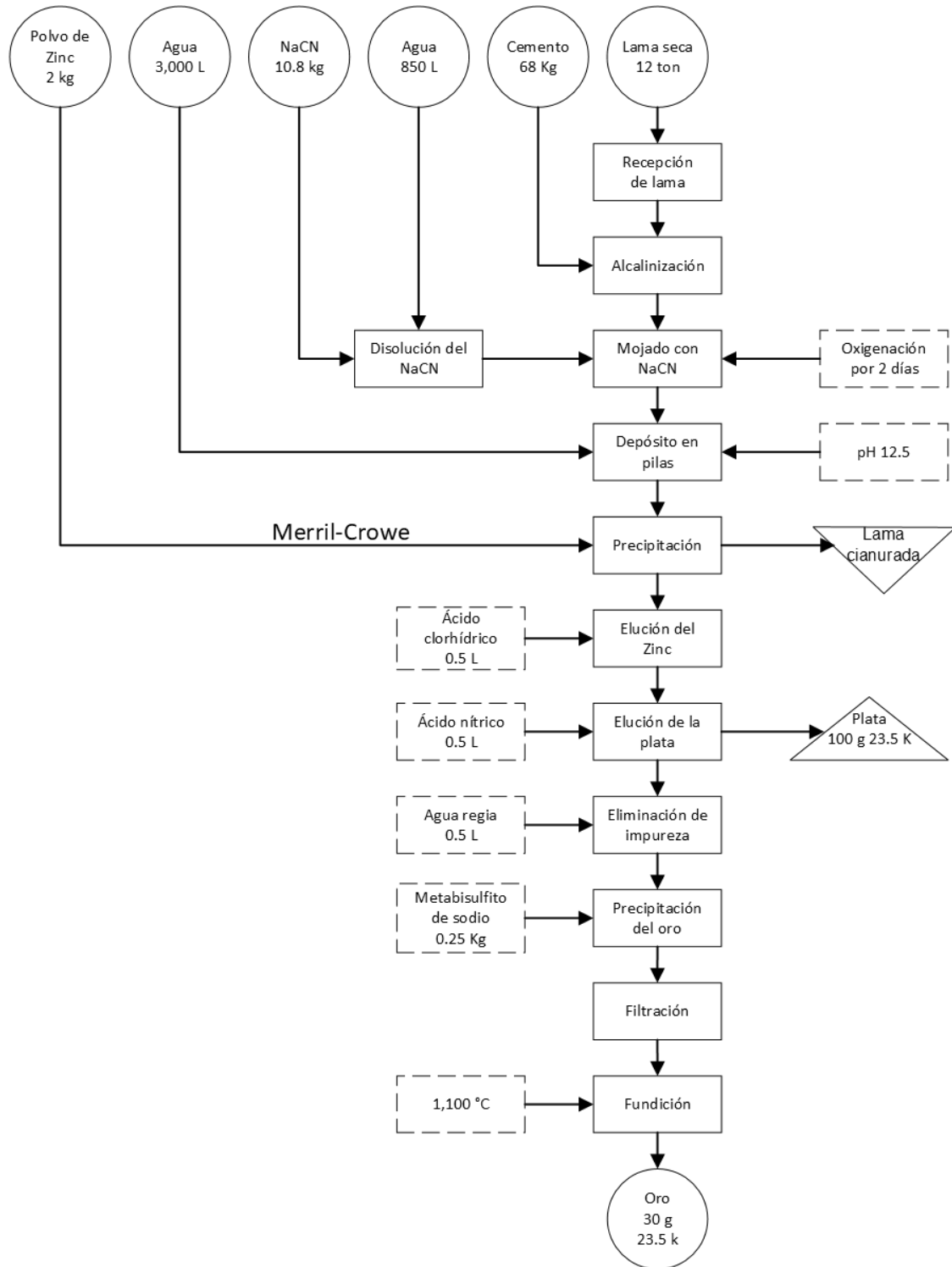
Para lograr obtener oro de esta mezcla es necesario trabajar por lotes pequeños, se deposita la mezcla de oro, plata y zinc en recipientes y se le agrega ácido clorhídrico en relación 1:4, se le agrega agua hasta la mitad del recipiente y se deja reposar para eliminar el zinc.

Una vez que la solución ha precipitado en su totalidad, se filtra y se procede a extraer la plata con ácido nítrico, al igual que el paso anterior, se agrega agua, se deja reposar y se separa del oro.

Debido a la cantidad de impurezas presentes en la mezcla, no es posible observar el oro por lo que es necesario disolverlo en agua regia y precipitarlo con metabisulfito de sodio, ya precipitado en su totalidad se procede a filtrar la solución y se funde con ayuda de un soplete. Mediante este método el oro que se obtiene es de alta calidad, siendo su grado de pureza de aproximadamente 23.8 kilates. En la Figura 5 se muestra el diagrama de proceso de extracción y refinación de oro por lixiviación con cianuro de sodio.

Figura 5

Diagrama de proceso de extracción y refinación de oro por lixiviación con cianuro de sodio en finca El Madroñal



Fuente: Elaboración propia

VI. Hipótesis

Se espera recuperar un mayor porcentaje de oro a través de lixiviación con cianuro de sodio tomando en cuenta parámetros tales como el tiempo de reacción, concentración de cianuro y el pH de la solución.

VII. Metodología

7.1. Materiales y Equipos

Todos los reactivos químicos, (a excepción del cianuro de sodio) son relativamente fácil de obtener. Los puntos de ventas se encuentran en zonas urbanas aledañas a las minas de Santa Rosa del Peñón, departamento de León, Nicaragua.

- **Broza:**

La broza utilizada fue extraída de las minas ubicadas en el municipio de Santa Rosa del Peñón, mediante el uso de rotomartillos, picos y martillos. Se caracteriza por estar compuesta principalmente por minerales de alta dureza, entre los cuales predomina el cuarzo. Estos minerales contienen partículas de oro en estado libre, lo que hace necesario un proceso de molienda para su recuperación.

- **Agua**

El agua fue transportada de una vertiente hacia el plantel mediante una motobomba. Esta se caracteriza por contar con un pH de entre 6.5 a 7.6 y la ausencia de sólidos en verano.

- **Cianuro de sodio (NaCN)**

El cianuro de sodio (NaCN) es una sal incolora e inodora en su estado sólido, es utilizada en la lixiviación de oro y se adquiere en puestos de ventas de reactivos químicos en zonas aledañas de manera controlada.

- **Modificador de pH: cemento Portland tipo GU**

En el proceso actual se utiliza cemento de la marca Holcim con el fin de subir el pH desde 10.5 hasta 11.5, es utilizado para mantener estable la solución de cianuro debido a que forma soluciones alcalinas.

- **Polvo de zinc (Zn)**

Este es un polvo gris metálico utilizado como agente para separar metales preciosos como el oro (Au) y la plata (Ag). Se puede adquirir en tiendas de productos químicos.

- **Ácido clorhídrico (HCl)**

El ácido clorhídrico (HCl), es un líquido corrosivo que se adquiere relativamente fácil en puntos de ventas locales de productos químicos y de limpieza con una concentración del 37%.

- Ácido nítrico (HNO_3)

Al igual que el ácido clorhídrico (HCl), el ácido nítrico (HNO_3) no es difícil de adquirir. Los puntos de ventas se ubican cerca de las zonas de explotación minera distribuyéndolo con una concentración del 68%.

- Agua regia ($\text{HNO}_3 + 3\text{HCl}$)

El agua regia ($\text{HNO}_3 + 3\text{HCl}$) es el resultado de mezclar 3 volúmenes de ácido clorhídrico y un volumen de ácido nítrico. Su distribución es inexistente debido a que los mineros artesanales saben cómo prepararla.

- Metabisulfito de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$)

Esta sal sódica se distribuye de manera controlada en puestos de ventas aledaños a las zonas mineras.

- Tetraborato de sodio ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$)

El uso de esta sal de boro depende de la cantidad de impurezas presente en el oro. El tetraborato de sodio o bórax se adquiere en puestos de ventas de productos químicos para la minería.

En la Tabla 3 se presentan los equipos utilizados en la presente investigación.

Tabla 3

Equipos para la preparación de lixiviación

Prueba	Equipos utilizados
Alcalinidad	Medidor de pH portátil Milwaukee 102, sonda de pH (SE220) cable de 1 metro. Rango de medición del medidor de pH de -2.00 hasta 16.00 de pH; Precisión 0.01pH Calibración automática, en 2 puntos (PH7.01 y PH 4.01/10.01).
Temperatura	Medidor de pH y temperatura portátil Milwaukee 102, sonda de temperatura (MA830R) con cable de 1 metro.
Granulador	Mikasa MTX 80HDR con motor Honda GXR120 multi-pistón. 3,505 libras de fuerza combinadas con una zapata de 11.2 pulgadas de ancho.
Movilidad de sólidos	Carretilla Truper 4.5 pies, capacidad de 65 litros. Llanta de hule sólido con bastidor tubular.
Movilidad de agua	Motobomba a gasolina Truper de 7 HP. Capacidad de bombeo de hasta 900 litros por minuto y elevación de agua de 25 metros de alto. Tanque con capacidad para almacenar hasta 2.6 litros de combustible. Salida de agua es de 3" de diámetro.
Fundición	Soplete a propano MAP//Pro con capacidad de temperatura máxima de hasta 3600° F.

Fuente: Elaboración propia

7.2. Método

7.2.1. Evaluación del efecto de variables en la recuperación de oro

Se seleccionaron tres variables operativas:

- Concentración de cianuro de sodio

La concentración de cianuro juega un papel importante en la solubilidad del oro; esta aumenta de soluciones diluidas a concentradas, siendo la concentración más eficaz ubicada en el rango de 0.01% y 0.05% en relación al volumen (100 a 500

partes por millón) (Logsdon, Hagelstein, & Mudder, 1999). Por esto mediante el diseño experimental se pretende evaluar mediante intervalos de 0.025% la concentración óptima.

- Modificadores de pH

La reacción de Elsner solo ocurre en soluciones alcalinas, es por ello que se dispone de un agente modificador de pH, en este caso cemento, para obtener el valor deseado. (Arce & Cano, 2017) concluyeron que el pH óptimo de cianuración para la recuperación de oro estaba en el rango de 10.5 a 11, pero en la minería artesanal los niveles sobrepasan ese rango.

Por eso se decidió trabajar 3 niveles en intervalos de 0.5 del parámetro pH, de los cuales dos están en el rango propuesto y uno que lo exceda, para evaluar la eficiencia de la minería artesanal.

- Tiempo de residencia

El tiempo de residencia en las pilas de lixiviación utilizado actualmente es de 2 días, sin embargo, se conoce que el tiempo es un factor importante en el rendimiento final, por lo que a mayor tiempo es mayor la cantidad de oro obtenido (Mendoza & Bonilla, 2021). Debido a esto se decidió evaluar tiempos de residencia de 2,3 y 4 días.

Posteriormente se prepararon las soluciones con las concentraciones de NaCN definidas y con ajustes de pH periódicos. Al finalizar cada prueba, se filtró la solución y se cuantificó la cantidad de oro recuperada en gramos.

7.2.2. Análisis estadístico de variables mediante diseño Taguchi

Se busca optimizar el proceso de extracción utilizado en la minería artesanal mediante la investigación aplicada de factores de tres niveles que influyen de manera directa en el porcentaje de oro extraído como la concentración de cianuro, pH y tiempo.

7.2.2.1. Factores y niveles para el diseño experimental

Al optimizar el método de extracción de oro se consideran 3 factores para el diseño experimental y una vez seleccionados los niveles de estudio con los que se realizarán las corridas. Se consideraron tres niveles por factor, uno alto, uno bajo y uno medio. En la Tabla 4 se presenta las variables controladas y sus respectivos niveles a operar.

Tabla 4

Variables Controladas y sus Niveles

Parámetro de proceso	Símbolo	Bajo	Medio	Alto
Concentración de cianuro (%p/v)	C	0.01	0.025	0.05
Alcalinidad	pH	10.5	11	11.5
Tiempo (días)	t	2	3	4

Fuente: Elaboración propia

7.2.2.2. Diseño de Taguchi

Para la generación del arreglo ortogonal se empleó el software estadístico Minitab, utilizando un diseño Taguchi L_9 (3×3), sin réplicas ni control de errores. Esta decisión, si bien reduce la robustez estadística de los experimentos, responde a consideraciones prácticas asociadas al uso de grandes cantidades de lama en cada una de las nueve corridas experimentales, así como al costo de los reactivos, materiales y equipos involucrados, en un contexto de recursos económicos limitados para la realización de esta monografía. En la Tabla 5 se presenta el arreglo ortogonal Taguchi propuesto para realizar esta investigación.

Tabla 5

Arreglo de Taguchi

N° de corrida	Concentración(%p/v)	pH	Tiempo (días)
1	0.010	10.5	2
2	0.010	11.0	3
3	0.010	11.5	4
4	0.025	10.5	3
5	0.025	11.0	4
6	0.025	11.5	2
7	0.050	10.5	4
8	0.050	11.0	2
9	0.050	11.5	3

Fuente: Elaboración propia

7.2.2.3. Variable respuesta

La variable respuesta para cuantificar la efectividad de los experimentos realizados corresponde al porcentaje en peso de oro recuperado en base a 1 tonelada de lama procesada.

7.2.3. Validación experimental de condiciones óptimas

Se seleccionaron los niveles óptimos con base a los resultados del diseño Taguchi para realizar una réplica.

Se validaron las condiciones seleccionadas respecto a la eficiencia de las pruebas iniciales y se compararon los resultados experimentales con los valores predichos por el análisis estadístico.

VIII. Resultados y discusión

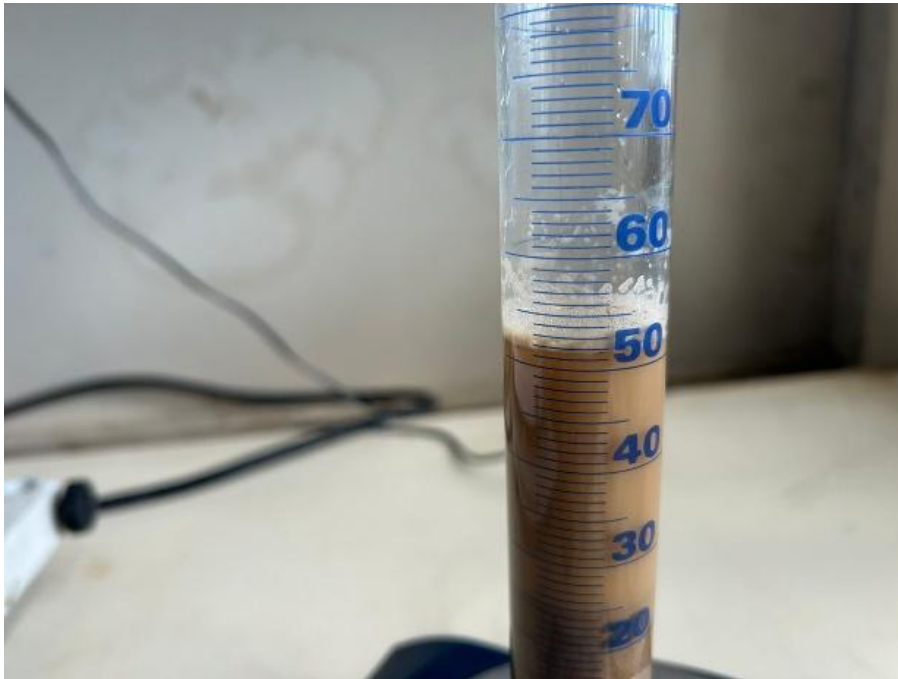
8.1. Caracterización de materia prima

Las unidades de medidas utilizadas para cuantificar la cantidad de la lama en la minería artesanal son las toneladas métricas (TM). Es bien sabido entre todos los mineros artesanales que 16 sacos de lama equivalen aproximadamente a una tonelada.

En cada prueba a realizar, se necesita saber la densidad de la lama para controlar la cantidad exacta que se requiere. Es por ello que se tomó una pequeña muestra de 30 g de lama seca en una probeta. En otra probeta se midió 40 ml de agua, el cual fue agregado a los 30 g de lama. El volumen esperado de lama dentro del tanque de cianuración será un poco mayor a 444.44 L debido al aire y la humedad que queden atrapado dentro de la misma lama. Este volumen servirá como referencia para confirmar el peso que se desea trabajar. En la Figura 6 se muestra una prueba de densidad de mineral aurífero triturado (lama):

Figura 6

Prueba de densidad de lama



Fuente: Elaboración propia

8.2. Preparación del tanque de cianuración y precipitación

Para lixiviar 1 tonelada del mineral aurífero finamente molido, equivalente a 444.44 l, se necesita disponer de un contenedor hermético de mayor volumen para almacenar el mineral junto con la solución cianurada. Para ello se contó con dos contenedores de plástico reforzados con tubos de hierro alrededor y una llave de paso en el nivel más bajo de cada tanque para permitir el flujo del lixiviado. El primer contenedor se colocó a un nivel más alto con respecto al segundo contenedor. En el fondo del primero, se elaboró un filtro hecho con 3 sacos arena de río lavada, 3 sacos blancos nuevos como barrera para retener la misma arena y piedras, con el fin de impedir que el lixiviado llevase trazas del mineral aurífero por una manguera transparente de media pulgada que se conectó con la salida del flujo del primer contenedor.

El segundo contenedor se ubicó a un nivel más bajo con respecto al primero, de modo que el lixiviado se transportase por acción de la gravedad y así ahorrar energía. Dentro de éste, se le añadió a la salida del contenedor, un pedazo de tubo de 3 pulgadas de longitud y un codo con dirección hacia arriba con el fin de retener el precipitado. En la Figura 7 se muestra la diferencia de altura entre el tanque de cianuración y el de precipitación:

Figura 7

Tanque de cianuración y precipitación



Fuente: Elaboración propia

Una vez depositada la lama seca en el tanque de lixiviación, de forma directa, se alcalizará y se disolverá el cianuro de sodio (NaCN) con cemento portland y agua respectivamente en el tanque de precipitación. La solución cianurada se transportará con una moto bomba al tanque de lixiviación para dar inicio al tiempo de residencia de cada corrida.

8.3. Condiciones de la parte experimental

Se empleó un arreglo de Taguchi L_9 considerando como factores el pH, la concentración de cianuro y el tiempo de lixiviación, para cada tonelada de lama a procesar se utilizaron 485 L de agua. Los datos se muestran en gramos de oro obtenidos y el porcentaje de recuperación teniendo como ley de cabeza 2.6 g por tonelada.

La primera corrida se realizó durante un período de 2 días con una concentración de cianuro de 0.010% p/v, de lo cual se obtuvo 1.6 g de oro que representa un 61.54% de lo estimado.

En la segunda corrida, se utilizó una concentración de cianuro de 0.010%p/v en un volumen de 485 litros de agua durante 3 días. Durante este proceso, se realizó un ajuste del pH antes de cada recirculación al tanque de lixiviación, dando como resultado 1.7 g de oro, 65.38% de lo estimado.

La tercera corrida se realizó durante un período de 4 días con una concentración de cianuro de sodio de 0.010%p/v. Se realizaron dos corridas debido a que no se logró obtener oro en la tercera corrida a como se observa en la tabla 6, esto debido a que durante esos 4 días las lluvias no cesaron dificultando el acceso y monitoreo del mismo, como consecuencia el pH alcanzó un valor de 8.16 lo que provocó la degradación del cianuro, así como se observó en el mismo la importancia de la precipitación con cada recirculación, ya que durante esos días no se realizaron dando como resultado menos de 0.5 g de oro. Debido a esto se realizó una reposición en la que se controlaron rigurosamente las variables experimentales, logrando obtener 1.8 g de oro equivalente a un 69.23% de lo estimado.

La cuarta corrida, con una duración de 3 días, se llevó a cabo con una concentración de cianuro del 0.025%p/v en 485 litros de agua. Durante el proceso, se realizaron ajustes periódicos del pH para mantenerlo dentro del rango óptimo, lo que permitió recuperar 1.9 g de oro, 73.03% de lo estimado.

En la quinta corrida, se mantuvieron las mismas condiciones de concentración con una duración de 4 días. A lo largo del experimento, se monitorearon y ajustaron los valores de pH, asegurando un entorno adecuado para la lixiviación. Como resultado, se obtuvo 2.1 g, 80.76% del oro estimado.

En la sexta corrida, con concentración de 0.025%p/v, pH inicial de 11.5 y duración de 2 días, se pudo observar un problema de filtración desde el primer día de recirculación. Si bien, la turbidez de la solución cianurada tubo una considerable al siguiente día, no fue lo estrictamente clara en comparación a las demás corridas, es por ello que se decidió catalogarla como corrida fallida. Antes de comenzar la réplica de la sexta corrida, se limpió el filtro del fondo de tanque con abundante agua. Se le llenó dos veces con un flujo de agua lento para no afectar el filtro. Los parámetros de la réplica son los mismos de la corrida 6 dando como resultado 1.8 g de oro, lo que representa el 69.23% del oro recuperado estimado.

La séptima corrida se realizó con una concentración de 0.050%p/v, pH inicial de 10.5 y duración de 4 días. Las condiciones climáticas fueron propicias para que la prueba fuese exitosa dando como resultado 2.4 g de oro, 92.31% del oro recuperado estimado.

En la octava corrida, con concentración de 0.05%p/v, pH inicial de 11 y duración de 2 días, el metabisulfito sódico utilizado para precipitar el oro disuelto en agua regia no hizo reacción adecuadamente. El estado de esta sal presentaba una textura grumosa, lo que sugiere un almacenamiento inadecuado. Al ser un compuesto higroscópico, la humedad en el ambiente catalizó su degradación, perdiendo sus propiedades originales. Los reactivos utilizados en la réplica de la octava corrida reaccionaron con toda normalidad, obteniéndose 2.3 g de oro, lo que representa el 88.46% del oro recuperado estimado.

Finalmente, en la novena corrida, con una concentración de cianuro del 0.050%p/v, un pH inicial de 11.5 y una duración de 3 días, las condiciones fueron favorables para el proceso, logrando una recuperación de 2.6 g de oro,

equivalente al 100% del oro estimado. En la Tabla 6 se presentan los resultados del diseño experimental:

Tabla 6
Resultados del diseño experimental

Corrida #	Día	hora	pH inicial	pH rectificado	Concentración de NaCN (%p/v)	% Recuperación (Au)
#1	15/8/2024	10:30 AM	10.5	10.5	0.01	61.54%
	16/8/2024	9:00 AM	9.75	10.48		
	17/8/2024	12:20 AM	10.15	-		
	Au (g)		1.6			
#2	5/9/2024	9:30 AM	11	11	0.01	65.38%
	6/9/2024	9:00 AM	10.35	11.05		
	7/9/2024	10:30 AM	10.46	10.98		
	8/9/2024	11:30 AM	10.85	-		
	Au (g)		1.7			
#3	22/8/2024	9:30 AM	11.5	11.5	0.01	<20%
	22/8/2026	10:15 AM	8.16	-		
	Au (g)		<0.5			
#3 (reposición)	5/9/2024	10:20 AM	11.5	11.5	0.01	69.23%
	6/9/2024	10:30 AM	11.25	11.49		
	7/9/2024	12:30 AM	11.15	11.51		
	8/9/2024	8:30 AM	11.35	11.48		
	9/9/2024	10:15 AM	11.41	-		
	Au (g)		1.8			
#4	11/9/2024	10:00 AM	10.5	10.5	0.025	73.08%
	12/9/2024	9:30 AM	9.8	10.47		
	13/9/2024	9:30 AM	10.36	10.54		
	14/9/2024	10:30 AM	10.44	-		
	Au (g)		1.9			
#5	17/9/2024	8:30 AM	11	11	0.025	80.77%
	18/9/2024	11:30 AM	10.11	10.5		
	19/9/2024	10:30 AM	10.22	10.49		
	20/9/2024	11:30 AM	10.15	10.52		
	21/9/2024	10:15 AM	10.36	-		
	Au (g)		2.1			
#6	29/8/2024	10:00 AM	11.5	11.5	0.025	<20%
	30/8/2024	8:30 AM	10.98	11.48		
	31/8/2024	8:00 AM	11.25	-		
	Au (g)		< 0.5			
#6 (reposición)	26/9/2024	10:30 AM	11.5	11.5	0.025	69.23%
	27/9/2024	9:00 AM	11.1	11.5		
	28/9/2024	10:40 AM	11.25	-		
	Au (g)		1.8			
#7	22/1/2025	10:00 AM	10.5	10.5	0.05	92.31%
	23/1/2025	9:00 AM	9.8	10.5		
	24/1/2025	9:30 AM	10.12	10.53		
	25/1/2025	10:30 AM	10.25	10.48		
	26/1/2025	11:00 AM	10.33	-		
	Au (g)		2.4			
#8	17/9/2024	10:30 AM	11	11	0.05	<20%
	18/9/2024	9:00 AM	10.74	11.02		
	19/9/2024	12:20 AM	10.8	-		
	Au (g)		<0.5			
#8 (reposición)	19/1/2025	10:30 AM	11	11	0.05	88.46%
	20/1/2025	11:30 AM	10.67	11.15		
	21/1/2025	10:15 AM	10.89	-		
	Au (g)		2.3			
#9	10/2/2025	9:30 AM	11.5	11.5	0.05	100.00%
	11/2/2025	9:30 AM	10.8	11.47		
	12/2/2025	10:15 AM	11.22	11.49		
	13/2/2025	9:40 AM	11.24	-		
	Au (g)		2.6			

Fuente: Elaboración propia

8.4. Análisis gráfico y estadístico

Al obtener los resultados de la variable respuesta (% recuperación de Au), se procede a realizar el análisis del modelo Taguchi. En la tabla 7 se presentan los coeficientes del Modelo Estimados para la Relación Señal/Ruido (S/N).

Tabla 7

Coeficientes del Modelo Estimados para la Relación Señal/Ruido (S/N)

Término	Coef	EE del coef.	T	P
Constante	6.00666	0.1461	41.108	0.001
C 0.010	-1.40772	0.2066	-6.812	0.021
C 0.025	-0.29836	0.2066	-1.444	0.286
pH 10.5	-0.25277	0.2066	-1.223	0.346
pH 11.0	0.08931	0.2066	0.432	0.708
t 2	-0.53253	0.2066	-2.577	0.123
t 3	0.15451	0.2066	0.748	0.533

Fuente: Generado en Minitab Statistical Software

Tomando un nivel confianza del 95%, todos los resultados de P cuyo valor sean menor a 0.05 resultan ser críticos sobre la variable respuesta, es decir, que provocan una variación significativa sobre esta. En este caso, se puede observar que todas las corridas cuya concentración fueron del 0.01% afecta significativamente la recuperación de oro.

Para corroborar lo antes descrito, se debe de evaluar el ajuste del modelo estadístico usado en el experimento. En la Tabla 8 se presenta el resumen del modelo.

Tabla 8

Resumen del modelo

S	R²	R² (ajustado)
0.4384	97.74%	90.94%

Fuente: Generado en Minitab Statistical Software

El valor del coeficiente de determinación (R^2) es muy cercano a 100%, lo que da un buen indicio de la fiabilidad de los resultados. Es decir que el modelo explica cerca del 98% de la variabilidad de los factores analizados (pH, concentración y tiempo) en la recuperación de oro. Por otra parte, la diferencia entre R^2 y R^2 ajustado (97.74 % vs. 90.94%) sugiere que algunos factores no son lo suficientemente significativos.

Para identificar cuáles factores tienen más impacto y definir los valores óptimos para maximizar la recuperación de oro, es necesario analizar la tabla de varianza de relaciones S/N y las gráficas de efectos principales y de señal/ruido. En la Tabla 9 se presenta el análisis de varianza (ANDEVA) de relaciones señal/ruido (S/N).

Tabla 9

Análisis de varianza de relaciones S/N

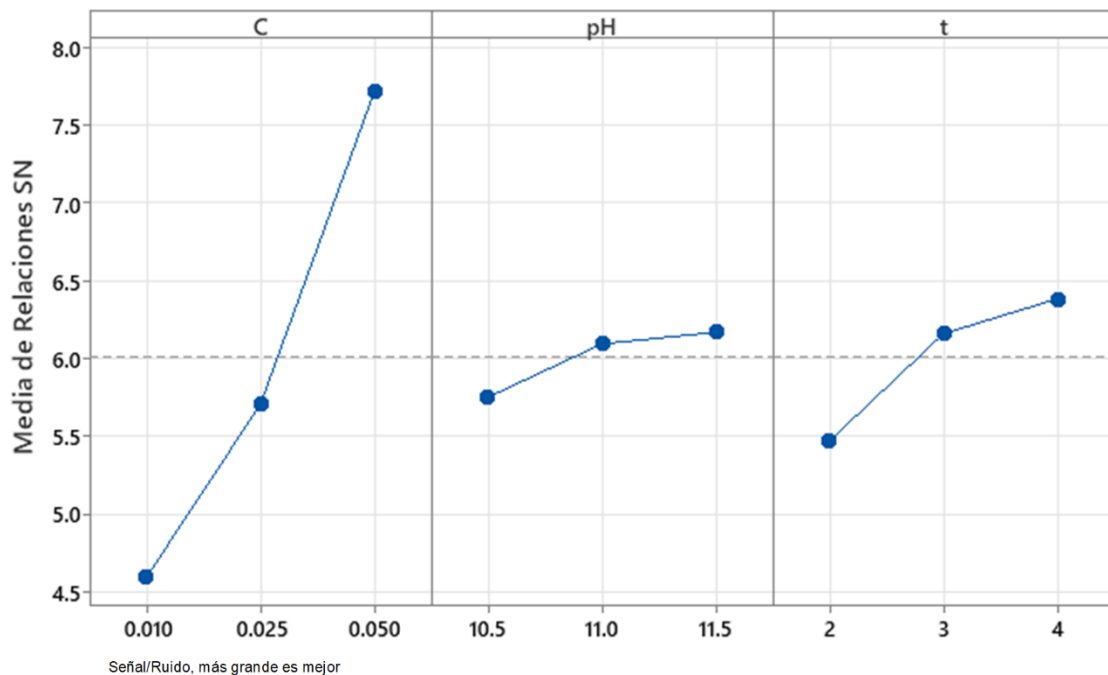
Fuente	GL	SC Sec	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P	% Contribución
C	2	14.9443	14.9443	7.4721	38.89	0.025	88.03
pH	2	0.2958	0.2958	0.1479	0.77	0.565	1.74
t	2	1.3511	1.3511	0.6755	3.52	0.221	7.96
Error residual	2	0.3843	0.3843	0.1922			2.26
Total	8	16.9754					100

Fuente: Generado en Minitab Statistical Software

El factor concentración (C) sí es significativo debido a que el valor P es menor a 0.05, por lo que, este factor resulta ser crítico de control, ya que presenta mayor incidencia sobre la variable respuesta (% de recuperación de Au). El rango del factor pH estudiado no es significativo debido a que es limitado (10.5-11.5) y cualquier valor dentro de este rango hará que la solución cianurada reaccione bien con el oro o la plata. En la Figura 8 se muestran los efectos principales para relaciones SN:

Figura 8

Gráfica de efectos principales para relaciones señal/ruido (S/N)



Fuente: Generado en Minitab Statistical Software

Para obtener un proceso estable y con menos variabilidad, es necesario tomar los valores más altos de la Media de relaciones de S/N para los tres factores que se muestran en la Figura 8, es decir, para la concentración; 0.05%, para el pH; 11.5 y para el tiempo; 4 días.

También se pudo observar que los niveles 2 y 3 del factor pH (11 y 11.5 respectivamente) dan como resultado una diferencia muy pequeña entre las medias de relaciones S/N (6.096 vs. 6.170). Esto quiere decir, a simple vista, que la implementación de ambos niveles al proceso mejorado no desestabilizaría significativamente al proceso. En la Tabla 10 se presenta la respuesta para las relaciones de Señal/Ruido.

Tabla 10*Respuesta para las relaciones de Señal/Ruido*

Nivel	C	pH	t
1	4.599	5.754	5.474
2	5.708	6.096	6.161
3	7.713	6.170	6.385
Delta	3.114	0.416	0.911
Clasificar	1	3	2

Fuente: Generado en Minitab Statistical Software

El efecto de cada nivel de factor en la media de la respuesta (en este caso, el de % de oro recuperado) sí representan una variación significativa tomando en cuenta el valor adquisitivo actual del oro, debido a que cualquier incremento en el porcentaje de recuperación puede representar ganancias de miles de dólares en procesos de mayor envergadura, por tanto, aunque la estabilidad del proceso no se ve afectada por los niveles de pH, se debe considerar al seleccionar los niveles óptimos. En la Tabla 11 se presentan la respuesta de media.

Tabla 11*Respuesta para medias*

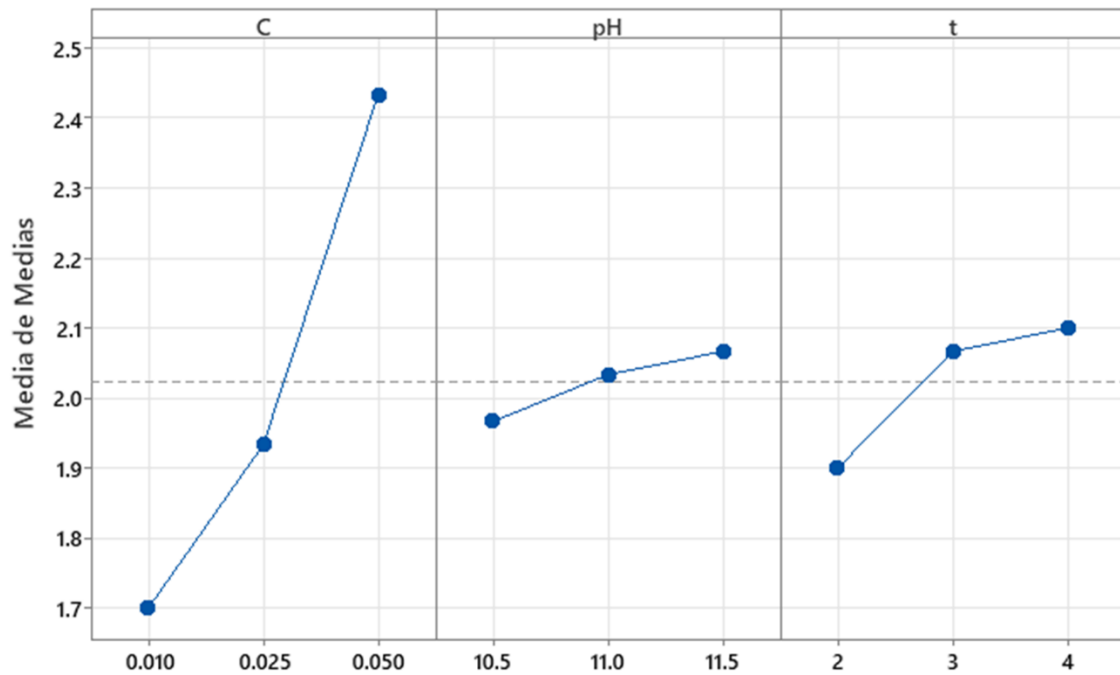
Nivel	C	pH	t
1	1.700	1.967	1.900
2	1.933	2.033	2.067
3	2.433	2.067	2.100
Delta	0.733	0.100	0.200
Clasificar	1	3	2

Fuente: Generado en Minitab Statistical Software

Para obtener los mejores resultados en la variable respuesta (porcentaje de oro recuperado), es necesario comparar los valores más altos de la media de Medias con los tres factores, al igual que el gráfico Figura 8, para la concentración; 0.05%, para el pH; 11.5 y para el tiempo; 4 días. En la Figura 9 se muestra la gráfica de efectos principales para Medias

Figura 9

Gráfica de efectos principales para Medias

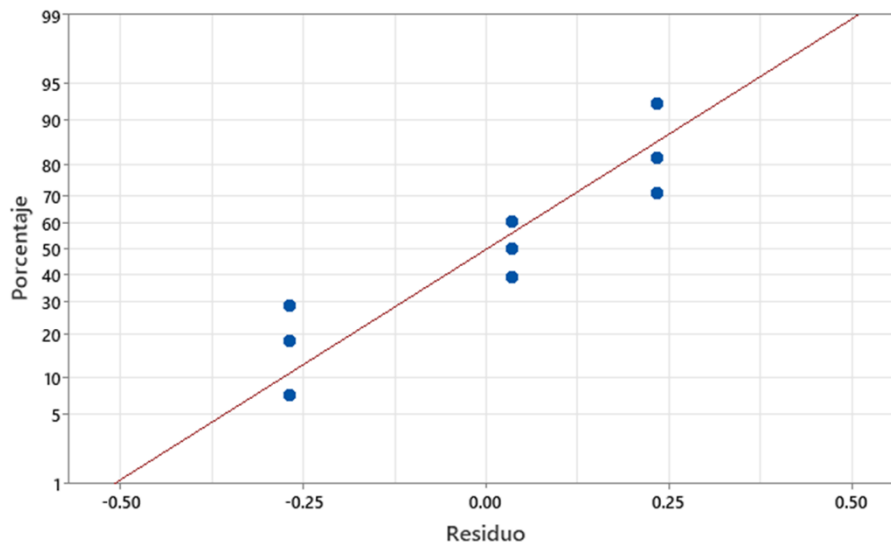


Fuente: Generado en Minitab Statistical Software

Por último, se verifican si los resultados de la lixiviación de oro tienen una distribución esperada o si hay valores atípicos que podrían afectar el análisis. En la Figura 10 se presenta la gráfica de probabilidad normal de los resultados obtenidos.

Figura 10

Gráfica de probabilidad Normal



Fuente: Generado en Minitab Statistical Software

Según la Figura 10 Gráfica de la probabilidad Normal, el modelo cumple bastante bien con la normalidad de los residuales, esto sugiere que los errores del modelo son aleatorios y no hay grandes desviaciones que afecten la validez de los resultados aun tomando en cuenta la ligera dispersión en los extremos.

Por lo tanto, se puede decir con certeza que los niveles óptimos para los factores de concentración, pH y tiempo son 0.05%, 11.5 y 4 días, respectivamente.

8.5. Predicción y validación de niveles óptimos

Para poder estimar el valor predicho de la respuesta en la combinación óptima (porcentaje de oro recuperado), es necesario relacionarlo con la suma de los efectos individuales de cada factor en su nivel óptimo

$$Au = 0.098 + 18.50 C + 0.10 pH + 0.10 t \quad \textbf{Ecuación 9: Ecuación de predicción}$$

Donde:

Au = Oro recuperado (g)

C = Concentración de cianuro de sodio (%p/v)

pH = Potencial de Hidrógeno (adimensional)

t = Tiempo de residencia (días)

A partir del análisis realizado y con base en la ecuación 9 de predicción de Taguchi indica que, bajo estas condiciones óptimas, la respuesta esperada será 2.55556 g de oro. En la Tabla 12 se presenta la predicción de niveles óptimos.

Tabla 12

Predicción de niveles óptimos

Relación S/N	Media
8.25423	2.55556

Fuente: Generado en Minitab Statistical Softwar

Al validar los resultados de las corridas, se obtiene la variable respuesta esperada en los niveles óptimos dando como resultado una recuperación de oro del 104%. Esta corrida se realizó con una concentración de cianuro del 0.050% p/v, un pH inicial de 11.5 y una duración de 4 días. En la Tabla 13 se presentan los resultados de los niveles óptimos de cada factor.

Tabla 13*Resultados de niveles óptimos*

Niveles óptimos					
Día	hora	pH inicial	pH rectificado	Concentración (%p/v)	% de Recuperación
7/3/2025	11:00 AM	11.5	11.5		
8/3/2025	1:30 PM	11.28	11.48		
9/3/2025	2:40 PM	11.36	11.5		
10/3/2025	2:00 PM	11.4	11.51	0.05	104%
11/3/2025	4:20 PM	11.4	-		
Au (g)		2.7			

Fuente: Elaboración propia

La lixiviación con cianuro de sodio es el método más utilizado en la minería debido a que se logra recuperar en mayor cantidad las partículas de oro contenida en la mena en comparación al uso de mercurio (Bonilla & Martínez, 2022). El mercurio solo puede formar amalgamas con partículas grandes, lo que reduce su eficiencia en minerales donde se encuentra de manera microscópicas, lo que significa una gran pérdida en la cantidad de oro recuperada.

(Bonilla & Martínez, 2022) realizaron una investigación en el Plantel Santa Isabel con una ley de cabeza de toda la broza incluyendo los procesos de amalgamación y lixiviación, reportando un rendimiento total del 85%. Por otra parte, (Mendoza & Bonilla, 2021) realizaron una investigación en la Minera tres valles SAC ubicado en Perú, reportando un rendimiento total del 90.22%. La presente investigación, con enfoque en la mejora de la etapa de lixiviación, obtuvo un rendimiento del 104%, lo que indica una mejora significativa en la eficiencia del proceso. La diferencia de porcentajes de recuperación evidencia la eficiencia en el proceso de lixiviación con cianuro de sodio (NaCN), lo que puede significar un interés de continuación en futuros trabajos investigativos. El uso de cianuro de sodio (NaCN) es una opción más amigable ambientalmente. ya que este se puede degradar de

manera natural por acción del oxígeno y la luz solar, lo que permite tomar medidas preventivas para evitar su contacto con el medio ambiente. ya que este se puede degradar de manera natural por acción del oxígeno y la luz solar, lo que permite tomar medidas preventivas para evitar su contacto con el medio ambiente (Gaviria & Meza) .En cambio, el mercurio representa una amenaza ambiental, ya que este no se degrada y puede bioacumularse en ecosistemas acuáticos.

En el proceso de cianuración a nivel artesanal se modificaron factores importantes como el tiempo de mojado, la dosis de cianuro o el tiempo de lixiviación. Dichas modificaciones dieron como resultado una mejora del proceso. En la tabla 14 se muestra la comparación entre el proceso de cianuración a nivel artesanal y luego de su modificación.

Tabla 14 Resumen de modificación del proceso

Resumen de modificación del proceso

Factor	Nivel artesanal	Después de modificación
Dosis de cianuro (g/L)	1.87	0.5
Agua (L)	3850	3850
Costo de cianuro (C\$)	6,480	1732.5
Tiempo de Mojado con NaCN (días)	2	0
Tiempo de lixiviación (días)	2	4

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, el cianuro de sodio representa uno de los mayores costos en la lixiviación de oro, por lo que su uso incontrolado no solo podría afectar el proceso y aumentar el riesgo de contaminación, sino que también aumenta los costos de producción. Con las mejoras realizadas en esta etapa se logró reducir su consumo en un 50%, minimizando tanto el impacto ambiental como los costos operativos.

Los gastos operativos de la minería artesanal son altos, desde la mano de obra de los güiriseros hasta los costos de los reactivos y pago de impuestos. Por ello, optimizar el proceso de obtención de oro no solo reduce el uso excesivo de reactivos que pueden ser perjudiciales para el ambiente, sino que también puede incrementar los ingresos al disminuir el consumo de reactivos y lograr una mayor recuperación de oro. En la Tabla 15 se muestran los costos de mano de obra y reactivos.

Tabla 15

Costos de mano de obra y reactivos

Costos	Precio en C\$
Pago de impuesto anual registro de molinos	800
Pago de impuesto anual registro de pilas	800
Pago mensual de rastra	400
Pago mensual de pila	400
Pago diario del rastrero	750
Uso diario de combustible	900
Pago diario del personal	500
Cianuro de sodio (kg)	900
Mercurio (Lb)	5,000
Polvo de zinc (kg)	850
Ácido clorhídrico (Gal)	250
Ácido nítrico (Gal)	300
Metabisulfito de sodio (Lb)	50

Fuente: Elaboración propia

IX. Conclusión

El proceso de lixiviación con cianuro de sodio, aplicado como alternativa al método tradicional de amalgamación con mercurio en la minería artesanal, demostró ser técnicamente viable y más eficiente para la recuperación de oro. Bajo condiciones controladas, con concentraciones de NaCN iguales o superiores a 0.025 %, pH en el rango de 11.0 a 11.5, y un tiempo de contacto mínimo de 72 horas, se lograron recuperaciones superiores al 80 %, lo cual representa un avance significativo frente a las prácticas tradicionales, tanto en rendimiento como en impacto ambiental.

La concentración de cianuro de sodio resultó ser el factor más determinante en la eficiencia del proceso de lixiviación. Se verificó que niveles bajos (0.01 %) no proporcionan la disponibilidad suficiente de ion cianuro libre para disolver eficazmente el oro, mientras que a concentraciones medias (0.025 %) y altas (0.05 %) se alcanzaron niveles de recuperación más consistentes y elevados. Esto confirma que una dosificación adecuada de cianuro es esencial para optimizar la extracción del metal precioso.

El pH tiene una influencia directa sobre la estabilidad del cianuro en solución. Se evidenció que trabajar en un rango de pH de 10.5 a 11.5 previene la formación de ácido cianhídrico (HCN) y promueve un entorno alcalino ideal para mantener la eficacia del proceso. A pH más altos (11.0–11.5) se logran mejores resultados de recuperación sin comprometer la seguridad química del sistema.

El tiempo de contacto entre el mineral y la solución lixivante tuvo un efecto acumulativo, incrementando la recuperación de oro a medida que se prolongaba. Sin embargo, se observó que a partir del tercer día el aumento en la recuperación comienza a estabilizarse. Se establece que un tiempo óptimo de lixiviación se encuentra entre 72 y 96 horas para este tipo de mineral y condiciones operativas.

Los resultados obtenidos mediante lixiviación con cianuro superaron ampliamente los niveles de recuperación típicos del proceso de amalgamación con mercurio, el

cual rara vez supera el 50 % en minería artesanal. Esto demuestra que el método evaluado no solo mejora el rendimiento metalúrgico, sino que también representa una opción más segura y ambientalmente responsable, siempre que se adopten medidas adecuadas de control y tratamiento de los residuos cianurados.

X. Recomendaciones

Dado que el propósito de este trabajo monográfico está orientado a mejorar un proceso productivo en la minería artesanal, las recomendaciones de carácter operativo y técnico-procedimental son las que tiene prioridad, porque:

- I. Son aplicables directamente por los usuarios finales (mineros artesanales, técnicos locales).
- II. Impactan de forma inmediata en la mejora de la eficiencia, seguridad y sostenibilidad del proceso.
- III. Responden a los principales problemas evidenciados durante los ensayos reales.

Por tanto, las recomendaciones aquí formuladas son aquellas de carácter más estratégica, priorizando las de tipo operativo y técnico, y subordinando las de análisis estadístico o metodológico a un segundo plano:

- Controlar estrictamente el pH de la solución en el rango de 11.0 a 11.5 durante todo el proceso de lixiviación, utilizando cal hidratada (Ca(OH)_2) como regulador alcalino. Este control es crucial para evitar la formación de ácido cianhídrico (HCN), asegurar la estabilidad del cianuro en solución y maximizar la disolución del oro.
- Utilizar únicamente reactivos en condiciones óptimas de conservación y pureza, en especial el metabisulfito sódico y el cianuro de sodio. Cualquier reactivo húmedo, aglomerado o alterado debe ser descartado para garantizar la reacción completa en cada etapa (lixiviación y precipitación).
- Evitar exposiciones del sistema lixiviante a condiciones climáticas adversas, como lluvias o cambios bruscos de temperatura, que afectan directamente la concentración del cianuro, el pH del medio y la eficiencia

del proceso. Se recomienda realizar los ensayos y operaciones bajo techo o en ambientes protegidos.

- Establecer un tiempo de lixiviación mínimo de 3 a 4 días, en función de la cinética del mineral tratado, para asegurar una recuperación de oro aceptable. Periodos menores de contacto pueden resultar en procesos incompletos y pérdidas metálicas.
- Adoptar prácticas seguras y responsables en el manejo del cianuro, incluyendo: almacenamiento en contenedores sellados y etiquetados, uso de equipos de protección personal (EPP), tratamiento de residuos, y capacitación básica sobre toxicidad y primeros auxilios. y capacitación básica sobre toxicidad y primeros auxilios. Estas prácticas son indispensables para garantizar la seguridad de los operarios y la sostenibilidad del proceso.

XI. Bibliografía

- Arce, L., & Cano, F. (2017). Importancia del pH en la Recuperación de Oro y Plata en los Procesos de Cianuración. (*Tesis de grado*). Escuela Profesional de Ingeniería Química, Arequipa.
- Association of American Railroads. (1994). Emergency Handling o Hazardous Materials in Surface Transportation. *Washington, DC: Association of American Railroads, Bureau of explosives*, p. 975.
- Association, I. A. (2014). *Dangerous Goods Regulations*. (55th ed.). Montreal, Quebec Canada.
- ATSDR. (2002, April). *ToxFAQs for Hydrogen Chloride*. Retrieved from ,as of Mar 5, 2015: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/index.asp>
- ATSDR. (2016, Mayo 6). *Resúmenes de Salud Pública - Cianuro (Cyanide)*. Retrieved from Agencia para sustancia tóxicas y el registro de enfermedades : https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs8.html
- Bonilla, H., & Martínez, A. (14 de Enero de 2022). Optimización del proceso de recuperación de oro, a partir de la implementación del control de los parámetros operacionales, en las etapas de amalgamación y lixiviación en pilas, plantel Santa Isabel, Matagalpa-Nicaragua en el período de abril a noviembre . Managua, Managua, Nicaragua.
- Budavari. (1996). The Merck Index - An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals. *Whitehouse Station, NJ: Merck an Co. Inc.*, 1475.
- Carrillo Claros, F. (2017, Diciembre). DIAGNOSTICO Y CAPACITACIÓN DE MINEROS ARTESANALES DE LA CUENCA DEL RIO SAMPILÉ. Honduras.
- Clayton, G., & F.E. (1993-1994). Patty's Industrial Hygiene and Toxicology. Volumes 2A, 2B, 2C, 2D, 2E, 2F: Toxicology. New York: NY: John Wiley & Sons Inc.
- Colpas, F., Tarón, A., & González, R. (2017). *Área superficial de carbones activados y modificados obtenidos del recurso agrícola Saccharum officinarum*. Nariño: Rev. Cienc. Agr. 34(2): 62 - 72.

- Condor Gold. (2018, Noviembre 15). *Mina la India*. Retrieved from <https://www.minalaindia.com.ni/2018/11/15/los-retos-de-la-mineria-artesanal-en-nicaragua/#:~:text=La%20miner%C3%ADa%20artesanal%20es%20una,muy%20fracturadas%20de%20manera%20subterr%C3%A1nea>.
- Currie, R. (1937). The Effect of Temperature on the Rate of Dissolution of Gold in Cyanide Solutions which have a Constant Oxygen Content. (*Thesis of bachelor*). Montana School of Mine, Montana.
- Fire Protection Guide to hazardous Materials. (1997). 12 ed. Quincy, MA: National Fire Protection Association.
- Fragoso, J. (2023). Evolución de los procesos de metalurgia extractiva de minerales de oro y plata . Ciudad de México , México .
- Gaviria, A., & Meza, L. (n.d.). *Análisis de alternativas para la degradacion del cianuro en efluentes líquidos y sólidos del municipio de segovia, antioquia y en la planta de beneficio de la empresa mineros nacionales, municipio de marmato, caldas*. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Hisham, M., & Bommaraju, T. (1999-2015). Hydrogen Chloride. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. New York, NY: John wiley & Sons.
- Instituto Nacional de Antropología e Historia . (2020, Febrero 6). *Mediateca INAH*. Retrieved from <https://mediateca.inah.gob.mx/repositorio/node/5132#:~:text=En%20el%20%C3%A1rea%20cultural%20mesoamericana,gobernantes%20como%20s%C3%ADmbolo%20de%20poder>.
- L96: ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry . (2006). Toxicological profile for cyanide. *U.S. Public Helath Service in collaboration with U.S. Enviromental Protection Agency (EPA)*.
- Lanuza Matamoros, A. (2012). La Minería en Nicaragua (1821-1875). *Anuario de Estudios Centroamericanos*, 215-244.
- Logsdon, M., Hagelstein, K., & Mudder, T. (1999). *The Management of Cyanide in Gold Extraction*. Ottawa: International Council on Metals and the Environment.

- M.A.P.A. Gobierno de España. (2022, Agosto 11). *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*. Retrieved from https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/ministerio-exterior/america-central-caribe/20220811fichacomercioexterior_ni_tcm30-629068.pdf
- Mariluz, N. (2018). "Cianuración de minerales auríferos por agitación en presencia de cobre para la extracción de oro a nivel laboratorio. (*Tesis de Grado*). Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho, Perú.
- Marín, E. (2022). Estudio de factibilidad para la recuperación de oro por el método de lixiviación en pilas –cianuración llevada en la planta de beneficio de la empresa OROCENCENT S.A., ubicada en el sector El Tablón del cantón Portovelo de la provincia de El Oro – Caso de. (*Tesis de grado*). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Macas.
- Mendoza, D., & Bonilla, L. (2021). Estudio de minerales auríferos por flotación y cianuración para la recuperación de oro y plata en la minería Tres Valles SAC. (*Tesis de grado*). Escuela Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho, Perú.
- Metallurgist. (2017, Abril 1). *Proceso Merrill Crowe*. Retrieved from 991 Metallurgist: <https://www.911metallurgist.com/metalurgia/proceso-merrill-crowe-cementacion-zinc/>
- Mina La India. (2018). *Nuestra historia* . Retrieved from Mina La India Nicaragua: <https://www.minalaindia.com.ni/nuestra-historia/>
- National Center for Biotechnology Information. (2025). *PubChem Compound Summary for CID 23994, Zinc*. Recuperado el 17 de Febrero de 2025, de <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Zinc>.
- National Center for Biotechnology information. (2025). *PubChem Compound Summary for CID 944, Nitric Acid*. Retrieved from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Nitric-Acid>.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (s.f.). *Nitric Acid*. Recuperado el 16 de Enero de 2025, de <https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/19337>.

- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (s.f.). *Zinc Powder*. Recuperado el 20 de Enero de 2025, de <https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/4814>.
- National Toxicology Program, Institute of Environmental Health Sciences, National Institutes of Health (NTP). (1992). *National Toxicology Program Chemical Repository Database*. North Carolina: Research Triangle Park.
- Nat'l Research Council Canada. (1976). The Effect of Cyanides on Aquatic Organisms with Emphasis Upon Fresh Water Fishes. *NRCC No. 19246*, 47.
- Navarro, P., & Vargas, C. (2010). *Efecto de las propiedades físicas del carbón activado en la adsorción de oro desde medio cianuro*. Santiago de Chile: REV. METAL., 46 (3).
- NIOSH. (2010). NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards. *Department of Health & Human Services, Centers for Disease Control & Prevention. National Institute for Occupational Safety & Health. DHHS (NIOSH) (2010-168)*.
- O'Neil, M.J (ed.). (2013). *The Merck Index - An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals*. Cambridge: UK: Royal Society of Chemistry.
- Pérez, J., & Higuera, Ó. (2008). Comportamiento Electroquímico del Cianuro. *Ingeniería & Desarrollo, (I)(24)*, 63-776. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85212334006>
- Rosabal, J., & Valle, M. (1989). *HIDRODINAMICA Y SEPARACIONES MECANICAS*. La Habana: Ediciones ENPES.
- SGS. (2023). *Lixiviación con cianuro*. Retrieved from SGS: <https://www.sgs.com/es-ec/service-groups/lixivacion-con-cianuro>
- Yahya, F. N., Ibrahim, W. H., B A, A., & Suli, L. N. (2020). Simulation of leaching process of gold by cyanidation. (*research studies*), 736(2). Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/339725189_Simulation_of_leaching_process_of_gold_by_cyanidation

XII. Anexos

12.1. Glosario de términos

- **Batear**

Utilizar un recipiente plano, en forma de plato hondo, para lavar las arenas separando la grava y arena y quedándonos con los materiales más pesados, cómo el oro.

- **Broza**

Mineral aurífero extraído para ser procesado.

- **Güirisero**

Persona que extrae oro artesanalmente.

- **Lama**

Mineral aurífero reducido a pequeñas partículas mediante la acción mecánica.

- **Sancada o tancada**

Acción de precipitar en oro en una solución cianurada mediante el proceso de Merrill-Crowe.

- **Ley de cabeza**

Es la concentración de mineral valioso que se encuentra en la materia prima extraída de una mina.

- **Plantel**

Lugar que dispone de todas las maquinarias para el procesamiento de minerales auríferos.

12.2. Cálculo de densidad de la lama

$$V_{real\ del\ suelo} = V_{total} - V_{agua}$$

$$V_{real\ del\ suelo} = 51.5\ ml - 38.17\ ml$$

$$V_{real\ del\ suelo} = 13.33\ ml$$

$$\rho = \frac{Masa\ del\ suelo\ seco}{V_{real\ del\ suelo}}$$

$$Dr = \frac{30\ g}{13.33\ ml} = 2.25\ g/ml$$

Pasamos las los g y ml a unidades de medidas más grandes como ton y l.

$$Dr = 2.25 \frac{g}{ml} * \frac{1\ ton}{1,000,000\ g} * \frac{1,000\ ml}{1\ l}$$

$$Dr = 0.00225\ ton/l$$

La densidad de la lama está por debajo de la densidad promedio del suelo y la del cuarzo.

Al obtener la densidad real, el volumen de una tonelada de mineral aurífero es igual a:

$$V = \frac{m}{Dr}$$

$$V = \frac{1\ ton}{0.00225\ ton/l} = 444.44\ L$$

12.3. Hoja de seguridad de cianuro de sodio

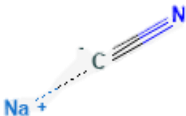
SECCIÓN 1: IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO

Identificación del producto químico	Cianuro de sodio
Número CAS	143-33-9
Número UN/NA	1689
Usos	Industria minera
Número telefónico del centro nacional de toxicología	2264 7630
Número telefónico de los bomberos	115
Número telefónico de los Cruz Blanca	128

SECCIÓN 2: IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

NFPA 704 según CAMEO Chemicals		Clasificación según GHS	
3 0 0 Rombo 3-0-0 Sin condición especial. Puede causar afectaciones serias o permanentes. No se quemará ante condiciones de fuego. Normalmente estable, incluso bajo condiciones de fuego.		 Corrosivo  Altamente tóxico  Irritante  Riesgo ambiental  Riesgo de salud	
Descripción de sus peligros y efectos			
Inhalación	Afecta al sistema nervioso central y es un irritante para la nariz y el tracto respiratorio. En ambientes húmedos, produce ácido cianhídrico, que puede causar envenenamiento con consecuencias graves, incluyendo dolor de cabeza, náuseas, vómitos, debilidad, mareos, confusión, ansiedad, problemas respiratorios, convulsiones, pérdida de la consciencia e incluso la muerte.		
Contacto con la piel	Tóxico por absorción a través de heridas abiertas. A contacto con la piel, irritaciones severas con enrojecimiento y dolor.		
Contacto con los ojos	Provoca irritaciones severas con enrojecimiento y dolor. Puede causar daños en la retina y los nervios oculares, así como visión borrosa. Es tóxico si se absorbe a través de los ojos.		
Ingestión	Es tóxico y afecta al sistema nervioso central. Puede causar irritaciones gastrointestinales, dolor de cabeza, náuseas, salivación, vómitos, debilidad, mareos, confusión y ansiedad. También puede provocar problemas respiratorios, convulsiones, pérdida de consciencia y, en casos graves, la muerte. La DL50 (oral, rata) es de 10 mg/kg.		

SECCIÓN 3: COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN DE LOS COMPONENTES

Formula química	NaCN
Peso molecular	49.007 g/mol
Estructura	
Componentes del compuesto	• CID 768 (Hidrógeno de cianuro) • CID 5360545 (Sodio)
Sinónimos	Cianuro sódico, Sal de cianuro (sódico)
Número CAS	143-33-9
Número UN/NA	1689

SECCIÓN 4: PRIMEROS AUXILIOS

Ante cualquier incidente, llamar al 128 <i>Cruz Blanca</i>	
Contacto con los ojos	Enjuague inmediatamente los ojos con abundante agua por un mínimo de 15 minutos, levantando en forma periódica los párpados superiores e inferiores.
Contacto con la piel	Quite rápidamente la ropa contaminada. Lave de inmediato la parte de la piel con bastante agua y jabón.
Respiración	• Retirarse de inmediato del lugar de exposición a uno seguro, abierto y con ventilación. • Si la respiración se ha detenido, iniciar la respiración de rescate (utilizando precauciones universales) como la reanimación cardiopulmonar.
Ingestión	Enjuagar la boca con abundante agua y beber agua (un máximo de 2 vasos). Consultar a un médico de inmediato. Solo en casos excepcionales, si no se puede obtener asistencia médica en una hora, inducir el vómito, administrar carbón activado (20-40 g en una suspensión al 10%), y buscar atención médica lo antes posible.
Efectos crónicos sobre la salud según HHS	
Riesgos de cáncer	no se ha estudiado la capacidad del cianuro para causar cáncer ni en humanos ni animales.
Riesgos reproductivos	Existen indicios limitados de que el cianuro de sodio podría ser un teratógeno en animales. Hasta que se realicen más estudios, debe manejarse como un posible teratógeno humano.
Otros efectos a largo plazo	La exposición al cianuro de sodio podría causar: • Agrandamiento de la glándula tiroides e interferir con la función tiroidea normal. • Daños al sistema nervioso y cambio en el recuento de glóbulos sanguíneos. • Secreción, hemorragia y lesiones en la nariz.

SECCIÓN 5: MEDIDAS A TOMAR EN CASO DE INCENDIO

Agentes de extinción ante la presencia de cianuro de sodio	Espuma de polímero y polvo seco.
Agentes de extinción inapropiados ante la presencia de cianuro de sodio	Dióxido de carbono, agua, espuma de agua.
Producción de gases tóxicos por incendios	Ácido cianhídrico y óxidos de nitrógeno.
Peligros específicos asociados	No inflamable. En caso de incendio, posible formación de gases de combustión o vapores peligrosos en presencia de alta humedad.
Precauciones para el personal de emergencia	Use un equipo de protección respiratoria para la lucha contra el fuego.

SECCIÓN 6: MEDIDAS A TOMAR EN CASO DE DERRAME

Precauciones personales	Es esencial evitar la inhalación y la formación de polvo, y asegurar una ventilación adecuada.
Equipo de protección	Vestimenta que cubra todo el cuerpo, máscara de gases y guantes.
Procedimientos de emergencia	Evacuar cualquier incidente que se presente y llamar a los números de emergencia.
Precauciones medioambientales	Evitar que el producto entre al sistema de drenaje pluvial o alcantarillado.
Métodos y materiales de contención, confinamiento y/o abatimiento	Excavar un pozo, estanque, laguna o área de contención para retener material líquido o sólido. Si el tiempo lo permite, los pozos, estanques, lagunas, sumideros o áreas de contención deben sellarse con una membrana impermeable flexible. Cubrir los sólidos con una lámina de plástico para evitar que se disuelvan con la lluvia o con el agua utilizada para extinguir incendios.
Método y materiales de limpieza	
Recuperación	Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente seco, presentable y etiquetado.
Neutralización	Neutralizar cuidadosamente el residuo con solución de hipoclorito de sodio . Eliminarlo a continuación con agua abundante.

SECCIÓN 7: MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Manipulación	
Precauciones	Evitar la generación de polvo. No inhalar la sustancia/mezcla. La sustancia no debe de entrar en contacto con el agua.
Medidas operacionales y técnicas	Quite rápidamente la ropa contaminada. Lave de inmediato la parte de la piel con bastante agua y jabón.
Prevención al contacto	- Utilizar un equipo de respiración autónomo (SCBA) de presión positiva. - Usar ropa de protección química específicamente recomendada por el fabricante cuando NO haya riesgo de incendio.

Otras precauciones	Sustituir ropa contaminada. Lavar cara y manos al término del trabajo.
--------------------	--

Almacenamiento	
Almacenamiento seguro	Mantener separado de oxidantes fuertes, ácidos, alimentos, dióxido de carbono y productos que contengan agua. Conservar en un lugar seco, bien cerrado y ventilado.
Condiciones de almacenamiento	Almacenar en un lugar fresco, seco y bien ventilado. Almacenar en un área sin acceso a desagües o alcantarillado.
Material de envase y/o embalaje	Se recomienda contener en un recipiente de vidrio o plástico apropiado con cierre hermético. Todos los recipientes de sales de cianuro deben mantenerse cubiertos o en una campana de extracción cuando no estén en uso.

SECCIÓN 8: CONTROL DE EXPOSICIÓN / PROTECCIÓN ESPECIAL

Concentración máxima posible	Tabla AEGLs					
	Tiempo	10 min	30 min	1 h	4 h	8 h
	AEGL 1	5.0 mg/m ³	5.0 mg/m ³	4.0 mg/m ³	2.6 mg/m ³	2.0 mg/m ³
	AEGL 2	34 mg/m ³	20 mg/m ³	14 mg/m ³	7.0 mg/m ³	5.0 mg/m ³
	AEGL 3	54 mg/m ³	42 mg/m ³	30 mg/m ³	17 mg/m ³	14 mg/m ³
	• AEGL 1: Molestias notables, irritación o ciertos efectos no sensoriales asintomáticos. Sin embargo, estos efectos no son incapacitantes y son transitorios y reversibles al cesar la exposición. • AEGL 2: Efectos adversos graves, irreversibles o de larga duración para la salud, o una capacidad reducida para escapar. • AEGL 3: Life-threatening health effects or death.					
Protección respiratoria	Es necesario usar protección respiratoria en presencia de polvo o si se superan los límites permisibles establecidos. Se recomienda un filtro B-(P3). En caso de superar el nivel IDLH, en ambientes con concentración desconocida o en situaciones de emergencia, se debe usar un sistema de respiración autónomo.					
Protección de manos	Utilización de guantes de Butilo, Nitrilo, Vitón, Neopreno y/o PVC.					
Protección de ojos	Uso de lentes de seguridad resistentes contra salpicaduras y proyecciones de la sustancia química					
Protección de la piel	Indumentaria larga. Utilizar calzado cerrado, no absorbente, con resistencia química y de planta baja					

SECCIÓN 9: PROPIEDADES FÍSICA Y QUÍMICA

Estado físico	Sólido
Color	Blanco
Olor	Inoloro cuando está totalmente seco. En presencia de humedad, olor a almendras amargas.
Temperatura de ebullición	1496.1 °C a 1 atm

Temperatura de fusión	563.9 °C
Temperatura de ignición	No inflamable
Temperatura de inflamación	No inflamable
Densidad	2.16 g/cm ³
Solubilidad	Mayor o igual a 100 mg/ml a 20 °C
IDLH	25 mg CN/m ³ (NIOSH, 2024)
Gravedad específica	1.6 g/cm ³ a 25 °C
Presión de vapor	1 mm Hg a 817 °C; 10 mm Hg a 983 °C
Corrosividad	Corrosivo al aluminio

SECCIÓN 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad	Las soluciones acuosas de cianuro de sodio se hidrolizan ligeramente ($K_h = 2.5 \times 10^{-5}$) a temperaturas ordinarias para producir ácido cianhídrico.
Condiciones de desestabilización	Exposición a la humedad.
Incompatibilidad	Ácidos, oxidantes fuertes y agua.
Productos peligrosos de su descomposición	Ácido cianhídrico (cianuro de hidrógeno).

SECCIÓN 11: INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Síntomas ante intoxicación	
Inhalación	Náusea. Mareo. Somnolencia. Dolor de garganta. Dolor de cabeza. Confusión. Debilidad. Falta de aliento. Convulsiones. Pérdida del conocimiento.
Contacto con los ojos	- Enrojecimiento, dolor y quemaduras profundas severas. - El contacto con los ojos puede contribuir a la toxicidad sistémica en todo el cuerpo.
Contacto con la piel	- Irritación, daño tisular (ulceración), sensación de ardor y dolor. - La absorción a través de la piel puede contribuir a la toxicidad sistémica en todo el cuerpo.
Ingesta	- Náuseas, vómitos (emesis), dolor abdominal e irritación o corrosión del revestimiento del esófago y el estómago. - Puede ocurrir toxicidad sistémica en todo el cuerpo.

Información toxicológica de NIOSH

Medición	Ruta/organismo	Dosis	Efecto
Efecto reproductivo	Oral/ratones	4177 mg/kg	Reproductivo: Efectos paternos: Testículos, epidídimo, conducto deferente.
Toxicidad aguda	Intravenosa/conejo	2.5 mg/kg	Musculoesquelético: Otros cambios.
Toxicidad aguda	Oral/rata	16 mg/kg	Conductual: Somnolencia (actividad general deprimida); Conductual: Alteración del condicionamiento operante
Efecto reproductivo	Oral/rata	2148 mg/kg	Reproductivo: Efectos paternos: Espermatogénesis (incluyendo)

			material genético, morfología de espermatozoides, motilidad y conteo); Reproductivo: Efectos paternos: Testículos, epidídimo, conducto deferente.
--	--	--	---

SECCIÓN 12: INFORMACIÓN ECOLÓGICA

Información ambiental	La sustancia es muy tóxica para organismos acuáticos.
Fuentes de contaminación natural	En bacterias, la producción de cianuro se ha observado en <i>Chromobacterium violaceum</i> y en ciertas especies de <i>Pseudomonas</i> . El ciempiés rosado de Tailandia (<i>Desmoxys purpurea</i>), cuenta con unos glándes que producen cianuro como mecanismo de defensa.
Destino ambiental	Ácuáticos: Las sales de metales alcalinos son muy solubles en agua, por lo que se disocian fácilmente en sus respectivos aniones y cationes al liberarse en ella. El ion cianuro resultante puede entonces formar ácido cianhídrico o reaccionar con varios metales presentes en el agua natural. Si el ion cianuro está en exceso, pueden formarse complejos de metalocianuros; sin embargo, si predominan los metales, pueden formarse cianuros metálicos simples.
Persistencia y degradabilidad	El cianuro en el suelo puede eliminarse mediante su conversión en cianuro de hidrógeno, que se evapora, o a través de su transformación en compuestos menos tóxicos por microorganismos. Esto generalmente evita su filtración hacia aguas subterráneas, aunque se han detectado casos en vertederos y sitios industriales, donde las altas concentraciones pueden dañar a los microorganismos, impidiendo su transformación. En la atmósfera, el cianuro de hidrógeno tiene una vida media de 1 a 3 años. En el agua superficial, tiende a evaporarse o a ser transformado por microorganismos en compuestos menos dañinos o complejos metálicos. La vida media del cianuro en el agua no está determinada, pero sus niveles suelen ser insuficientes para afectar la salud humana.
Potencial bioacumulativo	No existe información de algún animal que pueda almacenar cianuro en su cuerpo, sólo en el reino vegetal, en algunas semillas de duraznos y manzanos.

Datos de ecotoxicidad de pesticidas de EPA	
ID	8543
Sustancia	NaCN
Tipo de pesticida	Rodenticida
Organismo	Pez
Nombre común	Trucha arcoíris
Nombre científico	<i>Oncorhynchus mykiss</i>
Edad	1.2 g
Duración del estudio	96 horas
Tipo de dosis	LC50
Toxicidad	0.148
Unidad	PPM

SECCIÓN 13: INFORMACIÓN SOBRE DISPOSICIÓN FINAL

Información ambiental	La sustancia es muy tóxica para organismos acuáticos.
Residuos	Desechar los residuos en un vertedero autorizado para sustancias tóxicas, utilizando contenedores apropiados, sellados y correctamente etiquetados.
Envases y embalajes	Siempre majear envases y embalajes como el propio producto.
Material contaminado	Siempre majear el material contaminado como el propio producto.

SECCIÓN 14: INFORMACIÓN SOBRE EL TRANSPORTE

	Modalidad de transporte		
	Terrestre	Marítima	Aérea
Número NU	1689	1689	1689
Designación oficial de transporte	Cianuro de sodio	Cianuro de sodio	Cianuro de sodio
Clasificación de peligro primario NU	6.1	6.1	6.1
Grupo de envase/embalaje	I	I	I
Peligros ambientales	Sí	Sí	Sí
Precauciones especiales	SÍ	SÍ	No

SECCIÓN 15: INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

Órganos de control y aplicación de la ley 168 con forme al artículo 13	El Ministerio de Salud y el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales en cooperación con la Policía Nacional y el Ejército.
Leyes que regulan las sustancias químicas en Nicaragua	• Ley N° 168: Prohíbe el tráfico de desechos peligrosos y sustancias tóxicas. • Ley N° 274: Regula y controla plaguicidas, sustancias tóxicas, peligrosas y otras similares. • Ley N° 941: Crea la Comisión Nacional de Registro y Control de Sustancias Tóxicas (CNR CST). • Ley N° 1069: Regula las sustancias químicas establecidas en la Convención sobre la Prohibición del Desarrollo, la Producción, el Almacenamiento y el Empleo de Armas Químicas.

12.4. Hoja de seguridad de ácido nítrico

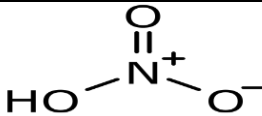
SECCIÓN 1: IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO

Identificación del producto químico	Ácido nítrico
Número CAS	7697-37-2
Número UN/NA	2031
Usos	Industria minera
Número telefónico del centro nacional de toxicología	2264 7630
Número telefónico de los bomberos	115
Número telefónico de los Cruz Blanca	128

SECCIÓN 2: IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

NFPA 704 según CAMEO Chemicals		Clasificación según GHS	
  Puede ser letal.  No se quemará ante condiciones de fuego.  Normalmente estable, incluso bajo condiciones de fuego.  Posee propiedades oxidativas.		 Corrosivo  Altamente tóxico	
Descripción de sus peligros y efectos			
Inhalación	Puede causar irritación en vías respiratorias, tos, ausencia de aire y asfixia. Puede provocar edema pulmonar, que es una emergencia medica		
Contacto con la piel	Puede causar quemaduras graves, enrojecimiento e irritación.		
Contacto con los ojos	Produce queratoconjuntivitis química que puede causar ceguera. En los primeros momentos produce enrojecimiento, dolor y visión borrosa.		
Ingestión	Causa inflamación y quemaduras en boca, laringe, esófago e intestino, así como dolor abdominal.		

SECCIÓN 3: COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN DE LOS COMPONENTES

Formula química	HNO ₃
Peso molecular	6301 g/mol
Estructura	
Componentes del compuesto	CID 944 (Ácido nítrico)
Sinónimos	Hidróxido de nitrilo, agua fuerte.
Número CAS	7697-37-2
Número UN/NA	2031

SECCIÓN 4: PRIMEROS AUXILIOS

Ante cualquier incidente, llamar al 128 <i>Cruz Blanca</i>	
Contacto con los ojos	Lavarse inmediatamente con los ojos abiertos bajo agua durante 10 a 15 minutos, proteger el ojo ileso y consultar al oftalmólogo.
Contacto con la piel	Se debe quitar la ropa contaminada y lavar con suficiente agua por 15 minutos.
Respiración	- Mantener reposo en un área con ventilación. - En algunos casos puede necesitarse respiración artificial. - Se debe proporcionar asistencia médica inmediatamente.
Ingestión	Enjuagar la boca, no se debe dar a beber nada, ni provocar el vómito. Se debe buscar atención medica inmediatamente.
Efectos crónicos sobre la salud según HHS	
Riesgos de cáncer	No se han encontrado estudios relacionados a la capacidad del ácido nítrico en provocar cáncer.
Riesgos reproductivos	No se han encontrado estudios relacionados a la capacidad del ácido nítrico en provocar daños reproductivos.
Otros efectos a largo plazo	- Puede provocar inflamación en el tracto respiratorio. - Reducción de la función pulmonar. - Puede causar erosión de los dientes.

SECCIÓN 5: MEDIDAS A TOMAR EN CASO DE INCENDIO

Agentes de extinción ante la presencia de ácido nítrico	Agua, polvo seco, suspensión de óxido de calcio.
Agentes de extinción inapropiados ante la presencia de ácido nítrico	Espuma de extinción.
Producción de gases tóxicos por incendios	Óxidos de nitrógeno.
Peligros específicos asociados	No es una sustancia inflamable, pero puede inducir a otras sustancias a generar fuego o explosiones.
Precauciones para el personal de emergencia	Debe usar ropa de protección contra químicos y gases corrosivos, sistemas de respiración con pieza facial completa, botas y guantes.

SECCIÓN 6: MEDIDAS A TOMAR EN CASO DE DERRAME

Precauciones personales	El personal que no sea necesario debe retirarse de la zona hasta realizar procedimientos de limpieza.
Equipo de protección	Debe usar ropa de protección contra químicos y gases corrosivos, sistemas de respiración con pieza facial completa, botas y guantes.
Procedimientos de emergencia	Evacuar del área cualquier incidente presente.
Precauciones medioambientales	Se debe evitar el acceso del producto a desagües, aguas superficiales y subterráneas. Se debe realizar una neutralización.
Métodos y materiales de contención, confinamiento y/o abatimiento	• Ventilar el área • Recolectar el líquido en recipientes sellados • Cierre de desagües • Neutralizar con bases diluidas o cal viva. • Colocar en recipientes apropiados para su eliminación.
Método y materiales de limpieza	
Recuperación	Absorber con una sustancia aglutinantes no inflamables como la arena.
Neutralización	Neutralizar con una base diluida como Carbonato de Sodio o utilizar cal viva.

SECCIÓN 7: MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Manipulación	
Precauciones	Contar con suficiente ventilación.
Medidas operacionales y técnicas	Se debe manipular con cuidado de no tener contacto con la piel ni provocar derrames.
Prevención al contacto	• Utilizar un equipo de respiración autónomo (SCBA) de presión positiva. • Usar ropa de protección química específicamente recomendada por el fabricante cuando NO haya riesgo de incendio.
Otras precauciones	Restirar la ropa contaminada y lavarse las manos antes de las pausas y al final del trabajo.

Almacenamiento	
Almacenamiento seguro	Se debe mantener separado de sustancias combustibles, reductores bases, sustancias orgánicas y alimentos.
Condiciones de almacenamiento	Se debe almacenar en el recipiente original, en lugar fresco y bien ventilado.
Material de envase y/o embalaje	Se debe mantener en el recipiente original. En caso de ser de vidrio de debe colocar el recipiente dentro de uno irrompible. En general se transporta y almacena en contenedores de acero inoxidable.

SECCIÓN 8: CONTROL DE EXPOSICIÓN / PROTECCIÓN ESPECIAL

Concentración máxima posible	Tabla AEGLs					
	Tiempo	10 min	30 min	1 h	4 h	8 h
	AEGL 1	0.16 ppm	0.16 ppm	0.16 ppm	0.16 ppm	0.16 ppm
	AEGL 2	43 ppm	30 ppm	24 ppm	6 ppm	3 ppm
	AEGL 3	170 ppm	120 ppm	92 ppm	23 ppm	11 ppm
	• AEGL 1: Molestias notables, irritación o ciertos efectos no sensoriales asintomáticos. Sin embargo, estos efectos no son incapacitantes y son transitorios y reversibles al cesar la exposición. • AEGL 2: Efectos adversos graves, irreversibles o de larga duración para la salud, o una capacidad reducida para escapar. • AEGL 3: Life-threatening health effects or death.					
Protección respiratoria	Se debe usar máscaras de respiración, así como se debe contar con un programa de seguridad respiratoria que cuente con entrenamiento, mantenimiento, inspección, limpieza y evaluación.					
Protección de manos	Utilización de guantes de Butilo, Nitrilo, Neopreno y/o PVC.					
Protección de ojos	Obligatorio usar gafas de seguridad a prueba de salpicaduras. Se debe proveer una ducha lava ojos en las cercanías del área de trabajo.					
Protección de la piel	Deben utilizar traje completo de protección y botas.					

SECCIÓN 9: PROPIEDADES FÍSICA Y QUÍMICA

Estado físico	Líquido
Color	Incoloro a amarillo claro
Olor	Acre, picante.
Temperatura de ebullición	121 °C
Temperatura de fusión	-41.6 °C
Temperatura de ignición	-
Temperatura de inflamación	-
Densidad	1.513 g/cm ³
Solubilidad	Soluble en agua en cualquier proporción y cantidad.
IDLH	25 ppm
Gravedad específica	1.42 g/cm ³
Presión de vapor	42 mmHg a 20 °C
Corrosividad	Altamente corrosivo.

SECCIÓN 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad	Estable bajo condiciones normales y en condiciones previsibles de temperatura y presión durante su almacenamiento y manipulación.
Condiciones de desestabilización	Luz directa. Mantener alejado del calor.
Incompatibilidad	Metales ligeros
Productos peligrosos de su descomposición	Óxidos de nitrógeno.

SECCIÓN 11: INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Síntomas ante intoxicación	
Inhalación	Puede provocar un edema pulmonar
Contacto con los ojos	• Provoca quemaduras. • Lesiones oculares graves que pueden terminar en ceguera.
Contacto con la piel	• Provoca quemaduras graves
Ingesta	• Puede perforar el esófago y el estómago.

Información toxicológica de NIOSH

Medición	Ruta/organismo	Dosis	Efecto
Múltiples dosis	Inhalación/rata	1071 $\mu\text{g}/\text{m}^3/24\text{H}/84\text{D}$	Conductual: Espasmos musculares, riñones, Uretra y vejiga. Cambios en la composición de la orina. Bioquímica: Inhibición enzimática, cambio en la composición sanguínea.
Múltiples dosis	Inhalación/rata	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3/4\text{H}/3\text{D}$	Depresión respiratoria
Toxicidad aguda	Oral/humana	430 mg/kg	
Efecto reproductivo	Oral/rata	21150 mg/kg	Feto toxicidad

SECCIÓN 12: INFORMACIÓN ECOLÓGICA

Información ambiental	La sustancia es muy tóxica para organismos acuáticos.
Fuentes de contaminación natural	Se genera por acción de bacterias nitrificantes que transforman dióxido de nitrógeno en ácido nítrico.
Destino ambiental	Contribuye a la acidificación de ecosistemas terrestre y acuáticos.
Persistencia y degradabilidad	Se descompone con facilidad generando óxidos de nitrógeno. Forma parte de la nutrición de las plantas e interviene en el ciclo natural de desnitrificación generando nitrógeno.
Potencial bioacumulativo	No existe información de algún animal que pueda almacenar ácido nítrico en su cuerpo.

SECCIÓN 13: INFORMACIÓN SOBRE DISPOSICIÓN FINAL

Información ambiental	La sustancia es muy tóxica para organismos acuáticos.
Residuos	Desechar los residuos en un vertedero autorizado para sustancias tóxicas, utilizando contenedores apropiados, sellados y correctamente etiquetados.
Envases y embalajes	Siempre majear envases y embalajes como el propio producto.
Material contaminado	Siempre majear el material contaminado como el propio producto.

SECCIÓN 14: INFORMACIÓN SOBRE EL TRANSPORTE

	Modalidad de transporte		
	Terrestre	Marítima	Aérea
Número NU	2031	2031	2031
Designación oficial de transporte	Ácido nítrico	Ácido nítrico	Ácido nítrico
Clasificación de peligro primario NU	8	8	8
Grupo de envase/embalaje	I	I	I
Peligros ambientales	Sí	Sí	Sí
Precauciones especiales	Sí	Sí	No

SECCIÓN 15: INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

Órganos de control y aplicación de la ley 168 con forme al artículo 13	El Ministerio de Salud y el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales en cooperación con la Policía Nacional y el Ejército.
Leyes que regulan las sustancias químicas en Nicaragua	• Ley N° 168: Prohíbe el tráfico de desechos peligrosos y sustancias tóxicas. • Ley N° 274: Regula y controla plaguicidas, sustancias tóxicas, peligrosas y otras similares. • Ley N° 941: Crea la Comisión Nacional de Registro y Control de Sustancias Tóxicas (CNR CST). • Ley N° 1069: Regula las sustancias químicas establecidas en la Convención sobre la Prohibición del Desarrollo, la Producción, el Almacenamiento y el Empleo de Armas Químicas.

12.5. Hoja de seguridad de polvo de zinc

SECCIÓN 1: IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO

Identificación del producto químico	Polvo de Zinc
Número CAS	7440-66-6
Número UN/NA	1436
Usos	Industria minera
Número telefónico del centro nacional de toxicología	2264 7630
Número telefónico de los bomberos	115
Número telefónico de los Cruz Blanca	128

SECCIÓN 2: IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

NFPA 704 según CAMEO Chemicals	Clasificación según GHS
 Rombo 0-3-1  No es perjudicial.  Flamable.  Puede volverse inestable bajo altas temperaturas o presiones.	 Peligroso para el ambiente
Descripción de sus peligros y efectos	
Inhalación	Puede causar irritación.
Contacto con la piel	Puede causar irritación.
Contacto con los ojos	Puede causar irritación.
Ingestión	Puede causar irritación.

SECCIÓN 3: COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN DE LOS COMPONENTES

Formula química	Zn
Peso molecular	65.38 g/mol
Estructura	Zn
Componentes del compuesto	CID 32051
Sinónimos	Metal de Zinc,
Número CAS	7440-66-6
Número UN/NA	1436

SECCIÓN 4: PRIMEROS AUXILIOS

Ante cualquier incidente, llamar al 128 <i>Cruz Blanca</i>	
Contacto con los ojos	Lavarse inmediatamente con los ojos abiertos bajo agua durante 10 a 15 minutos, en caso de malestar o dudas consultar al oftalmólogo.
Contacto con la piel	Se debe quitar la ropa contaminada y lavar con suficiente agua por 15 minutos.
Respiración	• Proporcionar respiración artificial. • Se debe proporcionar asistencia médica inmediatamente.
Ingestión	Enjuagar la boca, no se debe dar a beber nada, ni provocar el vómito. Se debe buscar atención medica inmediatamente.
Efectos crónicos sobre la salud según HHS	
Riesgos de cáncer	No se han encontrado estudios relacionados a la capacidad del polvo de zinc en provocar cáncer.
Riesgos reproductivos	No se han encontrado estudios relacionados a la capacidad del polvo de zinc en provocar problemas reproductivos.
Otros efectos a largo plazo	Puede causar dermatitis con agrietamiento de la piel.

SECCIÓN 5: MEDIDAS A TOMAR EN CASO DE INCENDIO

Agentes de extinción ante la presencia de ácido nítrico	Polvo seco, arena seca.
Agentes de extinción inapropiados ante la presencia de ácido nítrico	Espuma de extinción, agua.
Producción de gases tóxicos por incendios	Productos pirólisis.
Peligros específicos asociados	Peligro de explosión. Combustible.
Precauciones para el personal de emergencia	No se debe respirar los humos, tomar distancia razonable para luchar contra el incendio. Llevar equipo de respiración.

SECCIÓN 6: MEDIDAS A TOMAR EN CASO DE DERRAME

Precauciones personales	El personal que no sea necesario debe retirarse de la zona hasta realizar procedimientos de limpieza. Evitar el contacto con la piel, ojos y ropa. No respirar el polvo.
Equipo de protección	Debe usar ropa de protección contra químicos y gases corrosivos, sistemas de respiración con pieza facial completa, botas y guantes.
Procedimientos de emergencia	Evacuar del área cualquier incidente presente.
Precauciones medioambientales	Se debe evitar el acceso del producto a desagües, aguas superficiales y subterráneas. Retener el agua de lavado e informar a las autoridades.
Métodos y materiales de contención, confinamiento y/o abatimiento	• No usar agua • Ventilar el área • Cierre de desagües • Recoger mecánicamente
Método y materiales de limpieza	
Recuperación	Recoger mecánicamente
Neutralización	Cubrir con arena o tierra

SECCIÓN 7: MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Manipulación	
Precauciones	Evitar la producción de polvo.
Medidas operacionales y técnicas	Se debe manipular con cuidado de no tener contacto con la piel ni provocar derrames, ni provocar polvo.
Prevención al contacto	• Utilizar un equipo de respiración autónomo (SCBA) de presión positiva. • Usar ropa de protección
Otras precauciones	Restirar la ropa contaminada y lavarse las manos antes de las pausas y al final del trabajo.

Almacenamiento	
Almacenamiento seguro	Se debe mantener en un lugar seco, separado de sustancias combustibles, reductores bases, sustancias orgánicas y alimentos.
Condiciones de almacenamiento	Se debe almacenar en el recipiente original y en lugar fresco.
Material de envase y/o embalaje	Se debe mantener en el recipiente original. En caso de ser de vidrio de debe colocar el recipiente dentro de uno irrompible.

SECCIÓN 8: CONTROL DE EXPOSICIÓN / PROTECCIÓN ESPECIAL

Concentración máxima posible	No se encuentran disponibles.
Protección respiratoria	Se debe usar máscaras de respiración, así como se debe contar con un programa de seguridad respiratoria que cuente con entrenamiento, mantenimiento, inspección, limpieza y evaluación.
Protección de manos	Utilización de guantes de Butilo, Nitrilo, Neopreno y/o PVC.
Protección de ojos	Obligatorio usar gafas de seguridad a prueba de salpicaduras. Se debe proveer una ducha lava ojos en las cercanías del área de trabajo.
Protección de la piel	Deben utilizar traje completo de protección y botas.

SECCIÓN 9: PROPIEDADES FÍSICA Y QUÍMICA

Estado físico	Sólido.
Color	Gris.
Olor	Inoloro.
Temperatura de ebullición	906 °C
Temperatura de fusión	417 °C
Temperatura de ignición	-
Temperatura de inflamación	-
Densidad	7.14 g/cm ³
Solubilidad	Soluble en agua en cualquier proporción y cantidad.
IDLH	500 mg/m ³
Gravedad específica	77.14 g/cm ³
Presión de vapor	1 mmHg a 487 °C

SECCIÓN 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad	Estable bajo condiciones normales y en condiciones previsibles de temperatura y presión durante su almacenamiento y manipulación.
Condiciones de desestabilización	No se conocen condiciones que deban evitarse.
Incompatibilidad	No hay información de incompatibilidad.
Productos peligrosos de su descomposición	Productos pirólisis.

SECCIÓN 11: INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Síntomas ante intoxicación	
Inhalación	Provoca irritación
Contacto con los ojos	Provoca irritación
Contacto con la piel	Provoca irritación
Ingesta	Provoca vómitos, náuseas, trastornos gastrointestinales.

Información toxicológica de NIOSH

Medición	Ruta/organismo	Dosis
Toxicidad oral aguda	Oral/rata	2000 mg/kg
Toxicidad dermal	Dermal/rata	2000 mg/kg
Toxicidad inhalativa aguda	Oral/rata	5700 mg/kg

SECCIÓN 12: INFORMACIÓN ECOLÓGICA

Información ambiental	La sustancia es muy tóxica para organismos acuáticos.
Fuentes de contaminación natural	N/A
Destino ambiental	Contamina las fuentes de agua, puede ser ingerido por animales.
Persistencia y degradabilidad	Algunas bacterias pueden influir en la corrosión del zinc, acelerando su transformación en compuestos más solubles.
Potencial bioacumulativo	Animales acuáticos pueden ingerirlos.

Información toxicológica de NIOSH

Medición	Ruta/organismo	Dosis
Toxicidad aguda	Oral/pez pimephales promelas	0.238 mg/l
Toxicidad aguda	Oral/ Daphnia magna	2.8 mg/l
Toxicidad aguda	Oral/Activated sludge	0.1 mg/l

SECCIÓN 13: INFORMACIÓN SOBRE DISPOSICIÓN FINAL

Información ambiental	La sustancia es muy tóxica para organismos acuáticos.
Residuos	Desechar los residuos en un vertedero autorizado para sustancias tóxicas, utilizando contenedores apropiados, sellados y correctamente etiquetados.
Envases y embalajes	Siempre majear envases y embalajes como el propio producto.
Material contaminado	Siempre majear el material contaminado como el propio producto.

SECCIÓN 14: INFORMACIÓN SOBRE EL TRANSPORTE

	Modalidad de transporte		
	Terrestre	Marítima	Aérea
Número NU	3077	3077	3077
Designación oficial de transporte	Polvo de Zinc	Polvo de Zinc	Polvo de Zinc
Clasificación de peligro primario NU	9	9	9
Grupo de envase/embalaje	I	I	I
Peligros ambientales	SÍ	SÍ	SÍ
Precauciones especiales	SÍ	SÍ	No

SECCIÓN 15: INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

Órganos de control y aplicación de la ley 168 con forme al artículo 13	El Ministerio de Salud y el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales en cooperación con la Policía Nacional y el Ejército.
Leyes que regulan las sustancias químicas en Nicaragua	• Ley N° 168: Prohíbe el tráfico de desechos peligrosos y sustancias tóxicas. • Ley N° 274: Regula y controla plaguicidas, sustancias tóxicas, peligrosas y otras similares. • Ley N° 941: Crea la Comisión Nacional de Registro y Control de Sustancias Tóxicas (CNR CST). • Ley N° 1069: Regula las sustancias químicas establecidas en la Convención sobre la Prohibición del Desarrollo, la Producción, el Almacenamiento y el Empleo de Armas Químicas.

12.6. Hoja de seguridad de ácido clorhídrico

SECCIÓN 1: IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO

Identificación del producto químico	Ácido clorhídrico
Número CAS	7647-01-0
Número UN/NA	1789
Usos	Servicios de limpieza e industria minera
Número telefónico del centro nacional de toxicología	2264 7630
Número telefónico de los bomberos	115
Número telefónico de los Cruz Blanca	128

SECCIÓN 2: IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

NFPA 704 según CAMEO Chemicals		Clasificación según GHS	
3 0 1 Sin condición especial. Puede causar afectaciones serias o permanentes. No se quemará ante condiciones de fuego. Pueden volverse inestables a temperaturas y presiones elevadas.		Corrosivo Altamente tóxico Irritante Gas comprimido	
Descripción de sus peligros y efectos			
Inhalación	Las exposiciones agudas afectan principalmente el tracto respiratorio superior, causando dificultad para respirar, tos e inflamación en nariz, tráquea y laringe. Casos severos pueden provocar espasmo laríngeo y edema pulmonar. La exposición prolongada daña los dientes y, en algunos casos, causa gastritis y bronquitis crónica.		
Contacto con la piel	En vapor o en disoluciones concentradas, causa quemaduras graves, dermatitis y fotosensibilización, dejando cicatrices que pueden desfigurar las áreas afectadas.		
Contacto con los ojos	Este ácido es un fuerte irritante ocular y puede causar quemaduras, disminución de la visión o pérdida total de la misma.		
Ingestión	Corroe las membranas mucosas de la boca, esófago y estómago, causando disfagia, náuseas, vómito, sed intensa y diarrea. En casos graves, puede provocar colapso respiratorio y muerte por necrosis del esófago y estómago.		

SECCIÓN 3: COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN DE LOS COMPONENTES

Formula química	HCl
Peso molecular	36.46 g/mol
Estructura	
Componentes del compuesto	• CID 783 (Hidrógeno gas) • CID 24526 (Cloro gas)
Sinónimos	Ácido muriático, Ácido hidrocórico, Cloruro de hidrógeno (gas)
Número CAS	7647-01-0
Número UN/NA	1789

SECCIÓN 4: PRIMEROS AUXILIOS

Ante cualquier incidente, llamar al 128 <i>Cruz Blanca</i>	
Contacto con los ojos	Enjuagar con abundante agua durante varios minutos (quitar los lentes de contacto si es fácilmente posible). Buscar atención médica de inmediato.
Contacto con la piel	Use guantes de protección al administrar primeros auxilios. Enjuagar primero con abundante agua durante al menos 15 minutos, luego quitar la ropa contaminada y enjuagar nuevamente. Buscar atención médica de inmediato.
Respiración	Aire fresco, descanso. Posición semisentada. Puede ser necesaria la respiración artificial. Buscar atención médica de inmediato.
Ingestión	NO INDUCIR AL VÓMITO. Si la víctima está inconsciente, aplicar respiración artificial, mantenerla en reposo y abrigada. Si está consciente, darle pequeñas cantidades de agua (una cucharada cada 10 minutos).

SECCIÓN 5: MEDIDAS A TOMAR EN CASO DE INCENDIO

Medios de extinción adecuados	Use agua en spray, espuma resistente al alcohol, polvo químico seco o dióxido de carbono.
Consejos para los bomberos	Use equipo de protección respiratoria autónomo para la lucha contra incendios si es necesario.
Si el material está involucrado en el fuego	Apague el fuego utilizando un agente adecuado para el tipo de incendio circundante. (El material en sí no arde o arde con dificultad). Use agua en grandes cantidades como niebla. Enfríe todos los envases afectados con grandes cantidades de agua. Aplique agua desde la mayor distancia posible.

SECCIÓN 6: MEDIDAS A TOMAR EN CASO DE DERRAME

Precauciones personales	Usar equipo de protección personal (EPP) adecuado, como guantes resistentes a
-------------------------	---

	productos químicos, gafas de seguridad, y un delantal o ropa protectora.
Equipo de protección	Vestimenta que cubra todo el cuerpo, máscara de gases y guantes.
Procedimientos de emergencia	Evacuar cualquier incidente que se presente y llamar a los números de emergencia.
Precauciones medioambientales	Evitar que el producto entre al sistema de drenaje pluvial o alcantarillado. Si el derrame es grande, contactar con los servicios ambientales o autoridades locales para gestionar el impacto en el medio ambiente.
Métodos y materiales de contención, confinamiento y/o abatimiento	• Usar material absorbente como tierra, arena o productos comerciales diseñados para neutralizar ácidos. • Neutralizar el ácido con una base adecuada (por ejemplo, bicarbonato de sodio) antes de recoger el material. • Colocar barreras para contener el derrame y evitar que se propague a áreas más grandes. • Recoger el material derramado con cubos o equipos apropiados para su disposición segura.
Método y materiales de limpieza	
Recuperación	Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente seco, presentable y etiquetado.
Neutralización	Para neutralizar los derrames accidentales de ácido clorhídrico, es necesario suministrarle cuidadosamente bases tales como bicarbonato de sodio , hidróxido de calcio o bien hidróxido de sodio .

SECCIÓN 7: MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Manipulación	
Precauciones	Usar siempre el equipo de protección personal (EPP) tales como protectores oculares, guantes y ropa de mangas largas.
Medidas operacionales y técnicas	Quite rápidamente la ropa contaminada. Lave de inmediato la parte de la piel con bastante agua y jabón.
Prevención al contacto	• Use un equipo de respiración autónomo (SCBA) de presión positiva. • Use ropa de protección química específicamente recomendada por el fabricante cuando NO HAYA RIESGO DE INCENDIO. • La ropa de protección para bomberos estructurales proporciona protección térmica, pero solo una protección química limitada.
Otras precauciones	En caso de contaminación accidental, sustituir ropa contaminada. Lavar cara y manos al término del trabajo.

Almacenamiento	
Almacenamiento seguro	El ácido no debe almacenarse cerca de sustancias inflamables u oxidantes, como el ácido nítrico o los cloratos, ni cerca de metales e

	hidruros metálicos que puedan ser atacados por el ácido. ... El equipo eléctrico debe ser a prueba de llamas y estar protegido contra la acción corrosiva.
Condiciones de almacenamiento	Almacenar en un lugar fresco, seco y bien ventilado. Mantener separado de materiales oxidantes, materiales orgánicos y álcalis.
Material de envase y/o embalaje	El material del contenedor debe de ser de un plástico resistente a la corrosión (HDPE).

SECCIÓN 8: CONTROL DE EXPOSICIÓN / PROTECCIÓN ESPECIAL

Concentración máxima posible	Tabla AEGLs					
	Tiempo	10 min	30 min	1 h	4 h	8 h
	AEGL 1	1.8 ppm	1.8 ppm	1.8 ppm	1.8 ppm	1.8 ppm
	AEGL 2	100 ppm	43 ppm	22 ppm	11 ppm	11 ppm
	AEGL 3	620 ppm	210 ppm	100 ppm	26 ppm	26 ppm
	• AEGL 1: Molestias notables, irritación o ciertos efectos asintomáticos no sensoriales. Sin embargo, los efectos no son incapacitantes y son transitorios y reversibles al cesar la exposición. • AEGL 2: Efectos adversos graves, irreversibles o de larga duración en la salud, o una capacidad reducida para escapar. • AEGL 3: Riesgo graves a la salud o incluso la muerte.					
Protección respiratoria	Use ventilación, extracción local o protección respiratoria.					
Protección de manos	Utilización de guantes de Butilo, Neopreno, Nitrilo y/o PVC.					
Protección de ojos	Uso de lentes de seguridad resistentes contra salpicaduras y proyecciones de la sustancia química					
Protección de la piel	Indumentaria larga. Utilizar calzado cerrado, no absorbente, con resistencia química y de planta baja.					

SECCIÓN 9: PROPIEDADES FÍSICA Y QUÍMICA

Estado físico	Gas
Color	Sin color en estado gaseoso.
Olor	Olor picante e irritante.
Temperatura de ebullición	50.55 °C at 1 atm.
Temperatura de fusión	-114.77 °C
Temperatura de ignición	No inflamable
Temperatura de inflamación	No inflamable
Densidad	1.639 g/L
Solubilidad	82.3 g/100 g en agua a 0 °C, 67.3 g/100 g en a 30 °C
IDLH	50 ppm (NIOSH, 2024)
Gravedad específica	1.18 g/cm³ a 25 °C en 37% de peso en HCL
Presión de vapor	16.1421 kJ/mol at -85.05 °C
Corrosividad	Corrosivo

SECCIÓN 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad	El cloruro de hidrógeno anhidro es un ácido fuerte sin agua. Reacciona rápida y exotérmicamente con bases de todo tipo (incluyendo aminas y amidas). Reacciona exotérmicamente con carbonatos (incluyendo piedra caliza y materiales de construcción que la contienen) e hidrogenocarbonatos, generando dióxido de carbono.
Condiciones de desestabilización	Oxidantes
Incompatibilidad	El ácido clorhídrico y el cloruro de hidrógeno reaccionan violentamente con muchos metales, generando gas hidrógeno altamente inflamable, que puede explotar. La reacción con oxidantes como permanganatos, cloratos, cloritos e hipocloritos puede producir gas cloro o bromo.
Productos peligrosos de su descomposición	Ciertos metales (incluyendo aluminio, zinc, calcio, magnesio, hierro, estaño y todos los metales alcalinos), generando gas hidrógeno inflamable.

SECCIÓN 11: INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Síntomas ante intoxicación	
Inhalación	La inhalación de vapores de HCl puede causar tos, asfixia, inflamación de la nariz, garganta y tracto respiratorio superior, y en casos graves, edema pulmonar, insuficiencia del sistema circulatorio y muerte.
Contacto con los ojos	Enrojecimiento. Dolor. Visión borrosa. Quemaduras graves. En contacto con el líquido: congelación (frostbite).
Contacto con la piel	Enrojecimiento. Dolor. Quemaduras graves en la piel. En contacto con el líquido: congelación (frostbite).
Ingesta	Si se ingiere ácido clorhídrico, se producirán quemaduras corrosivas graves y rápidas en la boca, el esófago y el tracto gastrointestinal

Información toxicológica de NIOSH

Medición	Ruta/organismo	Dosis	Efecto
Vascular	Oral/hombre	2857 ug/kg	Disminución de la presión arterial no caracterizada en la sección autonómica.
Pulmones, tórax o respiración	Oral/hombre	2857 ug/kg	Depresión respiratoria.
Pulmones, tórax o respiración	Oral/hombre	2857 ug/kg	Cambio en la estructura o función del esófago.
Cardiaco	Oral/mujer	420 ug/kg	Frecuencia del pulso.

SECCIÓN 12: INFORMACIÓN ECOLÓGICA

Información ambiental	La sustancia es muy tóxica para organismos acuáticos.
Fuentes de contaminación natural	El ácido clorhídrico se encuentra en los gases emitidos por los volcanes, especialmente en los ubicados en México y América del Sur. El cloruro de hidrógeno fue detectado en la atmósfera del planeta Venus. También se encuentra en el tracto digestivo de la mayoría de los mamíferos.
Destino ambiental	Destino terrestre: Si se libera al suelo, el cloruro de hidrógeno se evaporará de las superficies secas del suelo y se disociará en iones cloruro e hidronio en suelos húmedos. Destino acuático: Si se libera al agua, el cloruro de hidrógeno se disocia fácilmente en agua en iones cloruro e hidronio. La disociación resulta en una disminución del pH del agua. No se espera volatilización desde las superficies de agua basándose en una constante de la ley de Henry de 4.90×10^{-10} atm-cu m/mole. El cloruro de hidrógeno no se acumula en los organismos acuáticos. Destino atmosférico: El cloruro de hidrógeno anhidro liberado al aire estará en forma de vapor. Una vez liberado al ambiente, reaccionará con la humedad atmosférica y el agua estancada para formar ácido clorhídrico. El cloruro de hidrógeno se elimina del aire mediante deposición húmeda como sales de cloruro, con una vida atmosférica de 1 a 5 días.
Persistencia y degradabilidad	El cloruro de hidrógeno se elimina del aire mediante deposición húmeda como sales de cloruro, con una vida atmosférica de 1 a 5 días. El cloruro de hidrógeno se disocia fácilmente en agua en iones cloruro e hidronio, lo que disminuye el pH del agua.
Potencial bioacumulativo	El cloruro de hidrógeno se disocia fácilmente en agua en iones cloruro e hidronio. Por lo tanto, el cloruro de hidrógeno no se acumula en los organismos acuáticos.

SECCIÓN 13: INFORMACIÓN SOBRE DISPOSICIÓN FINAL

Información ambiental	La sustancia es tóxica para organismos acuáticos.
Residuos	Desechar los residuos en un vertedero autorizado para sustancias tóxicas, utilizando contenedores apropiados, sellados y correctamente etiquetados.
Envases y embalajes	Siempre majear envases y embalajes como el propio producto.
Material contaminado	Siempre majear el material contaminado como el propio producto.

SECCIÓN 14: INFORMACIÓN SOBRE EL TRANSPORTE

	Modalidad de transporte		
	Terrestre	Marítima	Aérea
Número NU	1789	1789	1789
Designación oficial de transporte	Ácido clorhídrico	Ácido clorhídrico	Ácido clorhídrico
Clasificación de peligro primario NU	2.3	2.3	2.3
Grupo de envase/embalaje	I	I	I

Peligros ambientales	Sí	Sí	Sí
Precauciones especiales	Sí	Sí	No

SECCIÓN 15: INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

Órganos de control y aplicación de la ley 168 con forme al artículo 13	El Ministerio de Salud y el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales en cooperación con la Policía Nacional y el Ejército.
Leyes que regulan las sustancias químicas en Nicaragua	• Ley N° 168: Prohíbe el tráfico de desechos peligrosos y sustancias tóxicas. • Ley N° 274: Regula y controla plaguicidas, sustancias tóxicas, peligrosas y otras similares. • Ley N° 941: Crea la Comisión Nacional de Registro y Control de Sustancias Tóxicas (CNR CST). • Ley N° 1069: Regula las sustancias químicas establecidas en la Convención sobre la Prohibición del Desarrollo, la Producción, el Almacenamiento y el Empleo de Armas Químicas.

12.7. Evidencias de la fase experimental

Figura A: Secado de lama



Figura B: Lixiviación de lama



Figura C: Solución de cianuro de sodio (NaCN)



Figura D: Sancada (precipitación antes de recircular)



Figura E: Recirculación de solución de cianuro de sodio (NaCN)



Figura F: Monitoreo de pH con tiras reactivas



Figura G: Monitoreo de pH con medidor de pH portátil Milwaukee



Figura H: Precipitación con polvo de zinc



Figura I: Precipitado de Merrill-Crowe



Figura J: Fundición de oro



Figura K: Oro fundido



Figura L: Medición de kilataje

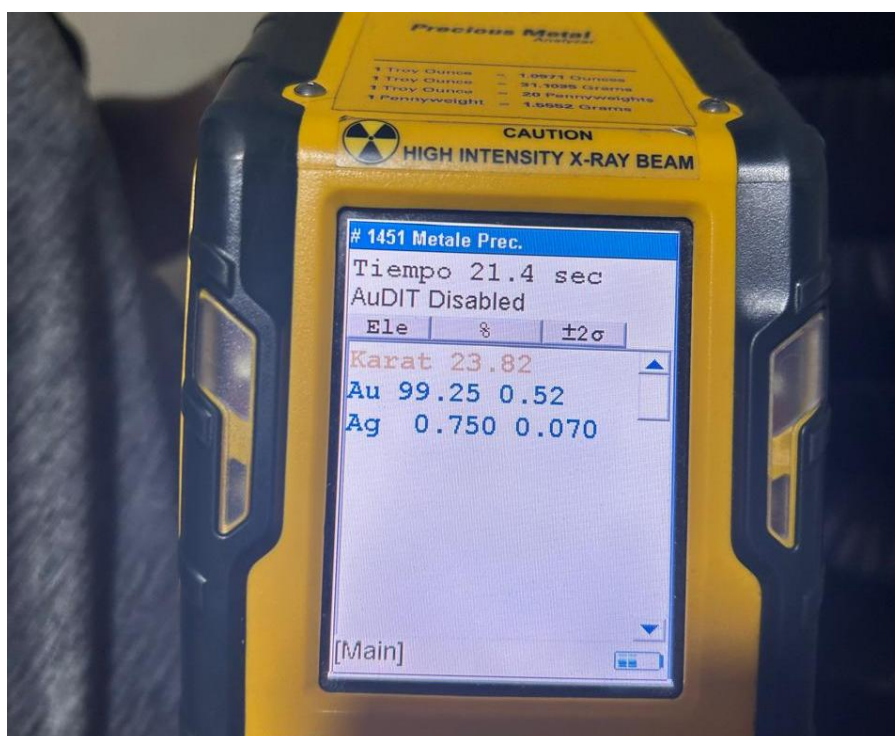


Figura M: Corrida #1

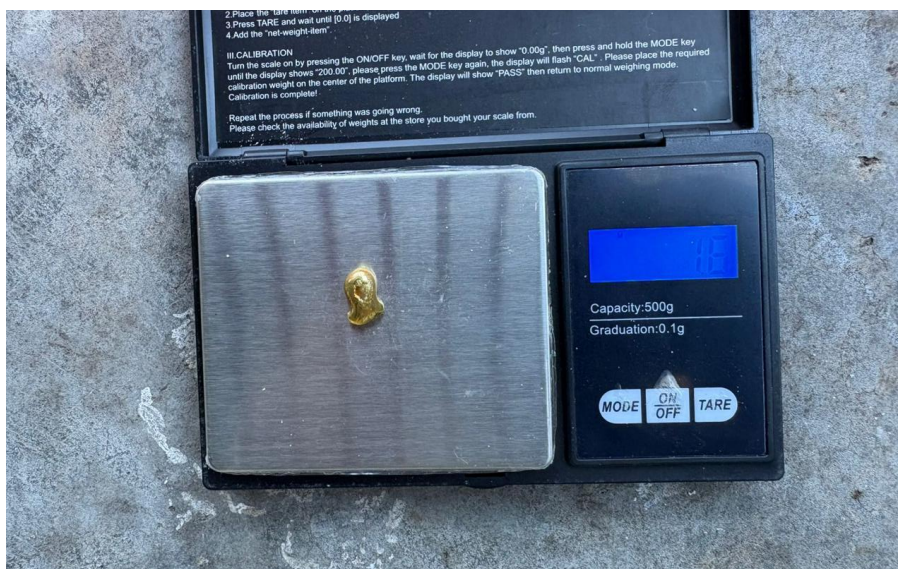


Figura N: Corrida #2

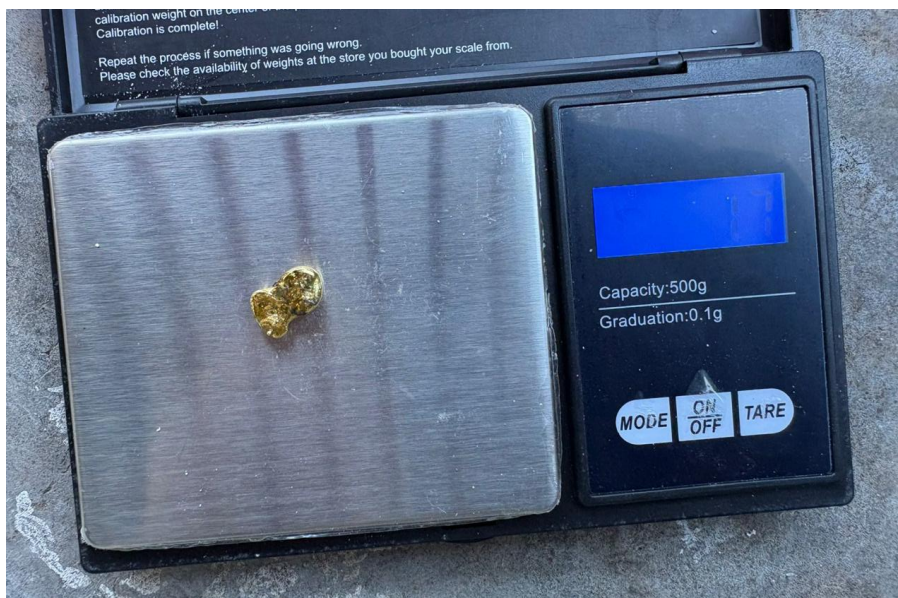


Figura O: Corrida #3

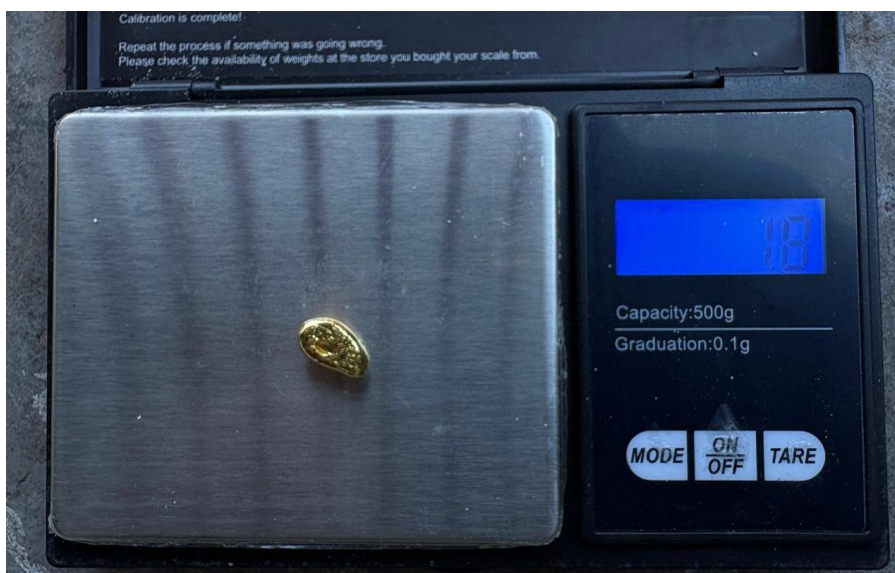


Figura P: Corrida #4

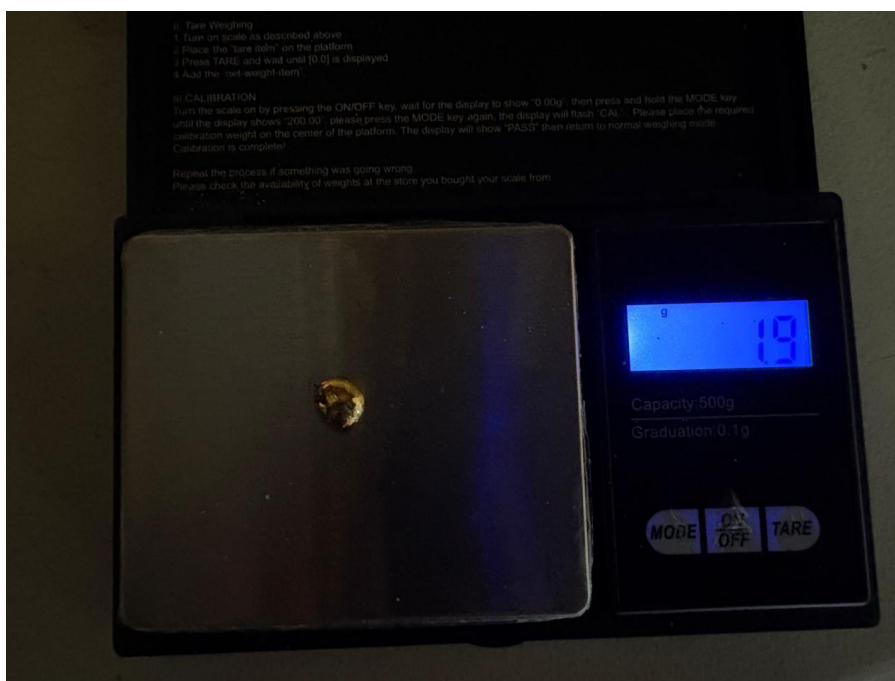


Figura Q: Corrida #5



Figura R: Corrida #6

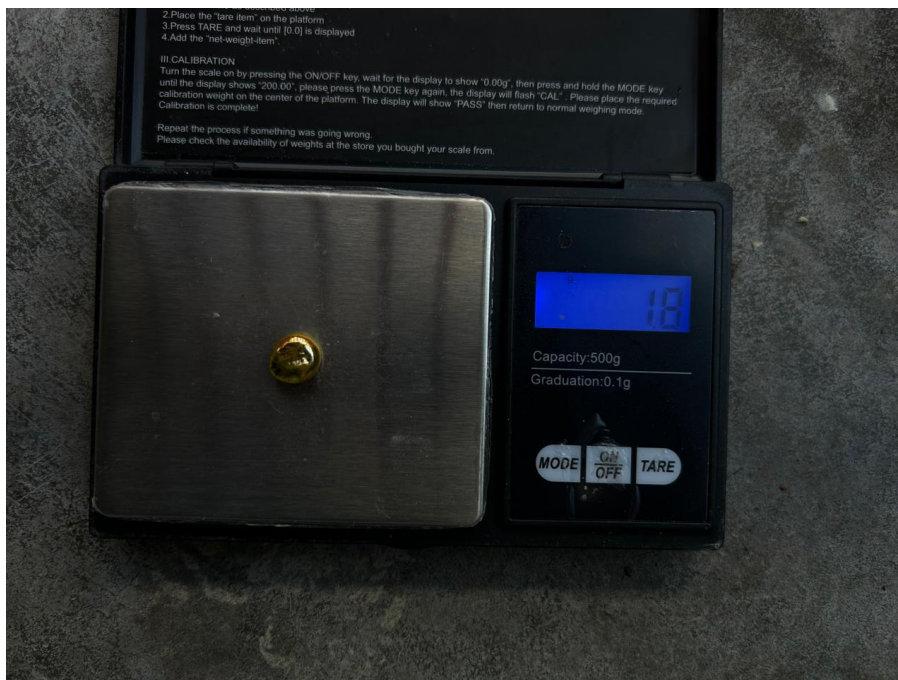


Figura S: Corrida #7

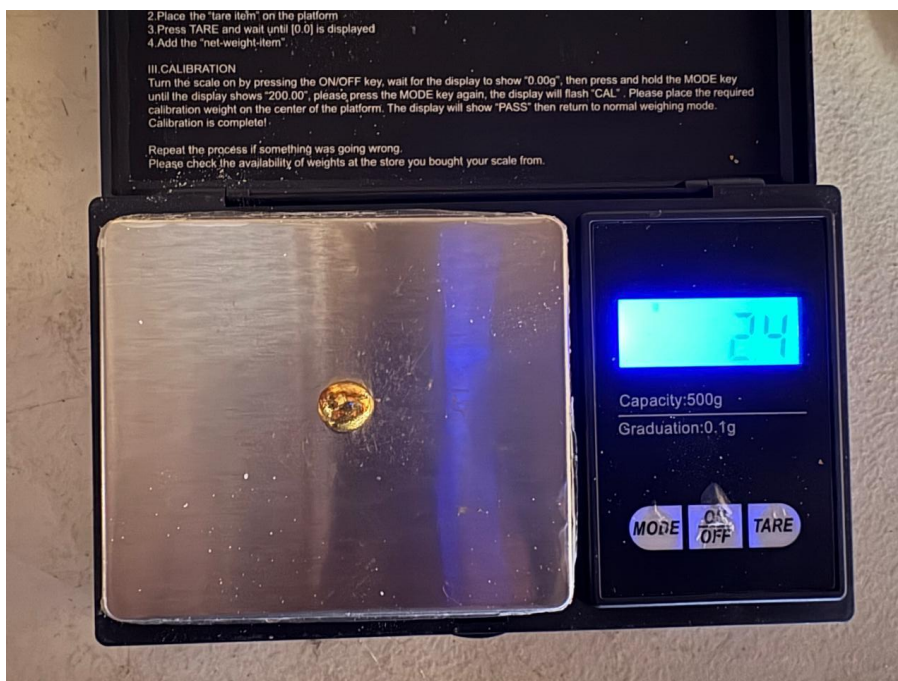


Figura T: Corrida #8



Figura U: Corrida #9

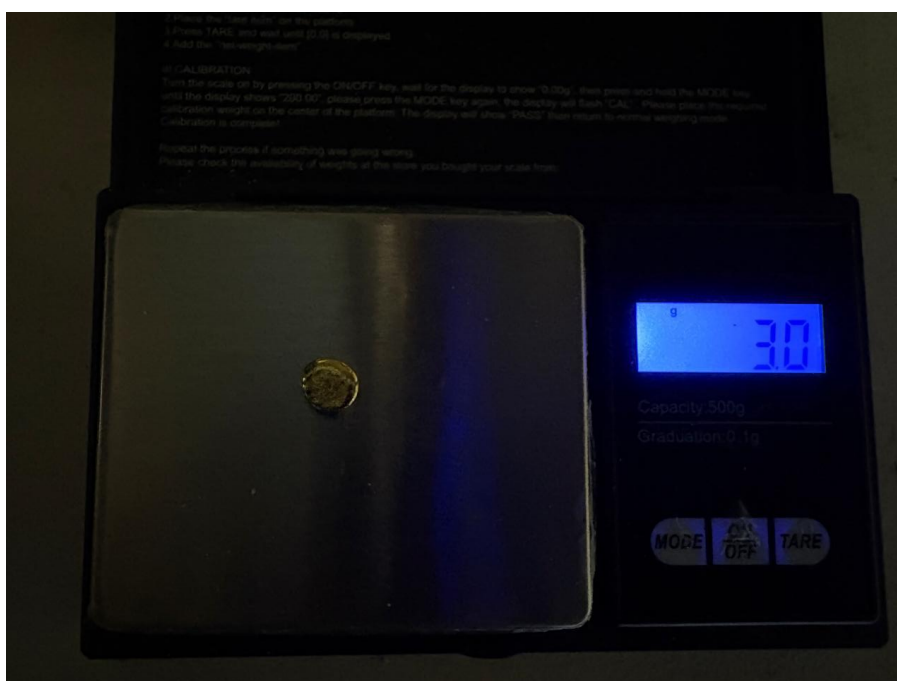


Figura V: Resultado de condiciones optimas

