



Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica

Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica

Proceso de cianuración de minerales y su incidencia en la extracción de oro en la Empresa

Gold Metals SAC-2025

Tesis

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico

Autora

Llerme Huerta Ferrer

Asesor

Dr. Joaquin Jose Abarca Rodriguez



JOAQUIN JOSE
ABARCA RODRIGUEZ
INGENIERO METALURGICO
Reg CIP Nº 106833

Huacho - Perú

2026



Reconocimiento - No Comercial – Sin Derivadas - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

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



UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN **LICENCIADA**

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

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA

METADATOS

DATOS DEL AUTOR (ES):		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	FECHA DE SUSTENTACIÓN
Llerme Huerta Ferrer	73578891	23 – 09 – 2026
DATOS DEL ASESOR:		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	CÓDIGO ORCID
Joaquín José Abarca Rodríguez	15740291	https://orcid.org/0000-0003-1004-3824
DATOS DE LOS MIEMBROS DE JURADOS – PREGRADO/POSGRADO-MAESTRÍA-DOCTORADO:		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	CODIGO ORCID
Máximo Tomas Salcedo Meza	15602588	https://orcid.org/0000-0002-6190-3794
Víctor Raúl Coca Ramírez	15601160	https://orcid.org/0000-0002-2287-7060
Helen Analí Zapata Del Solar	44067559	https://orcid.org/0000-0002-5347-6155

Llerme Huerta Ferrer 2026 - 035673

Proceso de cianuración de minerales y su incidencia en la extracción de oro en la Empresa Gold Metals SAC-2025

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA FIQyM - PREGRADO - 2026

Unidad de Investigación de la FIQyM - 2026

Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::1:3621517006

Fecha de entrega

2 ago 2026, 6:52 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

2 ago 2026, 6:57 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS_LLERME_HUERTA.docx

Tamaño del archivo

3.2 MB

80 páginas

15.478 palabras

89.230 caracteres



Página 2 de 85 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::1:3621517006

10% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 10% Fuentes de Internet
- 3% Publicaciones
- 6% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

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

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

DEDICATORIA

Dios, por la fortaleza, la salud y la sabiduría que me permitió avanzar en cada etapa de este camino. A mis padres, por su amor incondicional, sus enseñanzas y el esfuerzo silencioso que siempre me sostuvo. A mi familia, por su paciencia, comprensión y apoyo constante en los momentos más exigentes. A mis docentes y asesores, por guiarme con exigencia y compromiso, y por compartir sus conocimientos para hacer posible esta investigación. Finalmente, a todas las personas que, con una palabra de aliento o un gesto oportuno, contribuyeron a que este logro se convierta en realidad.

AGRADECIMIENTO

Agradezco, en primer lugar, a Dios por brindarme salud, fortaleza y perseverancia para culminar esta investigación. Expreso mi gratitud a mis padres y familia por su apoyo constante, comprensión y motivación durante todo el proceso académico. De manera especial, agradezco a mi asesor y a los docentes de la Escuela por su orientación, exigencia y aportes técnicos, fundamentales para el desarrollo y mejora del presente trabajo. Asimismo, agradezco a la Empresa Gold Metals SAC por facilitar el acceso a la información operativa y permitir la recopilación de datos necesarios para el análisis del proceso de cianuración. Finalmente, extendiendo mi reconocimiento a mis compañeros y amigos por su colaboración, consejos y ánimo en los momentos de mayor esfuerzo, contribuyendo a que este trabajo se concrete con responsabilidad y rigor.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	5
AGRADECIMIENTO	6
ÍNDICE GENERAL	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	10
ÍNDICE DE TABLAS	11
ANEXOS	12
RESUMEN	13
ABSTRACT.....	14
INTRODUCCIÓN	15
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.1 Descripción de la realidad problemática.....	17
1.2 Formulación del problema	21
1.2.1 problema general.....	21
1.2.2 Problemas específicos.....	21
1.3 Objetivos de la investigación	21
1.3.1 Objetivo general.....	21
1.3.2 Objetivo específico	21
1.4 Justificación de la investigación	22
1.5 Delimitación del estudio	23

1.5.1.	Delimitación territorial.....	23
1.5.2.	Delimitación tiempo espacio.....	24
1.5.3.	Delimitación de recursos.....	24
CAPITULO II MARCO TEÓRICO		25
2.1.	Antecedentes de la investigación	25
2.1.1.	Investigación internacional	25
2.1.2.	Investigación nacional.	27
2.2.	Bases teóricas.....	29
2.2.1.	Introducción al oro y su importancia económica y minera.....	29
2.2.2.	Mineralogía del oro y tipos de mineralización	30
2.2.3.	Fundamentos del proceso de cianuración	32
2.2.4.	Variables que influyen en la eficiencia de la cianuración.....	35
2.2.5.	Fundamento para el análisis estadístico y diseño no experimental (ANOVA/DoE)	36
2.3.	Bases filosóficas.....	39
2.4.	Definiciones conceptuales	40
2.5.	Hipótesis de la investigación	42
2.5.1.	Hipótesis general.....	42
2.5.2.	Hipótesis específicas.....	42
2.6.	Operacionalización de las variables.....	43
CAPITULO III METODOLOGÍA		44

3.1.	Diseño metodológico.	44
3.2.	Población y muestra.	45
3.3.	Técnicas de recolección de datos.	46
3.4.	Técnicas para el procesamiento de la información.	48
CAPITULO IV RESULTADOS.		49
4.1.	Análisis de resultados	49
4.1.1.	Datos para el procesamiento.	49
4.1.2.	Resultados	51
4.2.	Contrastación de hipótesis	56
4.2.1.	Contrastación de hipótesis general.	56
4.2.2.	Contrastación de hipótesis específico	57
CAPÍTULO V DISCUSIÓN.		60
5.1.	Discusión de resultados.	60
CAPÍTULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		62
6.1.	Conclusiones	62
6.2.	Recomendaciones	62
CAPÍTULO V REFERENCIAS.		64
6.3.	Referencias bibliográficas.	64
ANEXOS		75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de Pourbaix específico para el sistema Au–CN–H ₂ O.....	33
Figura 2 Carta ontrol de individuos XmR.....	38
Figura 3 Carta de rangos móviles MR	38
Figura 4 Ley de solución en relación de la ley de cabeza y %-200m.....	53
Figura 5 Recuperación de oro en relación flujo de mineral y la densidad de pulpa	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Parámetros de cianuración de oro	34
Tabla 2	Operacionalización de las variables e indicadores	43
Tabla 3	Variables operativas y medición (para trazabilidad en planta).....	47
Tabla 4	Datos recopilado en plata y laboratorio	49
Tabla 5	Leyes de oro en sólidos y líquido en la solución rica y relave	50
Tabla 6	Ley solución y recuperación de oro en relación ley de cabeza, flujo, densidad de pulpa y % -200m.....	51
Tabla 7	Descripción de la parametros de las variables de estudio.....	52
Tabla 8	Contrastación del proceso de cianuración en la eficiencia de extracción.....	56
Tabla 9	La ley de oro en la solución en virtud a ley de cabeza y % -200m.....	57
Tabla 10	Análisis de varianza para la recuperación de oro en relación a la densidad de pulpa ..	58
Tabla 11	Análisis de varianza para la recuperación de oro en relación al flujo de mineral t/d ...	58

ANEXOS

Anexo 1 localización.....	76
Anexo 2 Matriz de consistencia.....	77
Anexo 3 flujo de carga.....	78
Anexo 4 Carbón y la recuperación.....	79
Anexo 5 Leyes de mineral ingresante grueso y fino.....	79

RESUMEN

El objetivo es determinar si las variables del proceso de cianuración inciden en la eficiencia de la extracción de oro en la empresa Gold Metals SAC en 2025, relacionando la ley de cabeza, el flujo de mineral (t/d), la densidad de pulpa y el % pasante -200 m con la ley de Au en solución (g/m³) y la recuperación (%). Se trata de una investigación aplicada, cuantitativa y explicativa, sustentada en registros de planta y ensayos de laboratorio, con contraste inferencial mediante ANOVA. Se analizaron veinte registros operacionales (t/d: 226-275; densidad: 1,29-1,35 g/cm³; -200 m: 83,0-88,2 %), con promedios de 257 t/d, 1,33 g/cm³ y 86,1 % -200 m; la ley de cabeza promedió 14,4 g/t (6,08-32,6), la ley de solución 8,34 g/m³ (2,89-20,1) y la recuperación 87 % (65,6-97,1). Resultados: el modelo global mostró un efecto significativo de la ley de cabeza ($F = 1174,32$; $p < 0,001$) y de la densidad ($F = 9,42$; $p = 0,008$) sobre la eficiencia, mientras que el flujo t/d ($p = 0,801$) y el -200 m ($p = 0,135$) no fueron significativos. En el caso de la ley de Au en solución, la ley de cabeza fue significativa ($F = 1013,11$; $p < 0,001$), mientras que la distancia de 200 m no lo fue ($p = 0,281$). Además, ni la densidad ($p = 0,178$) ni el t/d ($p = 0,494$) explicaron cambios significativos en la recuperación. Conclusiones: la eficiencia recuperación depende principalmente de la ley del mineral y, en menor medida, de las condiciones de la pulpa.

Palabras claves: Procesos de cianuración, recuperación de oro, ley de cabeza y extracción de oro.

ABSTRACT

The objective is to determine whether the variables of the cyanidation process affect the efficiency of gold extraction at Gold Metals SAC in 2025, relating the head grade, ore flow (t/d), pulp density, and % passing -200 m to the Au grade in solution (g/m³) and recovery (%). This is an applied, quantitative, and explanatory study based on plant records and laboratory tests, with inferential contrast using ANOVA. Twenty operational records were analyzed (t/d: 226-275; density: 1.29-1.35 g/cm³; -200 m: 83.0-88.2%), with averages of 257 t/d, 1.33 g/cm³ and 86.1% -200 m; the head grade averaged 14.4 g/t (6.08-32.6), the solution grade 8.34 g/m³ (2.89-20.1) and the recovery 87% (65.6-97.1). Results: the overall model showed a significant effect of head grade ($F = 1174.32$; $p < 0.001$) and density ($F = 9.42$; $p = 0.008$) on efficiency, while flow t/d ($p = 0.801$) and -200 m ($p = 0.135$) were not significant. In the case of Au grade in solution, head grade was significant ($F = 1013.11$; $p < 0.001$), while the 200 m distance was not ($p = 0.281$). Furthermore, neither density ($p = 0.178$) nor t/d ($p = 0.494$) explained significant changes in recovery. Conclusions: Recovery efficiency depends mainly on the grade of the ore and, to a lesser extent, on the conditions of the pulp.

Key words: Cyanidation processes, gold recovery, head grade, and gold extraction.

INTRODUCCIÓN

La lixiviación con cianuro sigue siendo uno de los procesos hidrometalúrgicos más utilizados debido a su alta eficiencia y versatilidad para tratar diferentes tipos de minerales. No obstante, el rendimiento metalúrgico de la planta no depende únicamente de la presencia de cianuro, sino de un conjunto de variables operativas y características del mineral que, al interactuar, pueden aumentar o limitar la disolución del oro y la recuperación final. En este contexto, el control de la eficiencia del proceso no solo implica alcanzar altas recuperaciones, sino también minimizar las pérdidas en los relaves, estabilizar la calidad de la solución rica y optimizar el consumo de reactivos en condiciones reales de operación.

En la compañía minera Gold Metals SAC, durante el año 2025 se observó variabilidad en la ley de oro en solución y en la recuperación, aunque los parámetros del flujo de tratamiento, la densidad de pulpa y la granulometría se mantuvieron dentro de los rangos habituales de operación. Esta situación indica la presencia de factores críticos que influyen en el rendimiento del circuito de cianuración y que deben ser evaluados con herramientas estadísticas. Esto permite identificar las variables que tienen un impacto significativo en la eficiencia de extracción y aquellas que no tienen efectos relevantes dentro de los rangos de trabajo considerados.

La importancia de esta investigación radica en que la identificación de las variables con mayor influencia permite orientar las mejoras en el control de procesos y la toma de decisiones metalúrgicas basadas en pruebas, como la gestión de la variabilidad de la alimentación (ley de cabeza), la estandarización de la densidad de la pulpa y el refuerzo del seguimiento de los parámetros químicos del sistema. Además, los antecedentes internacionales y nacionales muestran que los cambios en las condiciones operativas y químicas pueden aumentar la extracción,

especialmente en minerales de baja calidad o que presentan un comportamiento refractario. Esto refuerza la necesidad de evaluar el proceso utilizando un enfoque cuantitativo y comparativo.

En este sentido, el objetivo del presente estudio es analizar la incidencia de las variables clave del proceso (ley de cabeza, flujo de mineral, densidad de pulpa y porcentaje de finos) sobre la ley de oro en solución y la recuperación de oro durante la cianuración en Gold Metals SAC en 2025. Mediante el uso de registros operacionales y análisis de varianza (ANOVA), buscamos establecer relaciones significativas que sustenten conclusiones y recomendaciones aplicables para mejorar la eficiencia, estabilidad y sostenibilidad del proceso metalúrgico en planta.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

Durante décadas, la cianuración por agitación con circuitos CIP/CIL se consolidó como la tecnología dominante, pero muchas operaciones se basaron en puntos de control fijos de pH-[NaCN] y balances cabeza-colas, prestando menos atención a la cinética, la oxigenación y los fenómenos de pregrooming, que hoy se reconocen como determinantes de la eficiencia. Estudios recientes refuerzan la idea de que la porosidad del mineral y la disponibilidad de oxígeno condicionan la disolución del oro, especialmente en menas refractarias (Li et al., 2022a; Ocampo-López et al., 2024).

Frente a menas más complejas y leyes decrecientes, varias plantas han introducido preaireación, nitrato de plomo y aditivos como el acetato de sodio, lo que ha dado lugar a aumentos en la extracción y, en algunos casos, a una reducción del consumo específico de NaCN. En paralelo, se optimiza el CIL para mitigar el pregrooming mediante el uso de reactores y materiales, así como con la modificación del carbón (Surimbayev et al., 2024).

La tendencia es integrar parámetros cinéticos (k aparente) y de transferencia de oxígeno (OD, KLa) en puntos de ajuste dinámicos, combinar pretratamientos (por ejemplo, tostación oxidante) con cianuro e incorporar un seguimiento en línea (OD, ORP, CN libre) y un control avanzado. La evidencia muestra que optimizar la estructura de los poros y el suministro de O_2 acelera y aumenta la extracción (Li et al., 2022a).

Las operaciones de mediana escala adoptaron el CIP/CIL y, donde la plata fue relevante, el método Merrill-Crowe. El control de O_2 y el diagnóstico de pregrooming quedaron

frecuentemente relegados, con decisiones operativas basadas en la experiencia empírica y una limitada experimentación multivariable a nivel de planta (Ocampo-López et al., 2024).

Los informes latinoamericanos muestran que el diseño del reactor CIL y la modificación del carbón (por ejemplo, protonado) mejoran la captura de oro y reducen las pérdidas por pregrooming, alcanzando recuperaciones >90 % cuando se controlan el pH y la concentración de NaCN, así como la aireación (Ocampo-López et al., 2024).

Se prevé formalizar modelos industriales que integren la mineralogía operativa (leach diagnostic), la cinética y la oxigenación con tableros de control (Au en colas, NaCN específico), dado el impacto comprobado de la porosidad/oxidación previa y la OD en la velocidad de lixiviación (Li et al., 2022a).

El país adoptó ampliamente la cianuración por agitación con optimizaciones puntuales (pH, [NaCN], tiempo, densidad), predominando validaciones de laboratorio y transferencias parciales a planta en contextos heterogéneos (Caso & Fernandez, 2022).

Los antecedentes peruanos de 2021-2024 a nivel de planta muestran mejoras en la recuperación con un CIP optimizado (pH, [NaCN], temperatura, reactivación del carbón), así como con ajustes de densidad, tiempo y preaireación. Sin embargo, persisten brechas en la OD en línea y en el manejo sistemático del pregrobing (Choquehuanca, 2023; Paliza & Quispe, 2024).

Es necesario estandarizar las ventanas operativas con datos de planta (K aparente, extracción asintótica) y cerrar las brechas del balance integral de cianuro (CN libre/WAD) y de oxigenación para reducir la variabilidad entre turnos y el consumo específico de NaCN (Choquehuanca, 2023).

Los patrones observados en plantas peruanas similares muestran una operación basada en rangos históricos (pH-[NaCN]-tiempo) y ajustes empíricos ante cambios mineralógicos, con

instrumentación limitada para OD y CN libre. Este contexto sugiere oportunidades de mejora que podrían transferirse a Gold Metals SAC (Caso & Fernández, 2022; Choquehuanca, 2023).

La variabilidad de la cabeza (ley, sulfuración, carbonosos, cobre) tiende a reflejarse en oscilaciones de extracción y de NaCN específico. Tesis recientes muestran que la densidad de la pulpa, el tiempo de residencia y la reactivación química del carbón elevan la recuperación cuando se implementan con disciplina operativa (Choquehuanca, 2023).

El objetivo operativo es cuantificar la incidencia del pH, [NaCN], OD, densidad, F80, tiempo, agitación y aditivos sobre la extracción de oro y definir ventanas operativas replicables con DoE en planta y sensores en línea, alineadas con las mejores prácticas regionales (Ocampo-López et al., 2024).

A nivel internacional, la pre-aireación y el nitrato de plomo mejoran la extracción y la selectividad frente al cobre, y la tostación oxidante optimiza la porosidad y eleva la recuperación por encima del 90 %. Los aditivos, como el acetato de sodio, incrementan la extracción en laboratorio y en semipiloto, y en CIL, el diseño del reactor y el carbón protonado mitigan el pregrooming y sostienen altas recuperaciones. A nivel nacional, los casos de Corihuarmi, Nueva Bonanza, Santa Bárbara, Los Rosales y Jerusalén SAC han reportado mejoras mediante el control del pH, la concentración de NaCN y el tiempo de reacción, la densidad y la gestión del carbón (Brañez, 2021; Li et al., 2022a; Surimbayev et al., 2024).

Faltan diseños experimentales multivariantes con réplicas a nivel de planta que cuantifiquen las interacciones (pH, [NaCN], OD, densidad, F80, tiempo, agitación, aditivos) y traduzcan los parámetros cinéticos en reglas operativas. También se observa una escasa cuantificación del pre-robbing con pruebas diagnósticas y de transferencia de oxígeno (KLa), así

como balances integrales de cianuro (CN libre/WAD) enlazados al consumo específico (Choquehuanca, 2023; Ocampo-López et al., 2024).

Persisten brechas en OD en línea/KLa que limitan la cinética, dosificación empírica de NaCN con riesgo de sobreconsumo o pérdidas en colas, ausencia de DoE industrial que capture sinergias/antagonismos, pregrooming subdiagnosticado en menas carbonosas y gestión del carbón (actividad/attrition) perfectible en CIP/CIL. Cada una de estas brechas se asocia a una menor extracción y/o un mayor consumo (Kurama & Bütün, 2023; Li et al., 2022a; Ocampo-López et al., 2024).

El proyecto permitirá cuantificar, con datos de planta, cómo inciden las variables clave en la extracción de oro, estimar los parámetros cinéticos, diseñar ventanas operativas y reglas de ajuste (pH, [NaCN], OD, densidad y tiempo), y mitigar el pregrooming en CIL/CIP, lo que tendrá un impacto técnico, económico y medioambiental (se utilizará menos NaCN y CN WAD) (Choquehuanca, 2023; Ocampo-López et al., 2024).

Un modelo predictivo y procedimientos operativos normalizados (SOP) que relacionen la mineralogía y las condiciones (pH, [NaCN], OD, densidad, d80, tiempo, agitación, aditivos) con la extracción de oro (%) y de NaCN (kg/t), así como un cuadro de mando con alarmas por ventana operativa, coherente con las evidencias de optimización por oxidación/tostación y mejoras en CIL (Choquehuanca, 2023; Li et al., 2022a).

El análisis del método de cianuración implementado por Gold Metals SAC es fundamental, no solo por su capacidad de incrementar la producción de oro, sino también por sus repercusiones en los ámbitos ecológico, social y de salud pública. Por tanto, es necesario contar con un marco regulatorio adecuado y promover innovaciones tecnológicas menos contaminantes para abordar de

forma integral los efectos de la actividad minera en las poblaciones adyacentes y garantizar que esta genere valor económico en equilibrio con el respeto al bienestar humano y a la naturaleza.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 problema general

¿En qué medida el proceso de cianuración de minerales puede tener incidencia en la eficiencia de extracción de oro en la empresa Gold Metals SAC-2025?

1.2.2 Problemas específicos.

¿Cómo la ley de cabeza del mineral y el porcentaje de partículas finas (-200 mallas) influye en la ley de oro en la solución (Au g/m^3) durante el proceso de cianuración en la Empresa Gold Metals SAC-2025?

¿De qué manera la densidad de pulpa incide en la recuperación de oro durante el proceso de cianuración en la Empresa Gold Metals SAC-2025?

¿Cuál es el efecto del flujo de mineral alimentado a la planta sobre la recuperación de oro en el proceso de cianuración de la Empresa Gold Metals SAC-2025?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general.

Determinar en qué medida el proceso de cianuración de minerales puede tener incidencia en la eficiencia de extracción de oro en la empresa Gold Metals SAC-2025.

1.3.2 Objetivo específico

Evaluar cómo la ley de cabeza del mineral y el porcentaje de partículas finas (-200 mallas) influye en la ley de oro en la solución (Au g/m^3) durante el proceso de cianuración en la Empresa Gold Metals SAC-2025.

Analizar de qué manera la densidad de pulpa incide en la recuperación de oro durante el proceso de cianuración en la Empresa Gold Metals SAC-2025.

Determinar como el flujo de mineral alimentado a la planta afecta sobre la recuperación de oro en el proceso de cianuración de la Empresa Gold Metals SAC-2025.

1.4 Justificación de la investigación

Justificación teórica: Este estudio se sustenta en teorías de metalurgia extractiva, especialmente en el modelo de disolución del oro en soluciones cianuradas y la cinética de reacción en medios alcalinos. Apoya su análisis en principios termodinámicos y difusivos que explican el comportamiento del oro durante la lixiviación. Estos fundamentos permiten interpretar el proceso en Gold Metals SAC-2025 desde un enfoque científico consolidado, aportando comprensión teórica al rendimiento del proceso sin intervención experimental directa.

Justificación metodológica: Metodológicamente, el estudio es no experimental longitudinal, ya que analiza datos históricos del proceso de cianuración a lo largo del tiempo sin manipular variables. Permite observar tendencias, eficiencia y variabilidad operativa en condiciones reales. Esta aproximación es válida para evaluar el desempeño continuo del proceso, identificar patrones y correlaciones significativas entre parámetros operativos y recuperación de oro, ofreciendo una visión realista y confiable del comportamiento del sistema en Gold Metals SAC-2025.

Justificación técnica: Técnicamente, el estudio aporta un diagnóstico basado en el análisis de variables operativas reales como consumo de cianuro, tiempo de lixiviación y recuperación de oro a lo largo del tiempo. Esta evaluación longitudinal permite identificar ineficiencias técnicas, variaciones en el tratamiento de mineral y su impacto en la extracción. Los resultados orientan ajustes operativos sin necesidad de pruebas experimentales, mejorando el control del proceso y la toma de decisiones técnicas en Gold Metals SAC-2025, con base en datos reales y sostenidos en el tiempo.

Justificación social: Socialmente, el estudio promueve prácticas mineras más seguras y transparentes al analizar el comportamiento del proceso de cianuración en el tiempo. Al identificar

ineficiencias y riesgos operativos, contribuye a prevenir accidentes y exposición a sustancias tóxicas, protegiendo la salud de los trabajadores y comunidades cercanas. Además, fortalece la confianza social al demostrar un compromiso con el monitoreo responsable, favoreciendo la convivencia pacífica entre la empresa y los grupos afectados por sus operaciones.

Justificación ambiental: Desde lo ambiental, el análisis longitudinal permite detectar tendencias en el uso de cianuro y generación de residuos, facilitando la prevención de impactos. Al monitorear el desempeño ambiental del proceso a lo largo del tiempo, se pueden implementar acciones correctivas oportunas, como optimizar dosificaciones o mejorar el tratamiento de efluentes. Esto reduce el riesgo de contaminación y fortalece el cumplimiento normativo, promoviendo una minería más sostenible y responsable en Gold Metals SAC-2025.

Justificación económica: Económicamente, el estudio permite identificar costos asociados al uso excesivo de reactivos y pérdidas de oro por baja eficiencia en la cianuración. Al analizar datos longitudinales, se detectan patrones que inciden en la rentabilidad, como variaciones en la recuperación metalúrgica. Esta información apoya decisiones de optimización operativa sin inversión en ensayos costosos, mejorando la productividad y reduciendo gastos innecesarios, lo que fortalece la viabilidad económica a largo plazo de Gold Metals SAC-2025.

1.5 Delimitación del estudio

1.5.1. Delimitación territorial.

En presente estudio se llevará a cabo en la planta procesadora de la empresa Gold Metals SAC, ubicada en el distrito de Bella Unión, provincia de Caravelí, región Arequipa, se encuentra dentro de la faja costera andina del sur del Perú. Su localización de referencia se sitúa en el sistema UTM Zona 18S (WGS-84), en las coordenadas 15°22'55"S 74°39'59"W a una altitud media de 824 m s.n.m (Google Earth, 2025). Esta posición estratégica, próxima a la carretera Panamericana

Sur y al valle de Acarí, facilita el acceso logístico y el transporte de insumos y productos. La zona es reconocida por su potencial aurífero y cuprífero, lo que la convierte en un entorno adecuado para estudios de cianuración de minerales y evaluación de recuperación de oro.

En cuanto a las condiciones climáticas, Bella Unión presenta un régimen térmico templado-cálido árido, con temperaturas que oscilan entre 16 °C y 29 °C a lo largo del año (Weatherspark, 2025). La humedad relativa es baja, con valores reducidos durante la mayor parte de las estaciones, mientras que las precipitaciones son escasas, variando entre 1 y 8 mm mensuales, concentrándose en los meses de verano austral (enero a febrero). Este clima seco y estable resulta favorable para las operaciones metalúrgicas, ya que minimiza los riesgos asociados a la humedad y contribuye a la eficiencia de procesos como la cianuración, al mantener condiciones más controladas en la manipulación de pulpas y soluciones.

1.5.2. Delimitación tiempo espacio.

El tiempo y el espacio que se emplearán para llevar a cabo la investigación sobre el “Proceso de cianuración de minerales y su incidencia en la extracción de oro en la empresa Gold Metals SAC-2025” se extenderá desde el mes julio a diciembre de 2025, y hasta marzo de 2026 si hubiera inconvenientes. El estudio se llevará a cabo en la planta de cianuración de la empresa Gold Metals SAC, donde se recopilarán los datos en un periodo de 2 meses.

1.5.3. Delimitación de recursos.

Las principales limitaciones para ejecutar de manera completa la investigación titulada “*Proceso de cianuración de minerales y su incidencia en la extracción de oro en la empresa Gold Metals SAC-2025*” se relacionan con las restricciones de acceso impuestas por el área de seguridad, dado que se trata de una empresa dedicada a la extracción aurífera y, por lo tanto, expuesta a riesgos de sustracción del mineral por parte de personas externas.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Investigación internacional

En su investigación, Surimbayev et al. (2024) evaluaron el efecto del acetato de sodio en la cianuración de minerales auríferos del yacimiento Akshoky, publicada en *Metals* y disponible en PubMed. El objetivo fue mejorar la eficiencia de lixiviación en minerales de baja ley mediante pruebas de laboratorio y semi-piloto. Se empleó un método experimental bajo condiciones controladas, analizando el comportamiento químico, mineralógico y físico del mineral (Au 1.32 g/t; Ag 3.27 g/t). Los resultados mostraron que la adición de acetato de sodio elevó la disolución de oro de 83.08 % a 86.61 %, incrementando en lixiviación en pilas un 7.6 %. Se concluye que este aditivo potencia la extracción aurífera.

En su investigación, Kumar (Kumar, 2024) analizó un enfoque pirometalúrgico para la extracción de oro mediante cloración con gas cloro, publicada en la *University of British Columbia (UBC) Theses Collection*. El objetivo fue evaluar la factibilidad y eficiencia del proceso a altas temperaturas. El estudio, de tipo experimental y cinético, consideró variables como presión parcial de cloro, tamaño de partícula, temperatura y tiempo de reacción. Bajo condiciones óptimas (0.6 atm, 53–75 μm , 1000 °C y 1 h), se alcanzó una recuperación de 98 % de oro. El análisis cinético reveló que el modelo de difusión unidimensional describe mejor la reacción, concluyendo que este método representa una alternativa prometedora para mejorar la recuperación aurífera.

En su estudio, Khuduwe (Khuduwe, 2024), publicado en *Wits Institutional Repository (Witwatersrand)*, evaluó alternativas ecológicas a la cianuración para recuperar oro de relaves de la mina DRD Gold en Sudáfrica. El objetivo fue comparar la eficiencia de líquidos iónicos (IL),

solventes eutécticos profundos (DES) y tiosulfato. Se desarrolló una investigación experimental empleando diseño de experimentos (DOE), difracción de rayos X y análisis de liberación mineral. Los resultados mostraron que el DES alcanzó la mayor extracción (76.4 %), superando incluso a la cianuración (46.9 %), mientras que IL y tiosulfato resultaron menos eficientes. La recuperación con carbón activado fue moderada, concluyéndose que el DES representa la alternativa más prometedora y ambientalmente viable para procesar relaves auríferos.

En su investigación, Deveci et al. (Deveci et al., 2023), publicada en *Physicochemical Problems of Mineral Processing (PPMP)*, analizaron la mejora de la cianuración de un concentrado pirítico aurífero (11 g/t Au, 42 g/t Ag, 0.21 % Cu, 3.57 % Zn, 31 % Fe). El objetivo fue evaluar los efectos de nitrato de plomo (200–500 g/t) y pre-aeración (24 h) en pruebas de cianuración con 1.5–3.5 g/L NaCN. La investigación, de tipo experimental, mostró que el nitrato de plomo incrementó la extracción de plata y redujo drásticamente la disolución de cobre (23 % a 4 %), mientras que la pre-aeración elevó las extracciones de oro (4–14 %) y plata (23–44 %), además de reducir el consumo de cianuro. Se concluye que ambas técnicas optimizan la recuperación y la selectividad en sistemas CIP.

En su estudio, Li et al. (2022), publicado en *Materials* y disponible en PubMed Central, investigaron la optimización del tostado-oxidación para mejorar la cianuración de minerales auríferos refractarios afectados por el fenómeno de *preg-robbing*. El objetivo fue analizar la evolución estructural de los poros y su impacto en la lixiviación. La investigación, de tipo experimental, aplicó pruebas de tostado-lixiviación, microscopía electrónica (SEM), difracción de rayos X y mediciones de porosidad. Se determinó que el tostado a 650 °C por 2 h con ventilación de 0.6 m³/h permitió alcanzar una recuperación de 92.55 % de oro. Se concluye que condiciones controladas evitan la compactación de la matriz y maximizan la eficiencia de lixiviación.

2.1.2. Investigación nacional.

En su investigación, Paliza & Quispe (Paliza & Quispe, 2024b), publicada en el *Repositorio de la Universidad Nacional del Santa (Perú)*, se analizó la optimización de la recuperación de oro en minerales oxidados y sulfurados. El objetivo fue determinar el efecto de variables operativas en la cianuración y adsorción con carbón activado. El estudio, de tipo experimental factorial, se desarrolló en laboratorio con 8 pruebas y 3 réplicas, evaluando concentración de cianuro, dosificación de carbón y tiempo de cianuración. Los resultados mostraron condiciones óptimas de 0.0015 kg/L NaCN, 3.5 kg/t carbón y 14 h, alcanzando una recuperación de 91.45 %. Se concluye que la interacción de estas variables mejora significativamente la eficiencia del proceso aurífero.

En su tesis, Choquehuanca (Choquehuanca, 2023), publicada en el *Repositorio Institucional de la Universidad Nacional del Altiplano (Puno, Perú)*, se investigó la optimización del proceso CIP (carbón en pulpa) en la Planta de Beneficio Acumulación Los Rosales – Huancasaya, Vilque. El objetivo fue mejorar la recuperación de oro en relaves con ley promedio de 2.009 g/t, dado que inicialmente solo se alcanzaba un 61 %. La investigación, de tipo experimental y aplicada, utilizó pruebas metalúrgicas bajo condiciones de densidad de 1250 kg/L y 48 h de agitación. Los resultados mostraron un incremento de recuperación hasta 74.69–78.05 %, demostrando un aumento de 14.7 % en la eficiencia. Se concluye que parámetros optimizados permiten un mejor reaprovechamiento de pasivos ambientales.

En su investigación, León (León, 2022), publicada en el *Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Piura (Perú)*, se evaluó la cianuración por agitación de minerales sulfurados de la Minera Santa Bárbara (Buldibuyo, Pataz). El objetivo fue determinar las condiciones óptimas para el proceso CIP (carbón en pulpa). La investigación, de tipo experimental,

incluyó 27 tratamientos variando fuerza de cianuro libre, pH y temperatura. Se halló que el tratamiento óptimo (T15) con 0.05 % NaCN, pH 11.5 y 40 °C permitió obtener una extracción de oro de 99.09 % y recuperación en carbón del 99.67 % en 12 horas. Se concluye que el CIP es altamente eficiente bajo condiciones controladas, logrando recuperar casi la totalidad del oro contenido.

En su tesis, Fernández & Caso (Caso & Fernandez, 2022), publicada en el *Repositorio Institucional de la Universidad Nacional del Centro del Perú*, se analizó el funcionamiento de la planta concentradora Bonanza en Arequipa, dedicada al procesamiento de minerales auríferos oxidados y sulfurados, propios y de mineros artesanales. El objetivo fue optimizar las condiciones operativas en chancado, molienda y lixiviación para mejorar la recuperación de oro. La investigación, de tipo aplicada y experimental, describió operaciones con una capacidad de 30 t/día, molinos Denver en circuito cerrado y densidad de pulpa de 1300 g/L. Los resultados mostraron que, con granulometría adecuada y control de variables, se logra una recuperación aurífera eficiente, concluyéndose que la planta opera con parámetros viables y sostenibles.

En su tesis, Brañez (2021), publicada en el *Repositorio Institucional de la Universidad Nacional del Centro del Perú*, se investigó la optimización de la recuperación de oro en el yacimiento Corihuarmi, ubicado en los Andes centrales del Perú (Junín, Lima y Huancavelica). El objetivo fue evaluar el efecto del uso de humectante en la cianuración de minerales auríferos con alto contenido de sílice-alunita. La investigación, de tipo experimental aplicada, se realizó mediante pruebas de cianuración en botellas y columnas, controlando pH, concentración de NaCN (1600 ppm) y humectante (50 ppm). Los resultados mostraron que el humectante mejoró la extracción de oro, alcanzando hasta 94.76 % en botella y 90.79 % en columnas, frente a valores

menores sin aditivo. Se concluye que el uso de humectante incrementa significativamente la recuperación aurífera en minerales complejos.

2.2. Bases teóricas.

2.2.1. Introducción al oro y su importancia económica y minera.

El oro destaca por su doble naturaleza económica y tecnológica. Es un activo altamente líquido y un refugio frente a la incertidumbre, y también un insumo para la joyería, la electrónica y las reservas oficiales. En 2024, la demanda mundial alcanzó un récord de 4974 t, impulsada por las compras sostenidas de los bancos centrales y un mayor volumen de inversión. La producción minera mundial rondó las 3300 t, con usos dominados por la joyería (45 %) y las reservas oficiales (21 %). Estos atributos refuerzan su condición de recurso estratégico y diversificador de carteras, relevante para la estabilidad financiera y la gestión de riesgos macroeconómicos (Sheaffer, 2025; World gold council, 2025).

En el Perú, el oro mantiene un peso minero-exportador significativo. En 2024 la producción se estimó en 100 t y las reservas en 2,500 t, lo que sostiene su rol en la balanza externa y la inversión minera. Junto a la gran minería coexisten la pequeña y mediana minería y la MAPE/ASM, clave para los ingresos locales, pero con retos de formalización, trazabilidad y desempeño ambiental. Evidencia reciente documenta avances y brechas del proceso de formalización, así como cuellos de botella en la trazabilidad del oro desde la mina hasta el mercado y transiciones tecnológicas (por ejemplo, del mercurio a alternativas más responsables), poniendo de relieve la necesidad de políticas integrales post-formalización (Martínez et al., 2021; Villanueva & Vila, 2023).

2.2.2. Mineralogía del oro y tipos de mineralización

El oro ocurre en diversas formas mineralógicas con consecuencias directas en su tratamiento. Como oro libre (nativo o electrum) aparece en granos o láminas en cuarzo o placeres, recuperable por concentración gravimétrica y cianuración “convencional”. Cuando está encapsulado submicroscópico en pirita/arsenopirita (Au en solución sólida en pirita arsenical) o como inclusiones en cuarzo y carbonatos se comporta como “refractario”; requiere liberación por molienda ultrafina y/o pre-oxidación (tostación, bio-oxidación, POX, Albion) antes de lixiviar. Asociaciones con sulfuros (pirita, arsenopirita, calcopirita) y con telurios (calaverita, silvanita) ralentizan la disolución; la materia carbonosa “preg-robbing” adsorbe aurocianuro y demanda estrategias como CIL con enmascarantes o lixiviación con tiosulfato. La mineralogía de ganga y alteración (sílice, adularia-sericita en epitermales; alunita-dickita en HS; cuarzo-carbonato en orogénicos; descarbonatización/sílice jaseroide en tipo Carlin) condiciona tamaño de liberación, consumo de reactivos y selectividad de flotación/lixiviación (Adams, 2016; Mirasi, 1993).

Los estilos de mineralización dominantes epitermal (LS/HS), orogénico (vetas cuarzo-carbonato), tipo Carlin (Au submicroscópico en pirita arsenical), pórfido Cu-Au/IOC-G, skarn Au y paleoplacer/placer presentan asociaciones de minerales guía (pirita, arsenopirita, enargita-tetraedrita en HS; electrum y adularia en LS; pirita arsenical y materia carbonosa en Carlin) que obligan a rutas de beneficio específicas (McLean et al., 2025): (i) libres: gravimetría + cianuración; (ii) con sulfuros: flotación para preconcentrar Au y pre-oxidación; (iii) con cobre/reactivos cianicidas: control de pH-Eh, SART o alternativas a CN; (iv) preg-robbing: CIL con “blinding”, resinas o tiosulfato. En síntesis, la selectividad del proceso (flotación y/o hidrometalurgia) está gobernada por el modo de ocurrencia del Au, su textura (tamaño/encapsulamiento) y la paragenesis

de sulfuros y fases portadoras, más que por la ley de cabeza por sí sola (Marsden & Housen, 2006; Roy et al., 2016).

Formas de presencia del oro en la naturaleza.

- a) **Oro libre (nativo/electrum):** granos y láminas en cuarzo o placeres; recuperable por gravimetría y cianuración directa cuando el tamaño de liberación es adecuado. ((Adams, 2016; Marsden & Housen, 2006).
- b) **Oro submicroscópico/encapsulado en sulfuros:** Au en solución sólida en pirita/arsenopirita o como inclusiones finas; genera “refractariedad” y requiere liberación por molienda ultrafina y/o pre-oxidación (tostación, bio-oxidación, POX, Albion) previa a la lixiviación (Adams, 2016; McLean et al., 2025; Roy et al., 2016).
- c) **Oro asociado a sulfuros y telururos** (pirita, arsenopirita, calcopirita; calaverita, silvanita): la matriz sulfurada ralentiza la disolución y condiciona el uso de flotación y etapas de oxidación (Adams, 2016; Marsden & Housen, 2006).
- d) **Oro en materias carbonosas (preg-robbing):** la ganga carbonosa adsorbe aurocianuro; se mitiga con CIL, resinas o lixiviantes alternativos (p. ej., tiosulfato) (Aylmore, 2005; Marsden & Housen, 2006).

Tipos de yacimiento y mineralogía

- e) **Epitermales (LS/HS):** electrum con cuarzo-adularia (LS) o asociaciones sulfuradas (HS); alteraciones (argílica, sílica) que definen liberación y consumo de reactivos (Adams, 2016; White & Hedenquist, 1995).
- f) **Orogénicos (vetas cuarzo-carbonato):** oro libre y en pirita arsenical; texturas y sulfídicos controlan la respuesta a gravimetría/cianuración vs. Flotación (Adams, 2016; Groves et al., 1998).

- g) **Tipo Carlin:** Au submicroscópico en pirita arsenosa y ganga carbonosa; típicamente refractarios y sensibles al preg-robbing(Adams, 2016; Fleet & Mumin, 1997)..
- h) **Pórfidos Cu-Au / skarn / IOCG:** mayor presencia de Cu (cianicida) y sulfuros; demandan preconcentración por flotación y manejo de Cu en circuitos de lixiviación (Adams, 2016; Marsden & Housen, 2006).

Influencia en la selectividad del proceso de extracción:

- i) **Oro libre → gravimetría + cianuración:** alta selectividad cuando la liberación es suficiente; molienda optimizada reduce pérdidas por sobre molienda (Adams, 2016; Marsden & Housen, 2006).
- j) **Oro en sulfuros → flotación + pre-oxidación + lixiviación:** mejora la cinética y extracción final frente a menas refractarias (Adams, 2016; La Brooy et al., 1994).
- k) **Cobre y otros cianicidas:** controlar pH–Eh y considerar SART/precipitación selectiva o rutas no cianídicas según mineralogía (Adams, 2016; Marsden & Housen, 2006).
- l) **Preg-robbing:** preferir CIL (carbón compite), “blinding” del carbón natural, resinas o tiosulfato para mantener selectividad (Aylmore, 2005; Marsden & Housen, 2006).

2.2.3. Fundamentos del proceso de cianuración

La cianuración del oro se basa en la oxidación del metal y su complejidad en medio alcalino de cianuro. La reacción global (de Elsner) es:

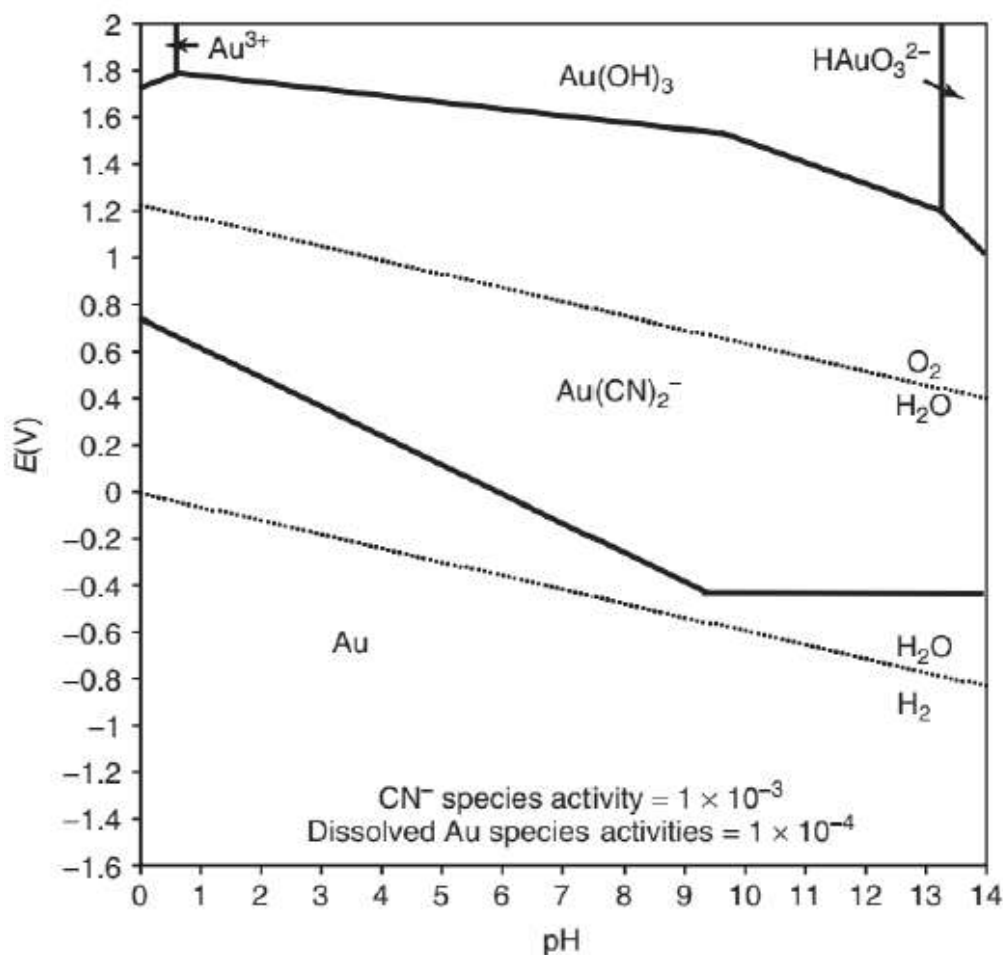


donde el oxígeno actúa como oxidante y el cianuro estabiliza al oro disuelto como dicianoaurato. Termodinámicamente, en **pH alcalino (10–11)** predomina CN^- sobre HCN ($\text{pK}_a = 9.2$), lo que evita volatilización de HCN y favorece la formación de $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$; a potenciales redox moderados con O_2 (aireación) el par $\text{Au}^0/[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$ es estable (diagramas Eh–pH con CN^-).

En la práctica, la protección alcalina (cal/soda) y el oxígeno disuelto (aire o enriquecimiento) son requisitos de equilibrio y de impulso de la reacción (Adams, 2016; Marsden & Housen, 2006).

Figura 1

Diagrama de Pourbaix específico para el sistema Au–CN–H₂O



En la figura 1 se muestra las regiones de estabilidad electroquímica en función del pH y del potencial redox (Eh). Se representa claramente la zona de solubilidad del oro como complejo [Au(CN)₂]⁻, en comparación con su forma metálica (Au⁰) y otras especies como Au³⁺ u óxidos/hidróxidos de oro.

Zona soluble de [Au(CN)₂]⁻ En pH típicamente alcalino (generalmente pH > 10), y dentro de un rango de potencial Eh, el oro se disuelve como el complejo [Au(CN)₂]⁻. Esta región es

esencial durante la cianuración, ya que indica condiciones en las que el oro metálico se transforma en una forma soluble y fácilmente recuperable.

Oro metálico (Au^0). Esta forma permanece estable fuera de la región de disolución. El diagrama muestra que en potenciales más negativos o en menor concentración de cianuro, el oro permanece como metal.

Importancia del potencial Eh y del pH. El diagrama revela que el rango óptimo de lixiviación se ubica entre Eh -0.4 V y -0.7 V , en pH alcalino. En ese rango, la oxidación del oro (anódica) y la reducción del oxígeno (catódica) ocurren de modo.

Tabla 1

Parámetros de cianuración de oro

Parámetro	Valor o Observación
pH	Alcalino, por lo general > 10
Potencial (Eh)	Entre -0.4 V y -0.7 V (reducción favorable para disolver oro como $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$)
Ventaja del oro(I)	El complejo Au(I) se forma más fácilmente que especies Au(III)
Competencia iónica	Minerales como Fe pueden interferir al consumir cianuro y desplazar reacciones del oro

Cinéticamente, la disolución suele describirse por un modelo mixto control superficie–difusión, con orden aparente cercano a 1 en $[\text{CN}^-]$ y fracción ($1/2$) en $[\text{O}_2]$, y fuerte dependencia del área específica (tamaño de partícula y liberación) y de la hidrodinámica (película límite). La temperatura sigue Arrhenius (hasta límites operativos), mientras que especies reactivas (Cu, Zn,

Pb, sulfuro) consumen cianuro/oxígeno o pasaban la superficie (películas de azufre o jarosita); mitigaciones típicas incluyen pre-oxidación, manejo de cobre (p.ej., SART) y nitrato de plomo como activador para menas sulfuradas refractarias. La ganga carbonosa causa *preg-robbing* y reduce la recuperación, por lo que se prefieren circuitos CIL, resinas o lixiviación alternativa (tiosulfato) según mineralogía. En suma, la selectividad y la solubilidad efectiva están gobernadas por (i) pH y anión de CN^- , (ii) O_2 disuelto/potencial redox, (iii) concentración de cianuro libre, (iv) textura/liberación y (v) interferentes minerales, más que por la ley de cabeza (Adams, 2016; Aylmore, 2005; La Brooy et al., 1994).

2.2.4. Variables que influyen en la eficiencia de la cianuración

Ley de cabeza y granulometría (-200 mallas). La relación ley-liberación-cinética: A una mayor ley de cabeza (g/t) eleva el potencial de tenor en la solución; la molienda pasante al P80 entre 75 y 106 μm (200-150 mallas) incrementa el área específica y la liberación, acelerando la cinética de disolución hasta alcanzar un punto óptimo, antes de que los residuos afecten la transferencia de masa y el consumo de cianuro. Un rango operativo típico pasante el porcentaje de malla 200 es del 60 al 80 %, según la composición mineralógica (Adams, 2016; Bartlett, 2013; Marsden & Housen, 2006).

Densidad de pulpa: La relación sólido-líquido, la viscosidad y el oxígeno disuelto, al aumentar el porcentaje de sólidos (35-50 % p/p, típico de proceso CIL/CIP), aumenta la viscosidad y disminuye la solubilidad y la transferencia de oxígeno, lo que desacelera la reacción de Elsner y puede reducir la extracción si no se compensa con aireación, oxigenación y potencia de agitación. Existe un porcentaje óptimo de sólidos que maximiza la cinética y la economía del cianuro (Marsden & Housen, 2006).

El efecto de la recuperación final es que las densidades muy bajas diluyen el oro disuelto y disminuyen la capacidad, mientras que las muy altas generan una limitación difusional y un pre-robbing en menas con materia carbonosa. Controlar el pH (10-11), el CN⁻ libre (200-500 mg/L) y el O₂ (8-12 mg/L en solución) ayuda a conservar la cinética (Aylmore, 2005; Marsden & Housen, 2006).

Flujo de alimentación a planta. El tiempo de residencia y la estabilidad están relacionados con el caudal de alimentación (Q), que determina el tiempo de residencia $t = V/Q$ en series, el aumento de Q sin aumentar el volumen efectivo (V) reduce el t(tiempo), disminuye la eficiencia de recuperación y aumenta la variabilidad del tenor en la solución y la carga de carbón. El diseño con N tanques en serie y un buen mezclado atenúa los cortocircuitos (Adams, 2016; Mirasi, 1993).

La homogeneidad de la pulpa y el control de las variaciones de Q modifican el % de sólidos, el CN⁻ libre y el O₂, lo que afecta a la cinética en minutos. Las tolvas/mineral, el control de dosificación (CN⁻, cal, aire/O₂) y una temperatura de reacción favorable (RTD) contribuyen a mantener la estabilidad del proceso y la recuperación metalúrgica (La Brooy et al., 1994; Mirasi, 1993).

2.2.5. Fundamento para el análisis estadístico y diseño no experimental (ANOVA/DoE)

En operación industrial, la ausencia de aleatorización estricta obliga a tratar el estudio como cuasi-experimental: se usan bloques temporales (turno, día) y covariables (pH, CN⁻ libre) para controlar confusión, y modelos mixtos (efectos fijos para variables de proceso; aleatorios para lotes/tanques) con ANOVA/GLM. Los contrastes de efectos y las superficies de respuesta permiten cuantificar sensibilidad y buscar óptimos dentro de restricciones operativas (ventanas seguras de % sólidos, OD, CN⁻) (Kutner et al., 2005; Montgomery, 2017).

Efectos principales e interacciones de interés

Ley × Finos (-200 mallas): Modelo RSM $Y = \beta_0 + \beta_1 X_{ley} + \beta_2 X_{fino} + \beta_{12} X_{ley} X_{fino} + \beta_{11} X_{ley}^2 + \beta_{22} X_{fino}^2 + \varepsilon$, Un $\beta_{12} > 0$ sugiere sinergia (la molienda fina potencia el efecto de la ley sobre la cinética y la CAu,sol); un $\beta_{12} < 0$ indica antagonismo por slimes o difusión (Box & Draper, 2007; Montgomery, 2017).

Densidad × OD (oxígeno disuelto): La densidad eleva viscosidad y baja kLa; el término de interacción revela si mayor OD compensa la penalización difusional a % sólidos altos. Útil en CIL/CIP para fijar % sólidos y estrategia de aire/O₂ (Montgomery, 2017; Myers et al., 2016).

Flujo × Tiempo de residencia: $t=V/Q$. Incrementos de Q reducen t y pueden exigir mayor etapa N-en-serie. La interacción refleja si variaciones de Q afectan más donde t ya es límite (Box & Draper, 2007; Montgomery, 2017).

Control de parámetros

- **Límites de especificación (LSL/USL):** Los fija ingeniería o la “ventana operativa” (p. ej., % sólidos 35–45). Son requisitos.
- **Límites de control (LCL/UCL):** Los calcula la estadística del proceso (variabilidad natural). Sirven para detectar causas especiales.
- **Capacidad del proceso:** Con $\sigma = \frac{MR}{d_2}$ (XmR), $C_p = \frac{(USL-LSL)}{6\sigma}$ y $C_{pk} = \frac{\min\{(USL-\bar{X}),(\bar{X}-LSL)\}}{3\sigma}$

Figura 2

Carta control de individuos XmR

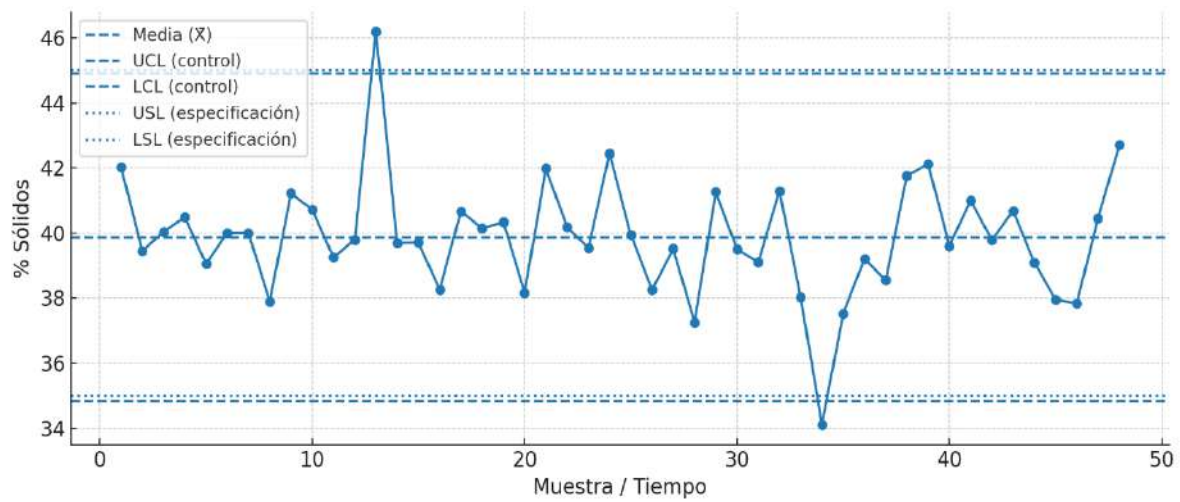
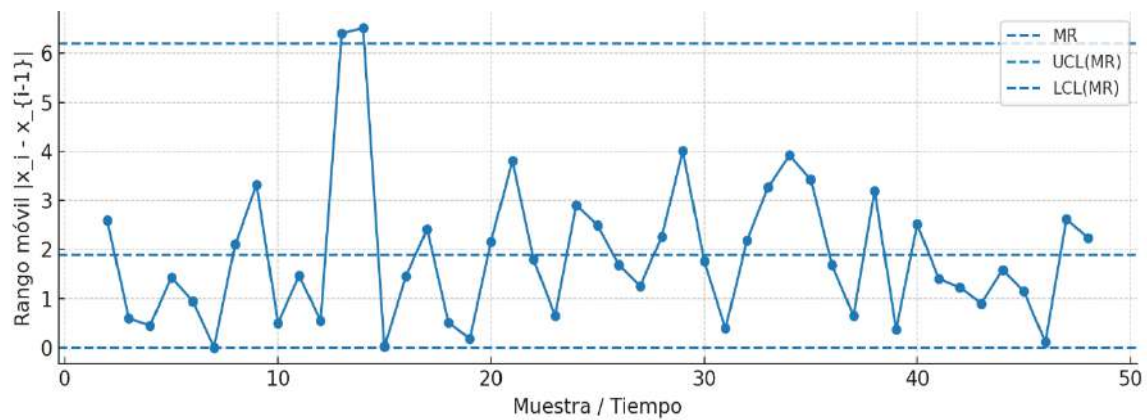


Figura 3

Carta de rangos móviles MR



2.3. Bases filosóficas.

La investigación titulada “Proceso de Cianuración de Minerales y su Incidencia en la Extracción de Oro en la Empresa Gold Metals SAC-2025” se enmarca en una problemática compleja que combina aspectos técnicos, ambientales y sociales. En términos filosóficos, esta investigación busca abordar la dualidad entre la necesidad de extraer recursos naturales y la responsabilidad de cuidar el entorno. El proceso de cianuración, empleado por más de un siglo en la industria aurífera por su alta eficiencia, se enfrenta a críticas debido a los impactos negativos que sus subproductos ejercen sobre el medioambiente y la salud (Garza et al., 2021; López-Solis et al., 2020).

Desde una perspectiva filosófica de la sostenibilidad, es imperativo evaluar no solo la eficiencia del proceso de extracción, sino también su huella ecológica. La cianuración genera lixiviados tóxicos que, si no son adecuadamente gestionados, pueden llevar a la contaminación de ecosistemas acuáticos y suelos (Garza et al., 2021). Por tal motivo, diferentes investigaciones han explorado alternativas de tratamiento, como la biodegradación del cianuro utilizando microorganismos específicos, lo que refleja un cambio de enfoque hacia soluciones más amigables con el medio ambiente (Castillo & Carpio, 2022).

Además, en el contexto social, la minería, y particularmente la extracción de oro, es un pilar de la economía en muchas regiones, proporcionando ingresos y empleo. Sin embargo, esta actividad también trae consigo complejidades que involucran la salud mental y el bienestar de los trabajadores, quienes enfrentan riesgos psicosociales asociados a las condiciones laborales en la minería (Gamero, 2022). La investigación hace énfasis en la necesidad de equilibrar estos factores, asegurando que la extracción de recursos no se produzca a gastos del bienestar humano y la preservación del entorno (Fuentes López et al., 2021; Yandún et al., 2021).

La integridad del proceso de cianuración y sus productos finales debe ser vista a través de una lente crítica que contemple sus beneficios económicos y su potencial destructivo. A medida que se desarrollen estrategias más sostenibles y responsables en la minería, es esencial observar sus efectos en la comunidad y el medioambiente, fomentando la implementación de tecnologías alternativas para mitigar los impactos negativos (Galvan et al., 2023; Valarezo et al., 2024).

La investigación sobre la extracción de oro de minerales mediante cianuro se enriquece con conexiones entre la química, la ecología y la sociología. No se trata solo de mejorar los procesos industriales para hacerlos más eficientes, sino también de asumir un verdadero compromiso para minimizar el daño medioambiental y fortalecer comunidades más resistentes. Por eso, al generar nuevo conocimiento, no podemos limitarnos a lo puramente técnico, sino que debemos incluir siempre la ética en la forma en que se aplica en la práctica.

2.4. Definiciones conceptuales

- a. **Análisis granulométrico:** Determinación de la distribución de tamaños de partícula del mineral. Es fundamental para evaluar cómo la finura del material afecta la liberación del oro y su exposición al cianuro (Wills & Napier-Munn, 2006).
- b. **Cianuración de minerales:** Proceso hidrometalúrgico que utiliza cianuro para disolver selectivamente el oro de los minerales. Es una técnica fundamental en la minería aurífera, impactando directamente la eficiencia de recuperación del metal precioso (Mirasi, 1993).
- c. **Eficiencia de Extracción:** Representa el porcentaje de oro recuperado respecto al total presente en el mineral. Este parámetro es directamente influenciado por las condiciones de la cianuración, y su optimización es clave para la rentabilidad (Marsden & Housen, 2006).

- d. **Extracción de Oro:** Proceso que busca separar el oro de su mena. La eficacia de la cianuración es vital para maximizar la cantidad de oro recuperado, siendo un indicador crucial de la productividad minera(Yannopoulos, 2012).
- e. **Flujo de Mineral Alimentado:** Cantidad de mineral que ingresa a la planta de procesamiento en un período determinado. Un flujo óptimo es crucial para el tiempo de residencia y la recuperación eficiente del oro(Wills & Finch, 2016).
- f. **Impacto Ambiental de la Cianuración:** Consecuencias del uso de cianuro en el ecosistema, incluyendo la gestión de residuos y la neutralización del reactivo. Es una consideración importante en la sostenibilidad de la minería(Garza et al., 2021).
- g. **Ley de Cabeza del Mineral:** Concentración inicial de oro en el mineral antes de someterlo a cianuración. Este valor es un factor determinante en la cantidad de oro disponible para su lixiviación(Azañero et al., 2009).
- h. **Ley de Oro en Solución (Au g/m³):** Concentración de oro disuelto en la solución de cianuro. Este parámetro cuantifica directamente la efectividad del proceso de cianuración en la disolución del oro(Gonzales & Bravo, 2021).
- i. **Metalurgia Extractiva:** Rama de la metalurgia enfocada en la obtención de metales a partir de sus minerales. La cianuración es un proceso central dentro de esta disciplina para la extracción de metales preciosos(Mariluz, 2018).
- j. **Optimización de Procesos:** Aplicación de estrategias para mejorar la eficiencia y rentabilidad de la cianuración. Busca maximizar la recuperación de oro minimizando costos y consumos de reactivos(Yannopoulos, 2012).

- k. **Parámetros de Cianuración:** Variables operativas como pH, concentración de cianuro y tiempo de contacto. El control y la optimización de estos parámetros son cruciales para maximizar la disolución y la recuperación de oro (Yannopoulos, 2012).
- l. **Porcentaje de Partículas Finas (-200 mallas):** Proporción de mineral con un tamaño de partícula inferior a 200 mallas. Un porcentaje elevado puede afectar la cinética de disolución y la posterior separación del oro (Valarezo et al., 2024).
- m. **Recuperación de Oro:** Porcentaje de oro extraído del mineral procesado. Es el indicador final de la efectividad del proceso de cianuración y un objetivo fundamental en la industria minera (Tancayllo, 2018).

2.5. Hipótesis de la investigación

2.5.1. Hipótesis general

El proceso de cianuración de minerales incide significativamente en la eficiencia de extracción de oro en la Empresa Gold Metals SAC durante el año 2025.

2.5.2. Hipótesis específicas

La ley de cabeza del mineral y el porcentaje de partículas finas (-200 mallas) influyen de manera directa en la ley de oro en la solución (Au g/m^3) durante el proceso de cianuración en la Empresa Gold Metals SAC-2025.

La densidad de pulpa incide de forma significativa en la recuperación de oro durante el proceso de cianuración en la Empresa Gold Metals SAC-2025.

El flujo de mineral alimentado a la planta afecta directamente la recuperación de oro en el proceso de cianuración en la Empresa Gold Metals SAC-2025.

2.6. Operacionalización de las variables.

La operación de estudio sobre “*Proceso de cianuración de minerales y su incidencia en la extracción de oro en la Empresa Gold Metals SAC-2025*”, se describe en la tabla 1.

Tabla 2

Operacionalización de las variables e indicadores

Variable	Concepto	Dimensiones	Indicador
Independiente			
Cianuración	Cianuración por agitación es la lixiviación alcalina de oro en tanques agitados con cianuro y oxígeno, controlando pH, granulometría y tiempo; favorece la cinética, elevando extracción y permitiendo CIP/CIL industriales (Marsden & Housen, 2006).	- Condiciones	- Ley de cabeza - %-200m - Densidad de pulpa - Flujo de mineral
Dependiente			
Extracción	La cianuración extrae oro de minerales de baja ley al disolverlo como complejo soluble $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$ en solución alcalina con cianuro y oxígeno (Bartlett, 2013).	- Eficiencia	- Recuperación
Intervinientes			
Operación	Proceso metalúrgico en el cual el mineral pasa por un conjunto de operaciones para ser liberado ser sometida a un medio alcalina, donde reacciona con cianuro y oxígeno para disolver el oro como, facilitando su recuperación(Mirasi, 1993)	- Condiciones de cianuración	- pH - Fuerza de cianuro - Aireación - Mineralogía - Tiempo - Agitación

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. Diseño metodológico.

3.1.1. Tipo de investigación.

La investigación es de tipo aplicada, ya que se propondrá y evaluará la modificación de variables operativas del proceso de cianuración en escenarios reales de la planta, con el fin de medir su incidencia causal en la eficiencia de extracción de oro y generar conocimiento útil para mejorar la eficiencia del proceso de cianuración en Gold Metals SAC-2025, sin manipular variables. Se analizan datos operativos históricos a lo largo del tiempo para determinar cómo factores como la ley de cabeza, granulometría, densidad de pulpa y flujo de alimentación inciden en la recuperación de oro, aportando evidencia para la toma de decisiones técnicas y productivas en la empresa(Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018).

3.1.2. Nivel de investigación.

El estudio tiene un enfoque explicativo, ya que busca identificar las relaciones causales entre las variables del proceso de cianuración como la ley de cabeza, la granulometría, la densidad de pulpa y el flujo de alimentación y la eficiencia en la extracción de oro en Gold Metals SAC-2025. A través del análisis de datos longitudinales, se explican los factores que influyen directamente en la recuperación metalúrgica, lo que permite comprender por qué se producen ciertas variaciones y sentar las bases para la optimización del proceso productivo(Bernal, 2006).

3.1.3. Diseño de la investigación.

El diseño de esta investigación es no experimental y longitudinal, ya que se analizan datos operativos reales registrados por Gold Metals SAC-2025 a lo largo del tiempo, sin manipular las variables. Se observa el comportamiento del proceso de cianuración a lo largo de un período

determinado para determinar cómo factores como la ley de cabeza, la granulometría, la densidad de la pulpa y el flujo de alimentación inciden en la recuperación del oro, estableciendo relaciones temporales y tendencias que explican su impacto en la eficiencia del proceso (Balluerka & Vergara, 2002).

3.1.4. Enfoque de la investigación.

El enfoque de la investigación es cuantitativo, dado que el estudio se basa en la medición y el análisis estadístico de variables numéricas relacionadas con el proceso de cianuración, como la ley de cabeza, la granulometría, la densidad de pulpa, el flujo de alimentación y la recuperación de oro. A partir de datos reales de operación, se establecen relaciones numéricas y tendencias que permiten evaluar con precisión la incidencia de estos factores en la eficiencia de la extracción de oro en Gold Metals SAC-2025 (Ñaupas et al., 2019).

3.2. Población y muestra.

3.2.1. Población de la investigación.

La población de estudio estará conformada por la totalidad de datos operativos y variables del proceso de cianuración en la planta de Gold Metals SAC durante el 2025. Esto incluye registros diarios de ley de cabeza del mineral, distribución granulométrica (-200 mallas), densidad de pulpa, flujos de alimentación, concentraciones de cianuro, tiempos de retención y las respectivas eficiencias de extracción de oro obtenidas en cada batch o turno de producción.

Esta población comprenderá tanto datos continuos provenientes de sensores y instrumentos en línea, como muestreos discretos y resultados de laboratorio. Se considerará toda la información generada en los circuitos de lixiviación, desde la preparación del mineral hasta la recuperación del oro, asegurando una representación integral del proceso productivo para el análisis estadístico y la validación de los objetivos específicos planteados.

3.2.2. Muestra de la investigación.

La muestra para este estudio se recolectará bajo un protocolo de muestreo sistemático durante las 12 horas de cada guardia operativa. Cada 2 horas, se tomarán 1 kg de mineral de cabeza y 2 litros de pulpa en cada punto del circuito de lixiviación. Las muestras de pulpa se filtrarán y se secarán en estufa a 105°C hasta obtener peso constante para eliminar toda humedad, asegurando la precisión en el análisis granulométrico posterior. Este análisis se realizará mediante tamizado con mallas estándar ASTM, con especial atención al porcentaje de partículas finas (-200 mallas). Adicionalmente, cada 2 horas se recolectarán muestras de relaves para determinar la ley residual de oro mediante ensayos al fuego, del mismo modo se obtendrán solución en cada punto para analizar el oro. Todas las muestras individuales de cada turno se homogenizarán y combinarán para formar una muestra compuesta representativa de la guardia, la cual será analizada en laboratorio para obtener datos químico-metalúrgicos confiables. Este método permitirá capturar la variabilidad natural del proceso y establecer correlaciones estadísticas sólidas entre las variables operativas (ley de cabeza, granulometría, densidad de pulpa) y la eficiencia de extracción de oro, cumpliendo con los objetivos específicos planteados.

3.3. Técnicas de recolección de datos.

3.3.1. Técnica de recolección de datos empleado en el estudio.

La técnica empleada será la observación científica directa y estructurada. Se utilizarán instrumentos como fichas de registro y equipos de medición (análisis químicos, granulometría, densímetros, caudalímetros) para recoger datos de las variables operativas (ley de cabeza, densidad de pulpa, flujo de alimentación) en tiempo real. Esta observación será sistemática y cuantitativa, focalizándose en los parámetros específicos del proceso de cianuración para su posterior análisis (Yuni & Ariel, 2006).

3.3.2. Descripción de los instrumentos de recolección datos.

Los instrumentos de recolección de datos incluyen fichas de registro estandarizadas para variables operativas, equipos de análisis químico (ensayos al fuego/AA) para determinar leyes de oro, muestreadores automáticos de pulpa, densímetros en línea, caudalímetros, y equipos de análisis granulométrico (mallas -200). Estos instrumentos permitirán la medición precisa y sistemática de los parámetros críticos del proceso de cianuración definidos en los objetivos específicos (Gómez, 2006; Ñaupas et al., 2019). Como complemento, se utilizarán grabaciones de video para documentar procedimientos de muestreo y audios de entrevistas con operadores para registrar observaciones cualitativas del proceso (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018; Ibáñez, 2013).

Tabla 3

Variables operativas y medición (para trazabilidad en planta)

Variable	Definición operativa	Unidad	Método/Equipo	Frecuencia
Ley de cabeza	Au total en alimentación	g/t	Fire assay/AA	Por lote/turno
% -200 mallas	Finos pasantes 75 μm	%	Análisis granulométrico	Diario
Densidad de pulpa	% sólidos en masa	%	Balanza/picnómetro	Cada tanque/turno
Flujo de mineral	Tasa de alimentación	t/h	Balanza/SCADA	Continuo
Au en solución	Au disuelto en pulpa	$\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	AAS/ICP	Por etapa
Extracción de Au	(Cabeza-Colas)/Cabeza	%	Balance metalúrgico	Diario

3.4. Técnicas para el procesamiento de la información.

La técnica para el procesamiento de datos fueron cuantitativa, mediante análisis estadístico descriptivo e inferencial. Los datos recopilados de las variables (ley de cabeza, granulometría, densidad de pulpa, flujo y recuperación) se organizarán en matrices y se procesarán con software especializado acceso libre (Minitab, jamovi, Jasp). Se aplicarán pruebas de correlación (Pearson/Spearman) y regresión múltiple para modelar la incidencia de los factores operativos en la eficiencia de extracción de oro(Méndez, 2025; Vargas, 1995).

Adicionalmente, se realizará análisis de tendencias temporales para identificar patrones en los parámetros del proceso. Los resultados se validarán mediante contrastación con estándares industriales y literatura técnica. La interpretación integral permitirá establecer relaciones causales y generar conclusiones confiables sobre la optimización del proceso de cianuración en la empresa, cumpliendo con los objetivos específicos planteados(Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018).

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. Análisis de resultados

4.1.1. Datos para el procesamiento

Durante la recopilación de datos en planta la información requerido flujo de alimentación en t/d, densidad de pulpa, %-200m y la ley de de oro en el mineral que ingresa a procesos se obtuvo durante 2 meses.

Tabla 4
Datos recopilado en plata y laboratorio

t/h	t/h (TMH)	Humedad (%)	t/h (TMS)	t/d Mineral	Densidad pulpa OF g/L	%S	%- 200m	Total g/t Au
0.811	9.73	3.29	9.41	225.76	1325	38.96	83.00	17.649
0.869	10.43	5.10	9.90	237.52	1328	39.25	84.00	20.465
0.879	10.55	4.90	10.04	240.87	1320	38.50	84.00	9.132
0.886	10.63	3.95	10.21	245.08	1334	39.77	86.00	6.085
0.867	10.41	4.13	9.98	239.41	1341	40.39	86.00	13.713
0.904	10.85	3.95	10.42	250.11	1328	39.23	85.00	10.602
0.917	11.01	4.40	10.52	252.52	1348	41.00	86.00	9.635
0.933	11.19	5.14	10.62	254.82	1320	38.50	85.00	10.839
0.933	11.19	4.20	10.72	257.35	1327	39.14	87.40	13.192
0.925	11.10	5.00	10.54	253.07	1295	36.18	84.00	8.190
0.938	11.26	3.30	10.88	261.22	1322	38.68	88.00	8.833
0.934	11.21	5.20	10.63	255.02	1313	37.86	84.20	10.460
0.964	11.57	3.30	11.19	268.46	1324	38.87	88.00	9.812
0.997	11.97	4.59	11.42	273.98	1332	39.59	86.00	16.307
0.972	11.66	4.70	11.11	266.71	1321	38.59	87.70	10.471
0.974	11.68	5.20	11.08	265.84	1320	38.50	88.20	13.253
0.969	11.62	3.60	11.20	268.89	1333	39.68	87.30	32.586
0.991	11.90	3.50	11.48	275.49	1334	39.77	87.00	16.756
0.980	11.75	5.00	11.17	268.00	1338	40.12	88.10	32.285
0.991	11.90	4.60	11.35	272.35	1338	40.08	86.80	18.380

La información de la Tabla 4 muestra 20 registros de operación y laboratorio donde el flujo horario varía entre 0,811 y 0,997 t/h (equivalente a 9,73 y 11,97 TMH/h) con humedad del 3,29 al 5,20 %, resultando en 9,41 y 11,42 TMS/h y un tratamiento diario de 225,76 y 275,49 t/d. La pulpa

en OF presenta densidades de 1295-1348 g/L, con un % de sólidos de 36,18-41,00 % y una finura de molienda de entre el 83,0 y el 88,2 % -200 m. La ley total de oro en cabeza fluctúa ampliamente de 6.085 a 32.586 g/t, lo que evidencia una variabilidad significativa del mineral alimentado bajo condiciones de operación relativamente estables.

Tabla 5

Leyes de oro en sólidos y líquido en la solución rica y relave

Solución Au (g/m³)	Rel. Solido (Au onz/tc)	Rel. Solido (Au g/t)	Rel. Soluc. (Au g/m³)	Rel. Solido (Au g/d)	Rel. Soluc. (Au g/d)
10.93	0.015	0.5142	0.012	116.09	4.25
11.98	0.056	1.9198	0.035	455.98	12.86
5.36	0.017	0.5759	0.067	138.72	25.78
2.89	0.050	1.7141	0.012	420.07	4.45
8.85	0.019	0.6513	0.024	155.94	8.48
5.98	0.039	1.3370	0.019	334.39	7.36
6.17	0.022	0.7542	0.006	190.45	2.18
5.82	0.045	1.5427	0.039	393.11	15.87
6.81	0.076	2.6054	0.032	670.49	12.81
3.69	0.049	1.6798	0.063	425.10	28.12
4.71	0.040	1.3713	0.043	358.19	17.80
5.69	0.033	1.1176	0.024	285.00	10.05
4.28	0.09	3.0853	0.062	828.27	26.18
9.88	0.036	1.2341	0.024	338.13	10.04
4.32	0.105	3.5995	0.0014	960.03	0.59
7.98	0.015	0.5142	0.066	136.70	28.02
19.72	0.076	2.6054	0.037	700.55	15.13
10.20	0.038	1.3027	0.012	358.88	5.01
20.09	0.067	2.2968	0.076	615.57	30.40
11.49	0.035	1.1998	0.026	326.78	10.59

La relación entre el Au en solución rica y las pérdidas de oro en relave tanto en sólidos como en líquido es mostrada por la Tabla 5 para 20 condiciones. La ley de Au en solución rica oscila entre 2,89 y 20,09 g/m³. En el relave, el oro en estado sólido fluctúa entre 0,5142 y 3,5995 gramos por tonelada (0,015 y 0,105 onzas troy), lo que resulta en pérdidas diarias de entre 116,09 y 960,03 gramos por día. Por otro lado, el oro presente en el líquido del relave es mucho menor, con un rango de 0,0014 a 0,076 gramos por metro cúbico, lo que lleva a pérdidas de entre 0,59 y

30,40 gramos por día. En conjunto, la tabla evidencia que la mayor parte de la pérdida de oro ocurre en el relave sólido y que los aumentos en la ley rica no siempre reducen dichas pérdidas, lo que indica oportunidades de mejora en la recuperación de finos y/o en el lavado y el espesamiento.

4.1.2. Resultados

Tabla 6

Ley solución y recuperación de oro en relación ley de cabeza, flujo, densidad de pulpa y %-200m

t/d	Ley (Au g/t)	Densidad pulpa (g/cm ³)	%-200m	Solución Ley (g/m ³)	% Recup. Au
225.76	17.65	1.325	83.00	10.93	97.09
237.52	20.47	1.328	84.00	11.98	90.62
240.87	9.13	1.320	84.00	5.36	93.69
245.08	6.08	1.334	86.00	2.89	71.83
239.41	13.71	1.341	86.00	8.85	95.25
250.11	10.60	1.328	85.00	5.98	87.39
252.52	9.63	1.348	86.00	6.17	92.17
254.82	10.84	1.320	85.00	5.82	85.77
257.35	13.19	1.327	87.40	6.81	80.25
253.07	8.19	1.295	84.00	3.69	79.49
261.22	8.83	1.322	88.00	4.71	84.48
255.02	10.46	1.313	84.20	5.69	89.32
268.46	9.81	1.324	88.00	4.28	68.56
273.98	16.31	1.332	86.00	9.88	92.43
266.71	10.47	1.321	87.70	4.32	65.62
265.84	13.25	1.320	88.20	7.98	96.12
268.89	32.59	1.333	87.30	19.72	92.00
275.49	16.76	1.334	87.00	10.20	92.23
268.00	32.28	1.338	88.10	20.09	92.89
272.35	18.38	1.338	86.80	11.49	93.47

De acuerdo la Tabla 4 para una muestra 20 registros en los que se establecen relaciones entre la ley de cabeza de Au, el flujo de tratamiento (t/d), la densidad de pulpa y el % pasante -200 mallas con la ley de oro en solución (g/m³) y la recuperación de Au (%). El flujo varía entre 225,76 y 275,49 t/d, con leyes de cabeza que van desde 6,08 hasta 32,59 g/t. La densidad de pulpa se mantiene en un rango estrecho (1,295-1,348 g/cm³) y la finura de molienda fluctúa entre el 83,0 y

el 88,2 % -200 m. Como respuesta metalúrgica, la ley de Au en solución oscila entre 2,89 y 20,09 g/m³, mientras que la recuperación alcanza valores entre 65,62 y 97,09 %.

En lo que respecta al comportamiento, se observa que la ley de solución aumenta de manera consistente cuando la ley de cabeza es mayor (por ejemplo, leyes de cabeza de 32 g/t generan leyes en solución de 19,7 a 20,1 g/m³). La recuperación muestra una variación más amplia: los valores más altos (95-97 %) se asocian, en general, con leyes de solución relativamente elevadas (8-11,5 g/m³) y condiciones operativas dentro de los rangos típicos de densidad (1,32-1,34 g/cm³). Por otro lado, las recuperaciones más bajas (65,6-71,8 %) se dan junto con leyes de solución bajas (2,9-4,3 g/m³) y, en varios casos, con un %-200 m alto (87,7-88,0 %) y flujos cercanos a 266-268 t/d, lo que sugiere una disminución del rendimiento bajo esas combinaciones operativas.

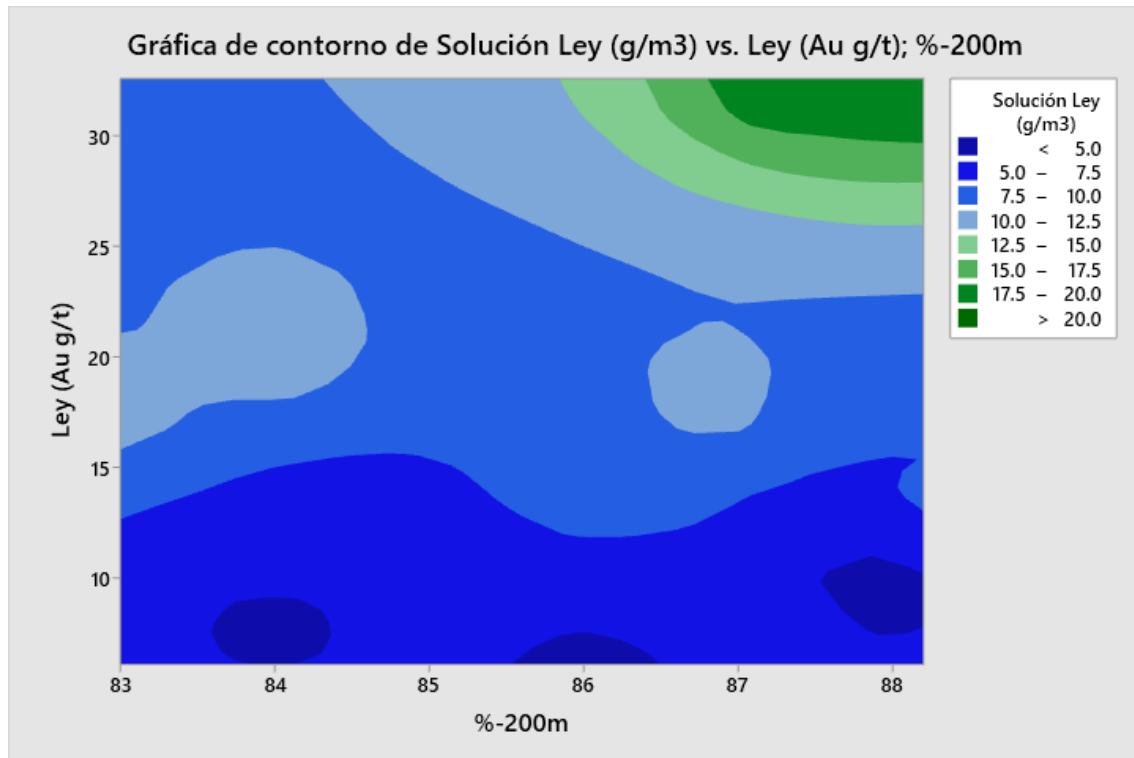
Tabla 7
Descripción de la parámetros de las variables de estudio

	t/d	Ley (Au g/t)	Densidad pulpa (g/cm ³)	%-200m	Solución Ley (g/m ³)	% Recup. Au
N	20	20	20	20	20	20
Perdidos	0	0	0	0	0	0
Media	257	14.4	1.33	86.1	8.34	87
Mediana	256	12	1.33	86	6.49	91.3
Desviación estándar	13.8	7.23	0.0114	1.65	4.79	9.29
Mínimo	226	6.08	1.29	83	2.89	65.6
Máximo	275	32.6	1.35	88.2	20.1	97.1

Los parámetros estadísticos de seis variables (n=20) sin datos perdidos son resumidos por la Tabla 7. El tratamiento promedio fue de 257 t/d (DE 13,8; 226-275) y la ley de cabeza fue de 14,4 g/t (DE 7,23; 6,08-32,6). La densidad de pulpa se mantuvo estable en 1,33 g/cm³ (DE 0,0114; 1,29–1,35) y el %-200m promedió un 86,1 % (DE 1,65; 83–88,2). La media de la concentración de la ley fue de 8,34 g/m³ (DE: 4,79; 2,89-20,1) y la tasa de recuperación fue del 87 % (DE: 9,29; 65,6-97,1). Las medianas sugieren una recuperación del 91,3 % y una ley en solución de 6,49 g/m³.

Figura 4

Ley de solución en relación de la ley de cabeza y %-200m



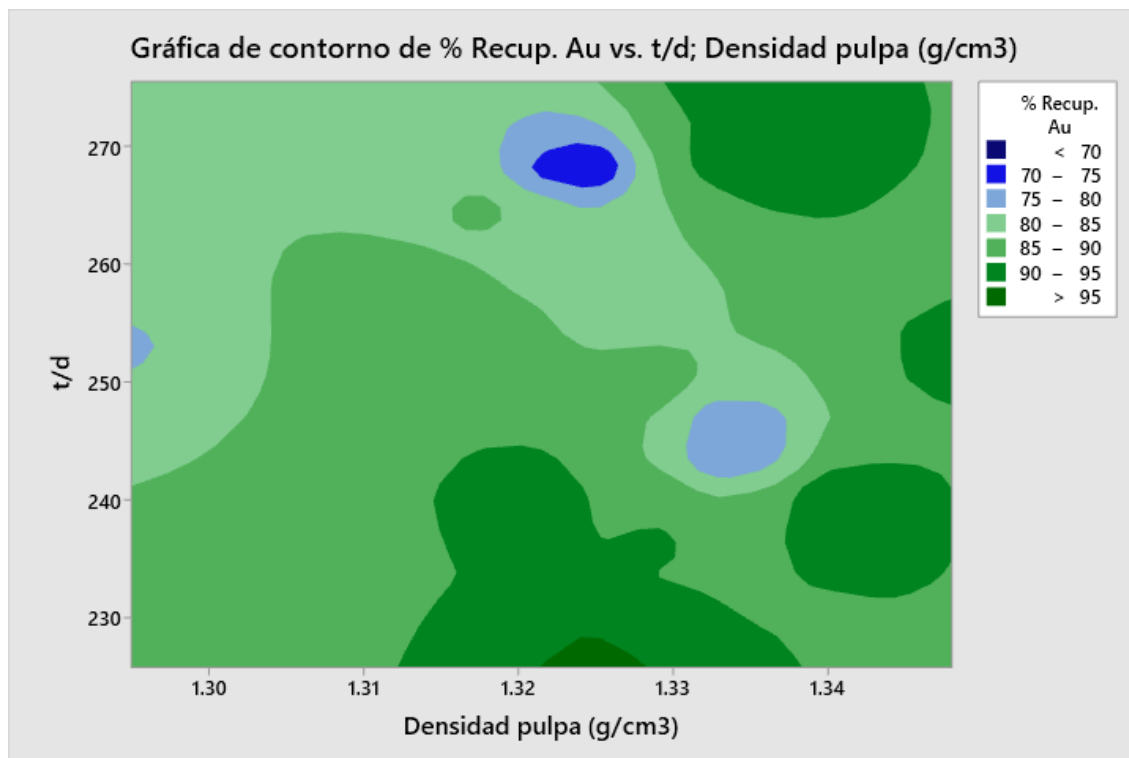
Según la figura 4, se trata de una gráfica de contorno en la que el eje X representa el porcentaje pasante de 200 mallas (aproximadamente del 83 % al 88 %), el eje Y la ley de cabeza de Au (g/t) (alrededor de 6 a 33 g/t) y los colores indican la ley de Au en solución (g/m³) (de azules, baja, a verdes, alta, con niveles desde menos de 5 hasta más de 20 g/m³).

La tendencia dominante que se observa es la siguiente: la ley de solución aumenta principalmente con la ley de cabeza. Para concentraciones bajas de Au (<15 g/t), predomina la zona azul (<7.5–10 g/m³), prácticamente independiente de que el -200 m esté entre 83 y 88 %. En cambio, para leyes altas de cabeza (>28-30 g/t), aparece una región verde intensa en la esquina superior derecha (87-88 % -200 m), donde la ley de solución alcanza sus valores máximos (17,5-20 g/m³). En el rango intermedio (18–25 g/t), se observan «islas» de valores moderados (10–12,5 g/m³) cerca de 83–84 % -200 m y en torno a 87 % -200 m, mientras que el resto del campo se

mantiene principalmente en niveles medios-bajos (7,5–10 g/m³). El aumento de la finura (-200 m) muestra un efecto más marcado cuando la ley de cabeza es alta, potenciando la ley en la solución.

Figura 5

Recuperación de oro en relación flujo de mineral y la densidad de pulpa



La descripción de la figura 5 muestra una gráfica de contorno en la que se puede observar que el eje X es la densidad de pulpa (g/cm³) (1,29–1,35) y el eje Y es el tratamiento (t/d) (225–275 t/d). La recuperación de Au, expresada en porcentaje, se representa gráficamente en una escala de colores, donde los tonos azules indican recuperaciones bajas (inferiores al 70-80 %), mientras que los verdes señalan recuperaciones altas (equivalentes al 85 % o superior).

La mayor parte de las condiciones operativas evaluadas muestran una recuperación alta ($\approx$ 85-95%) en el mapa, que está dominado por zonas verdes. No obstante, se observan «bolsas» de baja recuperación. La más notable se encuentra alrededor de t/d $\approx$ 268–270 con una densidad de $\approx$ 1,32–1,33 g/cm³, donde la recuperación desciende a niveles inferiores al 75–80 % (azul).

Asimismo, se aprecia otra depresión de intensidad moderada en las proximidades de $t/d \approx 243-247$ y densidad $\approx 1.33-1.34$, con recuperaciones que oscilan entre el 75–80 % (celeste).

Las respuestas más destacadas (verde más intenso, >95 %) se agrupan principalmente en dos sectores: el flujo de carga t/d bajas (230-240) con densidades cercanas a 1,32-1,33, y carga t/d altas (270-275) cuando la densidad se incrementa hasta 1,34-1,35 g/cm³. Según la figura, se sugiere que existe una combinación crítica de densidad intermedia y alta carga (alrededor de 268–270 t/d) asociada a pérdidas de recuperación, mientras que operar fuera de esa zona favorece recuperaciones elevadas.

4.2. Contrastación de hipótesis

4.2.1. Contrastación de hipótesis general

Ha: El proceso de cianuración de minerales incide significativamente en la eficiencia de extracción de oro en la Empresa Gold Metals SAC durante el año 2025.

Ho: El proceso de cianuración de minerales **no** incide significativamente en la eficiencia de extracción de oro en la Empresa Gold Metals SAC durante el año 2025.

Tabla 8

Contrastación del proceso de cianuración en la eficiencia de extracción

	SC	gl	MC	F	p
t/d	0.0184	1	0.0184	0.0661	0.801
Ley (Au g/t)	326.3232	1	326.3232	1174.3169	<.001
Densidad pulpa (g/cm ³)	2.6169	1	2.6169	9.4174	0.008
%-200m	0.694	1	0.694	2.4975	0.135
Residuos	4.1683	15	0.2779		

Según la tabla 8 (ANOVA), se acepta de manera parcial la hipótesis alternativa Ha («el proceso de cianuración incide significativamente en la eficiencia de extracción de oro en Gold Metals SAC, 2025»). Esto se debe a que la ley de cabeza (Au g/t) tiene un efecto altamente significativo sobre la eficiencia ($F = 1174,3169$; $p < 0,001$) y la densidad de pulpa también influye de forma significativa ($F = 9,4174$; $p = 0,008$). En cambio, el tratamiento (t/d) ($p = 0,801$) y el %-200 m ($p = 0,135$) no muestran una influencia significativa al 5 %. Por tanto, se concluye que la eficiencia de extracción sí se ve afectada de forma significativa por variables clave del proceso, principalmente por la ley de alimentación y la densidad de pulpa, lo que confirma la hipótesis alternativa en esos factores.

4.2.2. Contrastación de hipótesis específico

Ha: La ley de cabeza del mineral y el porcentaje de partículas finas (-200 mallas) influyen de manera directa en la ley de oro en la solución (Au g/m³) durante el proceso de cianuración en la Empresa Gold Metals SAC-2025.

Ho: La ley de cabeza del mineral y el porcentaje de partículas finas (-200 mallas) **no** influyen de manera directa en la ley de oro en la solución (Au g/m³) durante el proceso de cianuración en la Empresa Gold Metals SAC-2025.

Tabla 9

La ley de oro en la solución en virtud a ley de cabeza y %-200m

	SC	gl	MC	F	p
Ley (Au g/t)	413.175	1	413.175	1013.11	<.001
%-200m	0.505	1	0.505	1.24	0.281
Residuos	6.933	17	0.408		

Según se desprende de lo expuesto en la Tabla 9 (ANOVA), la hipótesis alternativa H_a se acepta parcialmente. La ley de cabeza (Au g/t) influye directamente y de manera significativa en la ley de oro en solución (Au g/m³), como se evidencia en la ecuación $F = 1013.11$ y $p < 0.001$; por tanto, se acepta la hipótesis H para este factor. En cambio, el porcentaje de finos (-200 mallas) no muestra un efecto estadísticamente significativo sobre la ley de solución ($F = 1,24$; $p = 0,281$), por lo que no se acepta la influencia directa de esta variable al 5 % de significancia. la ley de Au en solución está determinada principalmente por la ley de cabeza, mientras que el % de finos (-200 mallas) no presenta una incidencia significativa en el modelo evaluado para Gold Metals SAC-2025.

Ha: La densidad de pulpa incide de forma significativa en la recuperación de oro durante el proceso de cianuración en la Empresa Gold Metals SAC-2025.

Ho: La densidad de pulpa **no** incide de forma significativa en la recuperación de oro durante el proceso de cianuración en la Empresa Gold Metals SAC-2025.

Tabla 10

Análisis de varianza para la recuperación de oro en relación a la densidad de pulpa

	SC	gl	MC	F	p
Densidad pulpa (g/cm ³)	161	1	161.3	1.97	0.178
Residuos	1477	18	82.1		

Según los resultados de la Tabla 10 (ANOVA), la hipótesis alternativa Ha («la densidad de la pulpa incide significativamente en la recuperación del oro») no se acepta con un nivel de significación del 5 %, ya que la densidad de la pulpa presenta un valor de $F = 1,97$ y un valor de $p = 0,178$ ($> 0,05$). Esto sugiere que, para los datos analizados en Gold Metals SAC-2025, no hay suficiente evidencia estadística para afirmar que la variación de la densidad de pulpa cause cambios significativos en la recuperación de oro. Por tanto, en este caso se mantiene la hipótesis nula (H_0), y la recuperación estaría explicada por otros factores operacionales o por la variabilidad del mineral más que por la densidad de la pulpa en el rango analizado.

Ha: El flujo de mineral alimentado a la planta afecta directamente la recuperación de oro en el proceso de cianuración en la Empresa Gold Metals SAC-2025.

Ho: El flujo de mineral alimentado a la planta **no** afecta directamente la recuperación de oro en el proceso de cianuración en la Empresa Gold Metals SAC-2025.

Tabla 11

Análisis de varianza para la recuperación de oro en relación al flujo de mineral t/d

	SC	gl	MC	F	p
t/d	43.2	1	43.2	0.487	0.494
Residuos	1595.5	18	88.6		

Según lo indicado en la Tabla 11 (ANOVA), el flujo de mineral (t/d) no tiene un impacto notable en la recuperación de oro durante el proceso de cianuración, ya que se obtuvo $F = 0.487$ con $p = 0.494$ ($p > 0.05$). Por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se establece que, para

los datos de Gold Metals SAC-2025, las variaciones en el tonelaje tratado dentro del rango evaluado no explican cambios estadísticamente significativos en la recuperación de Au; la variabilidad de la recuperación estaría relacionada con otros factores (calidad del mineral, condiciones químicas y operativas) en lugar de con el t/d.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

5.1. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en Gold Metals SAC (2025) evidencian que la eficiencia de extracción del oro depende principalmente de la variabilidad del mineral alimentado. En el ANOVA global, la ley de cabeza (Au g/t) resultó altamente significativa ($p < 0.001$), lo que explica que, cuando el mineral ingresa con mayor contenido de Au, la ley de Au en solución tiende a incrementarse de forma consistente. Este comportamiento es acorde con la lógica metalúrgica del proceso, ya que el tenor de alimentación define el «potencial» máximo de Au soluble y domina la respuesta del sistema, especialmente cuando las demás variables operativas fluctúan en rangos estrechos.

En un segundo orden de ideas, la densidad de pulpa mostró una significación en la eficiencia global ($p = 0.008$), lo que sugiere que alteraciones en la proporción %sólidos/viscosidad y en el régimen de transporte tienen la capacidad de modificar el contacto sólido-solución, la difusión de cianuro/oxígeno y la cinética de disolución. Sin embargo, cuando la densidad se evaluó de manera aislada frente a la recuperación (tabla 10), no se alcanzó la significancia ($p = 0,178$). Se puede esperar esta aparente discrepancia: la densidad puede influir en la concentración de oro en solución o en la estabilidad del circuito, pero no necesariamente en el porcentaje final recuperado si el sistema trabaja con márgenes operacionales que aún sostienen una disolución suficiente, o si otros factores (mineralogía, oxígeno disuelto, CN libre, tiempo de residencia) controlan el cierre metalúrgico.

En cuanto a la granulometría (-200 mallas), el análisis muestra que no hay un efecto significativo en el modelo de ley de solución ($p = 0.281$) ni en el modelo global ($p = 0.135$). Una

posible explicación es que el rango observado (83-88 % -200 m) es relativamente bajo, lo que indica que el sistema podría estar operando en una zona de molienda «suficiente» para liberar oro cianurable. En este caso, pequeñas variaciones en los finos no generan cambios estadísticos significativos. De manera similar, el flujo t/d no resultó significativo ($p = 0.801$ en el modelo global y $p = 0.494$ frente a recuperación), lo que sugiere estabilidad en la planta o que el rango de capacidad evaluado no alteró de manera relevante la hidrodinámica y el tiempo efectivo de contacto.

Si comparamos los resultados con los datos anteriores, vemos que los estudios suelen decir que las mejoras se notan mucho cuando se cambian las variables químicas o de pretratamiento, más que cuando solo se cambian los parámetros físicos de siempre. Por ejemplo, al añadir acetato de sodio, incrementamos la disolución de oro en minerales de baja ley y mejoramos el rendimiento en condiciones semipiloto, lo que evidencia el papel de los aditivos sobre la química de la lixiviación (Surimbayev et al., 2024). En el caso de concentrados refractarios, el uso de nitrato de plomo y la pre-aeración tuvieron un impacto significativo en las extracciones, al tiempo que redujeron el consumo de cianuro. Esto resalta la importancia del control redox y la presencia de especies interferentes en el proceso (Deveci et al., 2023). Por otra parte, en el caso de los minerales con preg-robbing, el tostado-oxidación aumenta la porosidad y la recuperación hasta alrededor de un 92,6 %, lo que sugiere que la mineralogía y la estructura del sólido pueden ser factores determinantes (Li et al., 2022a). En el ámbito de estudio nacional, los estudios factoriales enfatizan la significancia de cianuro, carbón y tiempo para maximizar la recuperación (≈ 91.45 %), reforzando que la optimización química-operativa puede superar el efecto de variaciones menores de molienda o tonelaje (Paliza & Quispe, 2024b).

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

En Gold Metals SAC-2025, la extracción de oro en cianuración está determinada principalmente por la ley de cabeza y, en menor medida, por la densidad de pulpa. Por otro lado, el flujo (t/d) y el % -200 m no tienen influencia estadísticamente significativa dentro de los rangos evaluados.

La ley de cabeza (Au g/t) tiene un efecto muy significativo sobre la efectividad del proceso y la ley de Au en solución ($p < 0.001$), confirmándose como la variable más importante en el rendimiento metalúrgico.

La densidad de pulpa tiene una influencia significativa en la eficiencia global del proceso ($p = 0.008$), sin embargo, al evaluarse de forma individual frente a la recuperación, su efecto no resulta significativo ($p = 0.178$), lo que indica que su impacto es más operativo/cinético que determinante del porcentaje final recuperado.

El flujo en toneladas por día (t/d) y el porcentaje de finos (-200 m) no tienen un impacto significativo en la eficiencia ni en la recuperación/ley en solución ($p > 0,05$), lo que sugiere que, en los rangos operativos estudiados, el sistema mantiene un rendimiento estable y las variaciones observadas se deben principalmente a la calidad del mineral alimentado.

6.2. Recomendaciones

Poner en práctica un sistema de control integral del proceso de cianuración, enfocado en la gestión de la variabilidad de los minerales y en la estandarización de las condiciones de la pulpa, con el fin de mantener y aumentar la eficiencia de extracción de oro en Gold Metals SAC.

Para reducir las variaciones y estabilizar la ley de Au en solución, se debe controlar la alimentación por frentes/stockpiles y aplicar una mezcla de mineral (blending), además de realizar un muestreo más frecuente (cabeza-solución-relave).

Se debe definir un rango operativo óptimo (punto de ajuste y tolerancia) y controlarlo con instrumentación (densímetro/caudalímetro) y con correcciones por % de sólidos, para así mejorar el contacto entre los sólidos y la solución, así como la cinética, sin afectar al rendimiento global.

Las mejoras se centran en la química y el control del proceso (más sensibles que t/d y -200 m): se debe priorizar el seguimiento y ajuste del CN libre, el pH y el oxígeno disuelto, y también se deben evaluar pruebas a escala de laboratorio o piloto con preaeración o aditivos cuando se detecten pérdidas elevadas en el relave, ya que estas acciones suelen generar impactos mayores que las variaciones menores de tonelaje o granulometría en el rango estudiado.

CAPÍTULO V

REFERENCIAS

6.3. Referencias bibliográficas

Adams, M. (2016). *Gold Ore Processing*. Elsevier Science.

https://www.google.com.pe/books/edition/Gold_Ore_Processing/mN5xCQAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=0

Aylmore, M. (2005). Alternative lixiviants to cyanide for leaching gold ores. *Developments in Mineral Processing*, 15(C), 501–539. [https://doi.org/10.1016/S0167-4528\(05\)15021-2](https://doi.org/10.1016/S0167-4528(05)15021-2)

Azañero, A., Núñez, P., Aramburú, V., León, E., Quiñones, L., Cabrera, M., Puente, L., Díaz, C., Cerrón, J., & Alarcón, J. (2009). *Factores que afectan la selección del proceso metalúrgico para beneficiar minerales complejos de oro*. 12(1561–0888). chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibVirtual/publicaciones/geologia/v12_n24/pdf/a05v12n24.pdf

Balluerka, N., & Vergara, A. (2002). *Diseños de investigación experimental en psicología : modelos y análisis de datos mediante el SPSS 10.0*. Prentice Hall.
https://www.google.com.pe/books/edition/Dise%C3%B1os_de_investigaci%C3%B3n_experimental/F6g6mEqC8CIC?hl=es-419&gbpv=0

Bartlett, Robert. (2013). *Solution Mining leaching and fluid recovery of materials* . Taylor y Francis. https://www.google.com.pe/books/edition/Solution_Mining/mSn-CQAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1

Bernal, C. (2006). *Metodología de la investigación*. Pearson Educación.

https://books.google.com/books/about/Metodolog_a_de_la_investigaci_n.html?hl=es&id=h4X_eFai59oC

Box, G., & Draper, N. (2007). Response Surfaces, Mixtures, and Ridge Analyses: Second Edition. In *Response Surfaces, Mixtures, and Ridge Analyses: Second Edition*. John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/0470072768>

Brañez, A. (2021). *Proceso de cianuración por percolación de minerales auríferos con alteración de sílice alunita para mejorar la productividad del oro en IRL Minera S.A. “Unidad Corihuarmi”* [Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/7582>

Caso, E., & Fernandez, A. (2022). *Estudio de parámetros óptimos para mejorar la recuperación de oro en el proceso de cianuración de la planta nueva bonanza* [Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/8614>

Castillo, D., & Carpio, M. (2022). Biodegradación del cianuro contenido en el lixiviado de un mineral aurífero. *Revista Ciencias Biológicas y Ambientales*, 1(1). <https://doi.org/10.33326/29585309.2022.1.1596>

Choquehuanca, F. (2023). *Optimización del proceso cip para la recuperación de oro en la planta de beneficio SMRL Acumulación los Rosales Localidad Huancasaya Vilque Puno* [Universidad Nacional del Altiplano]. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfindmkaj/https://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/20664/Choquehuanca_Medina_Fiorela_Enma.pdf?isAllowed=y&sequence=1

Deveci, H., Yazıcı, E. Y., Celep, O., Mercimek, M., Demirel, C., Çakmak, S., Cingöz, M. B., Kavlu, Ö. H., & Kömürcü, H. (2023). Effects of lead nitrate and pre-aeration on the deportment of base/precious metals in cyanide leaching of a pyritic refractory gold

concentrate. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 59(5), 166259.

<https://doi.org/10.37190/PPMP/166259>

Fleet, M., & Mumin, H. (1997). Gold-bearing arsenian pyrite and marcasite and arsenopyrite from Carlin Trend gold deposits and laboratory synthesis. In *American Mineralogist* (Vol. 82). chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.minsocam.org/msa/AmMin/toc/Articles_Free/1997/Fleet_p182-193_97.pdf?ref=truecasinogambling.info

Fuentes López, H., Ferriticio Parra, C., & Martínez-González, W. (2021). Mining and Its Impact on Economic Development in Colombia. *Apuntes Del Cenes*, 40(71), 189–216.
<https://doi.org/10.19053/01203053.V40.N71.2021.12225>

Galvan, J., Soria, M. de J., Carrillo, F., & Aguilera, E. (2023). Una Comparación de Reactivos Alternos al Cianuro como Lixiviantes del Oro: Una revisión. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(6), 2410–2434. https://doi.org/10.37811/CL_RCM.V7I6.8864

Gamero, M. (2022). Salud mental y bienestar psicológico en trabajadores mineros. Una revisión sistemática. *PSICOLOGÍA UNEMI*, 6(11), 192–207. <https://doi.org/10.29076/ISSN.2602-8379VOL6ISS11.2022PP192-207P>

Garza, M., Carrillo, F., Soria, M. de J., & Picazo, N. (2021). Descomposición de cianuro usando ozono y óxidos de hierro. *EPISTEMUS*, 15(31), 63–69.
<https://doi.org/10.36790/EPISTEMUS.V15I31.202>

Gómez, M. (2006). *Introducción a la metodología de la investigación científica*. Editorial Brujas.
https://www.google.com.pe/books/edition/Introducci%C3%B3n_a_la_metodolog%C3%ADa_de_la_in/9UDXP4U7aMC?hl=es-

419&gbpv=1&dq=DISE%C3%91O+de+investigacion+experimental&pg=PA85&printsec=frontcover

Gonzales, B., & Bravo, M. (2021). Influencia del oxígeno en la cianuración de minerales auríferos con carbón en pulpa para la extracción de oro [Universidad Nacional José Faustino Sanchez Carrión]. In *Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión*.
<https://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/20.500.14067/5587>

Google Earth. (2025). *Google Earth*.

https://earth.google.com/web/search/zona+18,+distrito+de+Bella+Uni%c3%b3n,+provincia+de+Caravel%c3%ad,+regi%c3%b3n+Arequipa/@-15.24427947,-73.29118847,2650.07011085a,820644.69324633d,35y,-0h,0t,0r/data=CrsBGowBEoUBCiQweDkxMTVjZTNhZGNjZmE4MmQ6MHgxNjRiYjgzNWExNjJkZDcZGk0uxsDGLsAhXxbJDfWuUsAqS3pvbmEgMTgsIGRpc3RyaXRvIGRlIEJlbGxhIFVuacOzbiwgcHJvdmluY2lhIGRlIENhcmF2ZWzDrSwgcmVnacOzbiBBcmVxdWlwYRgCIAEiJgokCZnz8uphti3AEavzA2eBWy_AGWOP4alRblLAIUvIr2b85lLAQgIIATIpCicKJQohMXh2U2RUVjFwTzF3cTR2ZGVHOFVmamxFalBFbU5DbEFsIAE6AwoBMEICCABKCAjzKXbBRAB

Groves, D., Goldfarb, R., Gebre-Mariam, M., Hagemann, S., & Robert, F. (1998). Orogenic gold deposits: a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore Geology Reviews*, 13(1–5), 7–27.

[https://doi.org/10.1016/S0169-1368\(97\)00012-7](https://doi.org/10.1016/S0169-1368(97)00012-7)

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. In Editorial Mc Graw Hill Education (Ed.), *Revista*

- Universitaria Digital de Ciencias Sociales (RUDICS)* (Vol. 10, Issue 18). Universidad Nacional Autónoma de México. <https://doi.org/10.22201/FESC.20072236E.2019.10.18.6>
- Ibáñez, J. (2013). *Métodos, técnicas e instrumentos de la investigación criminológica*. Dykinson, S.L.
- https://www.google.com.ec/books/edition/M%C3%A9todos_t%C3%A9cnicas_e_instrumentos_de_la/ggTdBAAQBAJ?hl=es&gbpv=1&dq=metodo+deductivo+de+la+investigacion&pg=PA100&printsec=frontcover
- Khuduwe, M. (2024). *Extraction of gold from tailings using environmentally friendly reagents* [University of the Witwatersrand, Johannesburg]. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://wiredspace.wits.ac.za/server/api/core/bitstreams/c1d938ac-a687-494c-b024-fac5b2853af7/content>
- Kumar, R. (2024). *Gold extraction via high-temperature chlorination* [University of British Columbia]. <https://doi.org/10.14288/1.0441286>
- Kurama, H., & Bütün, S. (2023). Clay/nanocomposite hydrogels: In review. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 59(5). <https://doi.org/10.37190/PPMP/165991>
- Kutner, M., Nachtsheim, C., Neter, J., & Li, W. (2005). Applied Linear Statistical Models. In B. Gordon & R. T. Jr. Hercher (Eds.), *Applied Linear Statistical Models*. McGraw-Hill/Irwin. <https://dokumen.pub/applied-linear-statistical-models-5-0-07-238688-6.html>
- La Brooy, S., Linge, H., & Walker, G. (1994). Review of gold extraction from ores. *Minerals Engineering*, 7(10), 1213–1241. [https://doi.org/10.1016/0892-6875\(94\)90114-7](https://doi.org/10.1016/0892-6875(94)90114-7)
- León, D. (2022). *Optimización del proceso CIP, mediante variables de concentración de cianuro, pH y temperatura, en la adsorción de oro, en la minera Santa Bárbara de Trujillo* [Universidad Nacional de Piura].

https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUMP_b96409cc39ea60e0a2767c0815874c67/Description#tabnav

Li, H., Li, Z., Jin, J., Han, Y., & Li, Y. (2022a). Pore Evolution in Refractory Gold Ore Formed by Oxidation Roasting and the Effect on the Cyanide Leaching Process. *ACS Omega*, 7(4), 3618–3625.

https://doi.org/10.1021/ACSOMEGA.1C06248/SUPPL_FILE/AO1C06248_SI_001.PDF

Li, H., Li, Z., Jin, J., Han, Y., & Li, Y. (2022b). Pore Evolution in Refractory Gold Ore Formed by Oxidation Roasting and the Effect on the Cyanide Leaching Process. *ACS Omega*, 7(4), 3618–3625.

https://doi.org/10.1021/ACSOMEGA.1C06248/SUPPL_FILE/AO1C06248_SI_001.PDF

López-Solis, C. L., Córdoba-Jiménez, D. G., Cuervo-Ochoa, G., Martín-Franco, J., & Gutiérrez-Valencia, T. M. (2020). Extracción selectiva de oro mediante membranas basadas en un nuevo material polimérico con sitios activos complejantes. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 44(172), 814–827.

<https://doi.org/10.18257/RACCEFYN.938>

Mariluz, N. (2018). Cianuración de minerales auríferos por agitación en presencia de cobre para la extracción de oro a nivel laboratorio. *Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión*. <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/20.500.14067/3334>

Marsden, J., & Housen, I. (2006). The Chemistry of Gold Extraction 2nd edition. In *Sme* (Issue July).

https://books.google.com/books/about/The_Chemistry_of_Gold_Extraction.html?id=OuoV-o_Xf-EC

Martinez, G., Smith, N., & Malone, A. (2021). Formalization is just the beginning: Analyzing post-formalization successes and challenges in Peru's small-scale gold mining sector.

Resources Policy, 74. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102390>

McLean, A., Sohn, H., Guthrie, R., Seetharaman, S., & Seetharaman, S. (2025). *Treatise on Process Metallurgy, Volume 2B Unit Processes*. Elsevier.

https://www.google.com.pe/books/edition/Treatise_on_Process_Metallurgy_Volume_2B/0WtkEQAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=0

Méndez, M. (2025). *Estadística descriptiva e inferencial*. ESIC.

https://www.google.com.pe/books/edition/ESTAD%C3%8DSTICA_DESCRIPTIVA_E_INFERENCIAL/4jpUEQAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=0

Mirasi, F. (1993). *Metalurgia Del Oro-Sergio Misari-Tomo I*. CEPECT.

<https://es.scribd.com/document/684324229/Metalurgia-Del-Oro-Sergio-Misari-Tomo-I>

Montgomery, D. (2017). *The Design and Analysis of Experiments*. Wiley.

https://www.academia.edu/65675640/The_Design_and_Analysis_of_Experiments

Myers, R., Montgomewry, D., & Anderson-Cook, C. (2016). Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using ... -. In *Wiley Series in Probability And Statistics, 4th ed., John Wiley & Sons Inc., New Jersey*. John Wiley & Sons, 2016.

[https://www.wiley.com/en-](https://www.wiley.com/en-us/Response+Surface+Methodology%3A+Process+and+Product+Optimization+Using+Designed+Experiments%2C+4th+Edition-p-9781118916018)

[us/Response+Surface+Methodology%3A+Process+and+Product+Optimization+Using+Designed+Experiments%2C+4th+Edition-p-9781118916018](https://www.wiley.com/en-us/Response+Surface+Methodology%3A+Process+and+Product+Optimization+Using+Designed+Experiments%2C+4th+Edition-p-9781118916018)

Ñaupas, H., Valdivia, M., Palacios, J., & Romero, H. (2019). *Metodología de la Investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis. 5ta Edición*. Ediciones de la U.

https://www.google.com.pe/books/edition/Metodolog%C3%ADa_de_la_Investigaci%C3%B3n_cuanti/KzSjDwAAQBAJ?hl=es&gbpv=1

Ocampo-López, C., Rendón-Castrillón, L., Ramírez-Carmona, M., & González-López, F.

(2024). Evaluation of the Preg-Robbing Effect in Gold Recovery Using the Carbon-in-Leach Technique: A Comparative Study of Three Reactor Types. *Metals* 2024, Vol. 14, Page 1465, 14(12), 1465. <https://doi.org/10.3390/MET14121465>

Paliza, T., & Quispe, P. (2024a). *Optimización de la recuperación de oro por el proceso de cianuración en la planta de beneficio de la compañía minera Jerusalén SAC-Chala-Arequipa* [Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco].

<https://renati.sunedu.gob.pe/handle/renati/1165329>

Paliza, T., & Quispe, P. (2024b). *Optimización de la recuperación de oro por el proceso de cianuración en la planta de beneficio de la compañía minera Jerusalén SAC-Chala-Arequipa* [Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco].

https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUNS_57070b18ce37e103872680bcca51b66b/Description#tabnav

Roy, R., Ramachandran, V., & Iyer, V. (2016). Innovative Process Development in Metallurgical Industry. In *Innovative Process Development in Metallurgical Industry: Concept to Commission*. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-21599-0_7

Sheaffer, K. (2025). *Mineral Commodity Summaries 2025*. chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcgicfindmkaj/<https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2025/mcs2025-gold.pdf>

- Surimbayev, B., Yessengarayev, Y., Khumarbekuly, Y., Bolotova, L., Kanaly, Y., Akzharkenov, M., & Zhumabai, S. (2024). Effect of sodium acetate additive on gold leaching with cyanide solution: Laboratory and semi-pilot leaching tests. *Heliyon*, 10(15).
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35805>
- Tancayllo, R. (2018). *Flotacion y cianuración de los relaves de Ticapampa propiedad de la Compañía Minera Lincuna*.
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNSA_96b4a08815ccbc3de66fbdd9ee0f332c
- Valarezo, E., Astudillo, J., Ordóñez, V., Cuenca, A., & Leon, W. (2024). Reactivos Usados para Mejorar la Lixiviación del Oro con Cianuro: Una Revisión. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(3), 10874–10892.
https://doi.org/10.37811/CL_RCM.V8I3.12248
- Vargas, A. (1995). *Estadística descriptiva e inferencial*. Universidad de Castilla-La Mancha.
https://www.google.com.pe/books/edition/Estad%C3%ADstica_descriptiva_e_inferencial/RbaC-wPWqjsC?hl=es-419&gbpv=0
- Villanueva, A., & Vila, G. (2023). Performing traceability: Unpacking the artisanal and small-scale gold mining (ASGM) trade circuit in Peru. *Journal of Rural Studies*, 102, 103088.
<https://doi.org/10.1016/J.JRURSTUD.2023.103088>
- Weatherspark. (2025). *Clima de Acarí, tiempo por mes, temperatura promedio (Perú) - Weather Spark*. <https://weatherspark.com/y/23220/Average-Weather-in-Acar%C3%AD-Peru-Year-Round>
- White, N., & Hedenquist, J. (1995). Epithermal Gold Deposits: Styles, characteristics and exploration. *SEG Discovery*, 23, 1–13. <https://doi.org/10.5382/SEGNEWS.1995-23.FEA>

Wills, B., & Finch, J. (2016). *Tecnología de procesamiento de minerales de Wills “Una introducción a los aspectos prácticos del tratamiento del mineral y la recuperación mineral.”* 512.

https://www.google.com.pe/books/edition/Wills_Mineral_Processing_Technology/uMWcBAAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1

Wills, B., & Napier-Munn, T. (2006). *Mineral Processing Technology An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery*, by Barry A. Wills, Tim Napier-Munn. Elsevier Science & Technology Books.

https://www.academia.edu/40297760/Mineral_Processing_Technology_An_Introduction_to_the_Practical_Aspects_of_Ore_Treatment_and_Mineral_Recovery_by_Barry_A_Wills_Tim_Napier_Munn

World gold council. (2025, February 5). *La demanda mundial de oro alcanza un nuevo máximo a medida que los precios se disparan en 2024 | Consejo Mundial del Oro.*

https://www.gold.org/news-and-events/press-releases/global-gold-demand-hits-new-high-prices-soar-2024?utm_source=chatgpt.com

Yandún, C., Poaquiza, A., Leon, E., & Montero, J. (2021). Prometeo Conocimiento Científico. *Prometeo Conocimiento Científico*, 3(2), e55–e55. <https://doi.org/10.55204/PCC.V3I2.E55>

Yannopoulos, J. (2012). *The extractive metallurgy of gold.*

https://www.google.com.pe/books/edition/The_Extractive_Metallurgy_of_Gold/hE7uBwAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=extractive+gold+metallurgy&pg=PA111&printsec=frontcover

Yuni, J., & Ariel, C. (2006). *Técnicas para investigar y formular proyectos de investigacion.* Editorial Brujas.

<https://books.google.com.pe/books?id=XWIkBfrJ9SoC&pg=PA39&dq=tecnica+de+observacion&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiogPHLw6DjAhVNxVkKHQCLBfQQ6AEILjAB#v=onepage&q&f=false>

ANEXOS

Anexo 1 localización



Anexo 2 Matriz de consistencia

	Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Metodología
Generales	¿En qué medida el proceso de cianuración de minerales puede tener incidencia en la eficiencia de extracción de oro en la empresa Gold Metals SAC-2025?	Determinar en qué medida el proceso de cianuración de minerales puede tener incidencia en la eficiencia de extracción de oro en la empresa Gold Metals SAC-2025.	El proceso de cianuración de minerales incide significativamente en la eficiencia de extracción de oro en la Empresa Gold Metals SAC durante el año 2025.	<u>Independiente</u> • Cianuración	<u>Tipo de investigación:</u> Aplicada
				<u>Dependiente.</u> Eficiencia de extracción	<u>Nivel de Investigación:</u> Explicativo
Específico	¿Cómo la ley de cabeza del mineral y el porcentaje de partículas finas (-200 mallas) influye en la ley de oro en la solución (Au g/m ³) durante el proceso de cianuración en la Empresa Gold Metals SAC-2025?	Evaluar cómo la ley de cabeza del mineral y el porcentaje de partículas finas (-200 mallas) influye en la ley de oro en la solución (Au g/m ³) durante el proceso de cianuración en la Empresa Gold Metals SAC-2025.	La ley de cabeza del mineral y el porcentaje de partículas finas (-200 mallas) influyen de manera directa en la ley de oro en la solución (Au g/m ³) durante el proceso de cianuración en la Empresa Gold Metals SAC-2025.	<u>Independiente</u> - Ley y %-200m <u>Dependiente.</u> - Ley solución	<u>Diseño de Investigación:</u> No experimental correlacional <u>Enfoque de Investigación:</u> Cuantitativo
	¿De qué manera la densidad de pulpa incide en la recuperación de oro durante el proceso de cianuración en la Empresa Gold Metals SAC-2025?	Analizar de qué manera la densidad de pulpa incide en la recuperación de oro durante el proceso de cianuración en la Empresa Gold Metals SAC-2025.	La densidad de pulpa incide de forma significativa en la recuperación de oro durante el proceso de cianuración en la Empresa Gold Metals SAC-2025.	<u>Independiente</u> - Densidad de pulpa <u>Dependiente.</u> - Recuperación Au	<u>Población Muestra:</u> 120 <u>Técnica Recolección Datos:</u> Observación
	¿Cuál es el efecto del flujo de mineral alimentado a la planta sobre la recuperación de oro en el proceso de cianuración de la Empresa Gold Metals SAC-2025?	Determinar como el flujo de mineral alimentado a la planta afecta sobre la recuperación de oro en el proceso de cianuración de la Empresa Gold Metals SAC-2025.	El flujo de mineral alimentado a la planta afecta directamente la recuperación de oro en el proceso de cianuración en la Empresa Gold Metals SAC-2025.	<u>Independiente</u> - Flujo de alimentación <u>Dependiente.</u> - Recuperación Au	<u>Técnica Procesamiento Información:</u> Estadístico

Anexo 3 flujo de carga

TMH	% HUMEDAD	TMS	LEY GRUESO onz/tc	LEY FINO onz/tc	ley onz/tc	LEY GRUESO g/t	LEY FINO g/t	ley g/t	AU GRUESO	AU FINO	TOTAL FINO
1.04	10.87	0.93	0.008	0.536	0.544	0.27	18.38	18.65	0.25	17.08	17.33
1.25	14.89	1.06	0.060	1.107	1.167	2.06	37.95	40.01	2.18	40.23	42.41
1.32	10.59	1.18	0.003	0.339	0.342	0.10	11.62	11.73	0.12	13.67	13.79
3.06	8.20	2.81	0.005	0.326	0.331	0.17	11.18	11.35	0.48	31.37	31.85
2.64	7.90	2.43	0.010	0.232	0.242	0.34	7.95	8.30	0.83	19.33	20.18
0.87	3.40	0.84	0.015	1.831	1.846	0.51	62.78	63.29	0.43	52.61	53.04
3.01	7.10	2.80	0.013	0.585	0.598	0.45	20.06	20.50	1.26	56.09	57.32
0.85	4.70	0.81	0.005	0.362	0.367	0.17	12.41	12.58	0.14	10.10	10.24
1.55	2.80	1.50	0.004	0.180	0.184	0.14	6.17	6.31	0.21	9.27	9.48
6.93	6.40	6.49	0.011	0.257	0.268	0.38	8.81	9.19	2.46	57.14	59.61
1.37	6.70	1.28	0.004	0.454	0.458	0.14	15.57	15.70	0.18	19.91	20.08
3.68	8.90	3.36	0.009	0.218	0.227	0.31	7.47	7.78	1.04	25.06	26.10
1.24	4.20	1.19	0.003	0.090	0.093	0.10	3.09	3.19	0.12	3.66	3.78
17.82	3.10	17.27	0.034	0.115	0.149	1.17	3.94	5.11	20.21	68.04	88.25
18.51	3.60	17.84	0.065	0.121	0.186	2.23	4.15	6.38	39.79	74.05	113.84
20.25	12.35	17.75	0.016	0.186	0.202	0.55	6.38	6.93	9.76	113.21	122.97
6.55	14.96	5.57	0.021	0.142	0.163	0.72	4.87	5.59	4.01	27.15	31.16
1.64	1.90	1.61	0.194	1.391	1.585	6.65	47.69	54.34	10.68	76.59	87.27
1.63	6.30	1.53	0.008	0.239	0.247	0.27	8.19	8.47	0.41	12.53	12.96
1.86	10.20	1.67	0.002	0.190	0.192	0.07	6.51	6.58	0.12	10.90	11.01
33.87	13.70	29.23	0.018	0.245	0.263	0.62	8.40	9.02	18.12	245.53	263.65
24.89	9.20	22.60	0.020	0.399	0.419	0.69	13.68	14.37	15.59	309.17	324.76
10.56	0.90	10.47	0.108	0.215	0.323	3.70	7.37	11.07	38.72	77.13	115.85
11.20	11.80	9.88	0.034	0.146	0.180	1.17	5.01	6.17	11.56	49.50	60.97
15.94	10.30	14.30	0.013	0.179	0.192	0.45	6.14	6.58	6.43	87.77	94.06
26.68	15.30	22.60	0.022	0.188	0.210	0.75	6.45	7.20	16.95	145.76	162.71
31.45	5.76	29.64	0.014	0.354	0.368	0.48	12.14	12.62	14.23	359.81	374.03
5.11	9.00	4.65	0.017	0.328	0.345	0.58	11.25	11.83	2.70	52.31	55.01
30.35	6.72	28.31	0.025	0.377	0.402	0.86	12.93	13.78	24.35	366.04	390.10
14.51	9.00	13.21	0.017	0.328	0.345	0.58	11.25	11.83	7.66	148.56	156.22
25.95	5.20	24.60	0.009	0.180	0.189	0.31	6.17	6.48	7.63	151.79	159.41
30.96	5.53	29.25	0.003	0.324	0.327	0.10	11.11	11.21	2.92	324.95	327.87
3.03	14.80	2.58	0.030	0.373	0.403	1.03	12.79	13.82	2.66	32.97	35.63
8.52	0.80	8.45	0.128	0.214	0.342	4.39	7.34	11.73	37.10	62.04	99.14
1.37	18.70	1.11	0.010	0.201	0.211	0.34	6.89	7.23	0.38	7.66	8.04
4.10	2.83	3.99	0.020	0.492	0.512	0.69	16.87	17.55	2.75	67.26	69.97
23.60	18.03	19.35	0.009	0.270	0.279	0.31	9.26	9.57	6.00	179.13	185.13
25.32	26.20	18.69	0.024	0.232	0.256	0.82	7.95	8.78	15.32	148.55	164.06
2.01	11.41	1.78	0.012	0.200	0.212	0.41	6.86	7.27	0.73	12.22	12.95
33.68	10.75	30.06	0.020	0.184	0.204	0.69	6.31	6.99	20.74	189.67	210.11
37.93	8.97	34.53	0.003	0.235	0.238	0.10	8.06	8.16	3.45	278.30	281.75
3.69	11.50	3.27	0.004	0.235	0.239	0.14	8.06	8.19	0.46	26.32	26.75
6.46	2.74	6.29	0.020	0.305	0.325	0.69	10.46	11.14	4.34	65.74	70.01
5.00	9.05	4.55	0.023	0.304	0.327	0.79	10.42	11.21	3.59	47.41	51.01
19.05	15.70	16.06	0.025	0.412	0.437	0.86	14.13	14.98	13.81	226.86	240.50
18.66	14.80	15.90	0.018	0.219	0.237	0.62	7.51	8.13	9.86	119.39	129.25
31.41	19.10	25.41	0.019	0.246	0.265	0.65	8.43	9.09	16.52	214.21	230.99
6.16	13.80	5.31	0.017	0.284	0.301	0.58	9.74	10.32	3.08	51.72	54.80
23.23	4.00	22.30	0.025	0.195	0.220	0.86	6.69	7.54	19.18	149.19	168.15
17.38	4.20	16.65	0.026	0.364	0.390	0.89	12.48	13.37	14.82	207.78	222.60
6.15	4.00	5.90	0.025	0.195	0.220	0.86	6.69	7.54	5.08	39.49	44.51
12.78	6.80	11.91	0.019	0.279	0.298	0.65	9.57	10.22	7.74	113.97	121.71
4.86	8.80	4.43	0.022	0.235	0.257	0.75	8.06	8.81	3.32	35.73	39.05
1.94	2.40	1.89	0.080	0.947	1.027	2.74	32.47	35.21	5.19	61.47	66.65
5.44	1.20	5.38	0.025	0.439	0.464	0.86	15.05	15.91	4.62	80.89	85.52
1.00	6.00	0.94	0.025	0.438	0.463	0.86	15.02	15.87	0.81	14.12	14.92
5.64	0.90	5.59	0.024	0.526	0.550	0.82	18.03	18.86	4.58	100.73	105.37
33.94	6.80	31.63	0.015	0.232	0.247	0.51	7.95	8.47	16.13	251.47	267.92
11.04	4.00	10.60	0.025	0.327	0.352	0.86	11.21	12.07	9.11	118.80	127.92
1.55	6.94	1.46	0.021	0.274	0.295	0.72	9.39	10.11	1.05	13.67	14.72
9.52	16.20	7.98	0.015	0.226	0.241	0.51	7.75	8.26	4.07	61.83	65.90
4.86	2.70	4.73	0.024	0.661	0.685	0.82	22.66	23.49	3.88	107.18	111.11
5.66	3.00	5.49	0.019	0.322	0.341	0.65	11.04	11.69	3.57	60.59	64.15
27.47	7.60	25.38	0.120	0.580	0.700	4.11	19.89	24.00	104.32	504.85	609.17
1.63	1.20	1.61	0.580	3.300	3.880	19.89	113.14	133.03	32.02	182.16	214.18
2.00	1.20	1.98	0.210	1.570	1.780	7.20	53.83	61.03	14.23	106.37	120.60
4.67	7.25	4.33	0.006	0.194	0.200	0.21	6.65	6.86	0.91	28.80	29.71
12.08	4.33	11.56	0.012	0.230	0.242	0.41	7.89	8.30	4.74	91.18	95.92
1.42	9.20	1.29	0.272	3.398	3.670	9.33	116.50	125.83	12.03	150.17	162.19
8.45	5.60	7.98	0.023	0.266	0.289	0.79	9.12	9.91	6.30	72.75	79.05
8.90	5.60	8.40	0.319	1.581	1.900	10.94	54.21	65.14	91.92	455.47	547.31
17.64	2.00	17.29	0.074	0.703	0.777	2.54	24.10	26.64	43.91	416.62	460.53
32.45	0.80	32.19	0.020	0.300	0.320	0.69	10.29	10.97	22.21	331.24	353.12
2.46	0.80	2.44	0.150	2.450	2.600	5.14	84.00	89.14	12.54	204.96	217.50
1.05	0.80	1.04	0.120	2.260	2.380	4.11	77.49	81.60	4.28	80.74	85.03

Anexo 4 Carbón y la recuperación

Material	Codigo	Carbón Humedo kg	% Humedad	Carbón Seco	Ley Au g/kg	Au g
Carbón	Tk1	236.5	17.38	195.40	2.697	526.98
Carbón	Tk2	199.5	20.5	158.60	0.670	106.26
Carbón	Tk3	205.2	23.31	157.37	0.143	22.50
Carbón	Tk4	74.3	21.2	58.55	0.070	4.10
Carbón	Tk5	122.6	21.07	96.77	0.034	3.29
		838.1	20.45	666.68	0.99	663.14

Anexo 5 Leyes de mineral ingresante grueso y fino

TMH	%H ₂ O	TMS	Ley Grueso onz/tc	Ley Fino onz/tc	Onz Au Grueso	Onz Au Fino	Ley Au onz/tc	Ley Grueso g/t	Ley Fino g/t	g Au Grueso	g Au Fino	Ley Au g/t	g Au Total
1.042	10.87	0.929	0.008	0.536	0.01	0.45	0.544	0.226	15.124	0.210	14.046	15.350	14.26
1.245	14.89	1.060	0.06	1.107	0.06	1.06	1.167	1.693	31.236	1.794	33.098	32.929	34.89
1.315	10.59	1.176	0.003	0.339	0.00	0.36	0.342	0.085	9.565	0.100	11.246	9.650	11.35
3.057	8.2	2.806	0.005	0.326	0.01	0.83	0.331	0.141	9.199	0.396	25.814	9.340	26.21
2.639	7.9	2.431	0.01	0.232	0.02	0.51	0.242	0.282	6.546	0.686	15.911	6.828	16.60
0.867	3.4	0.838	0.015	1.831	0.01	1.39	1.846	0.423	51.665	0.354	43.270	52.088	43.62
3.010	7.1	2.796	0.013	0.585	0.03	1.48	0.598	0.367	16.507	1.026	46.158	16.874	47.18
0.854	4.7	0.814	0.005	0.362	0.00	0.27	0.367	0.141	10.214	0.115	8.313	10.356	8.43
1.545	2.8	1.502	0.004	0.18	0.01	0.25	0.184	0.113	5.079	0.169	7.627	5.192	7.80
8.929	6.4	8.358	0.011	0.257	0.08	1.95	0.268	0.310	7.252	2.594	60.606	7.562	63.20
1.371	6.7	1.279	0.004	0.454	0.00	0.53	0.458	0.113	12.810	0.144	16.386	12.923	16.53
3.683	8.9	3.355	0.009	0.218	0.03	0.66	0.227	0.254	6.151	0.852	20.639	6.405	21.49
1.238	4.2	1.186	0.003	0.09	0.00	0.10	0.093	0.085	2.539	0.100	3.012	2.624	3.11
17.82	3.1	17.270	0.034	0.115	0.53	1.80	0.149	0.959	3.245	16.568	56.038	4.204	72.61
18.51	3.6	17.844	0.065	0.121	1.05	1.96	0.186	1.834	3.414	32.727	60.922	5.248	93.65
20.51	12.35	17.977	0.016	0.186	0.26	3.03	0.202	0.451	5.248	8.116	94.349	5.700	102.46
6.554	14.96	5.574	0.022	0.142	0.11	0.72	0.164	0.621	4.007	3.460	22.332	4.628	25.79
1.637	1.9	1.606	0.194	1.391	0.28	2.03	1.585	5.474	39.249	8.791	63.030	44.723	71.82
1.633	6.3	1.530	0.008	0.239	0.01	0.33	0.247	0.226	6.744	0.345	10.319	6.970	10.66
1.854	10.2	1.665	0.002	0.19	0.00	0.29	0.192	0.056	5.361	0.094	8.926	5.418	9.02
33.87	13.7	29.230	0.018	0.245	0.48	6.50	0.263	0.508	6.913	14.846	202.068	7.421	216.91
24.89	9.2	22.600	0.02	0.399	0.41	8.18	0.419	0.564	11.258	12.754	254.442	11.823	267.20
10.56	0.9	10.465	0.108	0.215	1.03	2.04	0.323	3.047	6.067	31.891	63.486	9.114	95.38
11.2	11.8	9.881	0.034	0.146	0.30	1.31	0.180	0.959	4.120	9.480	40.706	5.079	50.19
15.94	10.3	14.295	0.013	0.179	0.17	2.32	2.745	0.367	5.051	5.244	72.203	5.418	77.45
26.68	15.3	22.598	0.022	0.188	0.45	3.85	4.746	0.621	5.305	14.028	119.876	5.925	133.90
31.45	5.76	29.638	0.014	0.354	0.38	9.52	10.907	0.395	9.989	11.708	296.040	10.384	307.75
5.11	9	4.650	0.017	0.328	0.07	1.38	1.604	0.480	9.255	2.231	43.037	9.735	45.27
30.35	6.72	28.309	0.025	0.377	0.64	9.68	11.380	0.705	10.638	19.969	301.138	11.343	321.11
14.51	9	13.205	0.017	0.328	0.20	3.93	4.556	0.480	9.255	6.334	122.213	9.735	128.55
25.95	5.2	24.601	0.009	0.18	0.20	4.02	4.650	0.254	5.079	6.247	124.946	5.333	131.19
30.95	5.53	29.238	0.003	0.324	0.08	8.59	9.561	0.085	9.142	2.475	267.304	9.227	269.78
3.026	14.8	2.578	0.003	0.373	0.01	0.87	0.969	0.085	10.525	0.218	27.135	10.609	27.35
8.52	0.8	8.452	0.128	0.214	0.98	1.64	2.891	3.612	6.038	30.526	51.035	9.650	81.56
1.368	18.7	1.112	0.01	0.201	0.01	0.20	0.235	0.282	5.672	0.314	6.308	5.954	6.62
4.103	2.83	3.987	0.02	0.492	0.07	1.78	2.041	0.564	13.883	2.250	55.348	14.447	57.60
22.6	18.03	18.525	0.009	0.27	0.15	4.54	5.169	0.254	7.618	4.704	141.134	7.872	145.84
25.32	26.2	18.686	0.024	0.232	0.41	3.93	4.784	0.677	6.546	12.654	122.324	7.223	134.98
TMH	%H ₂ O	TMS	Ley Grueso onz/tc	Ley Fino onz/tc	Onz Au Grueso	Onz Au Fino	Ley Au onz/tc	Ley Grueso g/t	Ley Fino g/t	g Au Grueso	g Au Fino	Ley Au g/t	g Au Total
425.7	9.788	384.043	0.025	0.271	8.569	94.291	0.295	0.69	7.64	266.513	2932.79	8.33	3199.300