



Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica

Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica

Evaluación de la concentración de cianuro sodio en aguas recirculantes proveniente de las pozas de relave, MARSA – Retamas S.A., 2025

Tesis

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico

Autor

Luis Angel Palomino Orihuela

Asesora

M(a) Helen Anali Zapata Del Solar



HELEN ANALI
ZAPATA DEL SOLAR
INGENIERA METALÚRGICA
Reg. CIP N° 174090

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

INFORMACIÓN

Datos de los autores:		
Apellidos y Nombres	DNI	Fecha de sustentación
Palomino Orihuela , Luis Angel	72496378	01/09/2026
Datos del asesor:		
Apellidos y Nombres	DNI	Código ORCID
M(o) Zapata Del Solar, Helen Anali	44067559	https://orcid.org/0000-0002-5347-6155
Datos de los Miembros de Jurados – Pregrado:		
Apellidos y Nombres	DNI	Código ORCID
Dr. Sánchez Guzman Alberto Irhaam	15758117	https://orcid.org/0000-0003-1575-8466
Dr. Ipanaque Roña Juan Manuel	32952515	https://orcid.org/0000-0003-2695-9802
Dra. Velez Chang Yasmin Jesus	41943603	https://orcid.org/0000-0003-0333-8173

Luis Angel Palomino Orihuela 2026-039998

Evaluación de la concentración de cianuro sodio en aguas recirculantes proveniente de las pozas de relave, MARSA – Ret...

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::1:3622083613

87 páginas

Fecha de entrega

3 ago 2026, 11:40 a.m. GMT-5

15.959 palabras

90.694 caracteres

Fecha de descarga

3 ago 2026, 11:45 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS_LUIS_PALOMINO.docx

Tamaño del archivo

8.0 MB



Página 2 de 94 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::1:3622083613

12% 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)

Fuentes principales

- 11% 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

A Dios, por su guía constante y por acompañarme en cada etapa de este camino, dándome la fortaleza, la fe y la serenidad necesarias para enfrentar las dificultades y no rendirme ante los desafíos.

A mis padres, por ser mi mayor ejemplo de amor incondicional, esfuerzo y perseverancia. Gracias por su apoyo silencioso, por sus sacrificios constantes y por estar siempre a mi lado, sosteniéndome con su confianza y enseñanzas. Cada uno de mis logros es también reflejo de su entrega y de todo lo que han sembrado en mi vida.

Atentamente.

Palomino Orihuela, Luis Angel

AGRADECIMIENTO

A Dios, por ser mi guía permanente y mi fortaleza en cada etapa de este camino. Gracias por darme la sabiduría, la paciencia y la confianza necesarias para superar los momentos de dificultad y por permitirme llegar a la culminación de este importante logro personal y profesional.

A mis padres, por su amor incondicional, por su apoyo constante y por creer en mí incluso en los momentos más difíciles. Gracias por cada sacrificio, por cada palabra de aliento y por ser el pilar fundamental que sostuvo mi esfuerzo. Este logro es también suyo, porque detrás de cada paso que di estuvieron su ejemplo, su entrega y su fe en mí.

Atentamente.

Palomino Orihuela, Luis Angel

ÍNDICE GENERAL

Caratula.....	i
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	xiv
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.1 Descripción de la realidad problemática.....	16
1.2 Formulación del problema.....	17
1.2.1 Problema general.....	17
1.2.2 Problemas específicos.....	17
1.3 Objetivos de la investigación.....	18
1.3.1 Objetivo general.....	18
1.3.2 Objetivo específico.....	18
1.4 Justificación de la investigación.....	18
1.5 Delimitación del estudio.....	19
CAPITULO II MARCO TEÓRICO.....	21
1.1. Antecedentes de la investigación.....	21
1.1.1. Antecedentes internacionales.....	21

1.1.2.	Antecedentes nacionales.....	22
1.2.	Bases teóricas.....	24
1.2.1.	Concentración de cianuro.....	24
1.2.1.1.	Tipos de muestreo de soluciones de cianuro.....	24
1.2.1.2.	Medición de concentración de cianuro.....	25
1.2.1.3.	Condiciones de medición de cianuro	27
1.2.2.	Aguas circulantes.....	28
1.2.2.1.	Monitoreo de aguas recirculantes.....	29
1.2.2.2.	Métodos de determinación de calidad de las aguas.....	30
1.2.2.3.	Parámetros hidrológicos.....	32
1.3.	Definiciones conceptuales.	33
1.4.	Hipótesis de la investigación.	34
1.4.1.	Hipótesis general.	34
1.4.2.	Hipótesis específicas.	34
1.5.	Operacionalización de variables e indicadores.....	35
CAPITULO III METODOLOGÍA.....		36
3.1.	Diseño metodológico.....	36
3.2.	Población y muestra.....	37
3.3.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.	38
3.4.	Técnicas para el procesamiento de la información.....	39
CAPITULO IV RESULTADOS.....		40
4.1.	Análisis de resultados de concentración de cianuro sodio.....	40

4.1.1.	Muestras líquidas: Determinación y método analítico	40
4.1.2.	Concentración de cianuro	42
4.2.	Análisis de resultados de las aguas recirculantes.....	47
4.2.1.	Monitoreo	47
4.2.2.	Calidad del agua	48
4.2.3.	Comportamiento del sistema	58
4.3.	Contrastación de hipótesis.	62
4.3.1.	Contraste de hipótesis general.	64
4.3.2.	Contraste de hipótesis específica.	66
CAPÍTULO V DISCUSIÓN		69
5.1.	Discusión de resultados.	69
CAPÍTULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		71
6.1.	Conclusiones.	71
6.2.	Recomendaciones.	72
CAPÍTULO VII REFERENCIAS		74
5.1.	Fuentes bibliográficas	74
5.2.	Fuentes documentales.	74
5.3.	Fuentes hemerográficas.	76
Anexos.....		82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Operatividad de variables mediante dimensiones e indicadores	35
Tabla 2. Método analítico (Amperometría) por número de muestras	40
Tabla 3. Cuantificación de concentración de CN libre (mg/L)	43
Tabla 4. Cuantificación de concentración de CN total (mg/L).....	45
Tabla 5. Método analítico por parámetro de calidad de agua.....	47
Tabla 6. Cuantificación de concentración de Cu (mg/L).....	49
Tabla 7. Cuantificación de concentración de Fe (mg/L)	51
Tabla 8. Cuantificación de concentración de Pb (mg/L)	53
Tabla 9. Cuantificación de concentración de Zn (mg/L).....	55
Tabla 10. Cuantificación de concentración de As (mg/L).....	57
Tabla 11. Promedio de consumo de agua	59
Tabla 12. Ubicación de las instalaciones del DIR.	60
Tabla 13. Normalidad de datos registrados en los reportes por Shapiro – Wilk1	62
Tabla 14. Descriptivo estadístico de las variables	64
Tabla 15. Significancia mediante el T Student de las variables	65
Tabla 16. Análisis correlacional de la variables.	65
Tabla 17. Descriptivo estadístico para respaldo de hipótesis específicas.....	66
Tabla 18. Significancia mediante el T Student de las dimensiones.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la UEA Retamas.....	20
Figura 2. Mapa de ubicación de la minera y sus campamentos.	20
Figura 3. Procedimiento de monitoreo y preparación de muestras para reciclo de CN y degradación.....	41
Figura 4. Procedimiento analítico de muestras de STARI y Pozas	42
Figura 5. Análisis de cuantificación de CN ⁻ (mg/L) de los puntos de control	44
Figura 6. Análisis de cuantificación de CN ⁺ (mg/L) de los puntos de control.....	46
Figura 7. Análisis de cuantificación de Cu (mg/L) de los puntos de control	50
Figura 8. Análisis de cuantificación de Fe (mg/L) de los puntos de control.....	52
Figura 9. Análisis de cuantificación de Pb (mg/L) de los puntos de control.....	54
Figura 10. Análisis de cuantificación de Zn (mg/L) de los puntos de control	56
Figura 11. Análisis de cuantificación de As (mg/L) de los puntos de control	58
Figura 12. Diagrama de procesos del Depósito Integrado de Relaves	61
Figura 13. Gráfico Q-Q de concentración de NaCN	62
Figura 14. Gráfico Q-Q de concentración de Aguas recirculantes.....	63

RESUMEN

Objetivo: Evaluar la concentración de cianuro sodio en las aguas recirculantes de las pozas de relave, MARSA – Retamas S.A., 2025. *Metodología:* de categoría aplicada, con bajo un nivel correlacional–explicativo descriptiva, no experimental, empleo el método deductivo, basado en los reportes e informes proporcionados por el laboratorio de la planta DIR. *Resultados:* La concentración de cianuro de sodio presentó variabilidad durante los 29 días de monitoreo, con una media de 40,42 mg/L y una correlación positiva y significativa con las aguas recirculantes ($r = 0,406$; $p = 0,032$). Los gráficos de cianuro libre y total mostraron una disminución progresiva de las concentraciones a lo largo del sistema, con valores más altos en STARI y Poza 2 y concentraciones inferiores a 1 mg/L en Poza 3 y Poza 4, evidenciando la estabilización del sistema. La variable presentó distribución normal ($p = 0,900$) y la prueba t confirmó que la media es estadísticamente significativa ($t = 12,633$; $p < 0,001$), validando la consistencia de los resultados obtenidos. Se *concluye* que la concentración de cianuro de sodio presenta una relación estadísticamente significativa con las aguas recirculantes provenientes de las pozas de relave, lo cual fue corroborado mediante la prueba t de Student y el análisis de correlación de Pearson.

Palabras Clave: concentración, cianuro, recirculantes, pozas, relaves

ABSTRACT

Objective: To evaluate the sodium cyanide concentration in the recirculating waters of the tailings ponds at MARSA – Retamas S.A., 2025. *Methodology:* This applied, descriptive-explanatory study was non-experimental and employed a deductive method, based on reports provided by the DIR plant laboratory. *Results:* The sodium cyanide concentration varied during the 29 monitoring days, with a mean of 40.42 mg/L and a significant positive correlation with the recirculating water ($r = 0.406$; $p = 0.032$). The graphs of free and total cyanide showed a progressive decrease in concentrations throughout the system, with higher values in STARI and Pond 2 and concentrations below 1 mg/L in Pond 3 and Pond 4, indicating system stabilization. The variable showed a normal distribution ($p = 0.900$), and the t-test confirmed that the mean was statistically significant ($t = 12.633$; $p < 0.001$), validating the consistency of the results obtained. It is *concluded* that the concentration of sodium cyanide has a statistically significant relationship with the recirculating water from the tailings ponds, which was corroborated by the Student's t-test and Pearson's correlation analysis.

Keywords: concentration, cyanide, recirculating water, ponds, tailings

INTRODUCCIÓN

La actividad minera constituye uno de los principales motores del desarrollo económico del Perú; sin embargo, su ejecución conlleva importantes retos ambientales, especialmente en la gestión de las aguas residuales generadas durante los procesos metalúrgicos. En la minería aurífera, el cianuro de sodio es ampliamente utilizado como agente lixivante debido a su elevada eficiencia para la recuperación del oro. No obstante, su alta toxicidad convierte su manejo y control en un aspecto crítico desde el punto de vista ambiental, operativo y normativo.

Las aguas recirculadas provenientes de las pozas de relave son importantes en las operaciones mineras porque permiten reutilizar el recurso hídrico y disminuir la descarga de efluentes al medio ambiente. No obstante, estas aguas pueden contener cantidades variables de cianuro residual, dependiendo de factores operacionales y de las condiciones físico-químicas del sistema. Un control inadecuado de estas concentraciones puede afectar tanto el proceso metalúrgico como la calidad ambiental del agua.

El comportamiento del cianuro está relacionado principalmente con el pH, el potencial redox y la presencia de metales, ya que puede formar compuestos de distinta toxicidad. Aunque en medios alcalinos el cianuro suele mantenerse estable, cambios en las condiciones químicas pueden generar sustancias tóxicas y volátiles, por lo que es necesario realizar un monitoreo constante para asegurar el cumplimiento de las normas ambientales.

En este contexto, la empresa Minera Aurífera Retamas S.A., ubicada en la provincia de Pataz, región La Libertad, ha fortalecido sus sistemas de manejo de relaves y tratamiento de aguas debido al crecimiento de sus operaciones. Entre estos sistemas destacan el STARI y las plantas de tratamiento de aguas de mina, orientados a reducir contaminantes y reutilizar el agua en el proceso productivo.

La investigación evaluó la concentración de cianuro de sodio en las aguas recirculantes de las pozas de relave de MARSA durante el año 2025, considerando su relación con el monitoreo y la calidad físico-química del agua. Los resultados buscan aportar información técnica útil para mejorar la gestión ambiental en operaciones de minería aurífera.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática.

La presencia de cianuro de sodio en las aguas recirculantes de las pozas de relave representa una problemática relevante tanto a nivel ambiental como operativo, ya que concentraciones inadecuadas pueden afectar la recuperación de metales preciosos, incrementar los costos de operación y generar mayores riesgos de contaminación. Asimismo, las aguas residuales mineras pueden presentar concentraciones de cianuro superiores a los límites permitidos, alcanzando valores de hasta 2500 ppm en determinados entornos industriales, lo que evidencia la magnitud del problema (Poma & Guevara, 2024).

La toxicidad y estabilidad del cianuro dependen principalmente de las condiciones químicas del sistema, especialmente del pH. En medios alcalinos el cianuro tiende a mantenerse estable; sin embargo, cambios en estas condiciones pueden favorecer la formación de ácido cianhídrico, compuesto altamente tóxico y peligroso (Castillo & Carpio, 2022). Por ello, el monitoreo y control de las aguas residuales son fundamentales para minimizar impactos ambientales.

Además, se han investigado alternativas al uso de cianuro, como el tiosulfato y otros reactivos, los cuales han mostrado resultados favorables en la recuperación de metales con menor impacto ambiental (Sosa & Argota, 2017). No obstante, su aplicación industrial aún enfrenta limitaciones relacionadas con los costos y la eficiencia operativa.

La minera aurífera Retamas S.A. (MARSA) es una compañía peruana dedicada a la minería subterránea. Opera desde hace más de tres décadas en el yacimiento Cerro El Gigante (Batolito de Pataz), caracterizado por su riqueza en oro y plata. En sus inicios, contaba con una planta de procesamiento de 50 TMS/día; sin embargo, a ha crecido de

manera sostenida hasta alcanzar una capacidad instalada de 1 800 TMS/día. La empresa gestiona sus relaves a través de un sistema de pozas de almacenamiento y tratamiento, diseñadas con criterios técnicos de seguridad y control ambiental. Para mitigar los impactos derivados de los procesos metalúrgicos, MARSA cuenta con plantas y sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales y de uso doméstico, como se detalla en los posteriores capítulos; estos sistemas permiten retener y reducir los contaminantes incluyendo el cianuro residual que es materia de esta investigación, cuyo propósito es evaluar la concentración del cianuro en las aguas recirculantes para asegurar el buen proceso de metalúrgico y que la calidad de los efluentes se mantenga inferior a los Límites Máximos Permisibles (LMP) normados para actividades mineras.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuáles son los resultados de la concentración de cianuro sodio en las aguas recirculantes provenientes de las pozas de relave, MARSA – Retamas S.A., 2025?

1.2.2 Problemas específicos

- i. ¿Cuáles son los resultados de la concentración de cianuro sodio en el monitoreo de las aguas recirculantes provenientes de las pozas de relave?
- ii. ¿Cuáles son resultados de la concentración de cianuro sodio respecto a la calidad físico-química las aguas recirculantes provenientes de las pozas de relave?
- iii. ¿Cuáles son resultados de la concentración de cianuro sodio respecto al comportamiento del sistema de aguas recirculantes provenientes de las pozas de relave?

1.3 Objetivos de la investigación.

1.3.1 Objetivo general.

Evaluar la concentración de cianuro sodio en las aguas recirculantes de las pozas de relave, MARSA – Retamas S.A., 2025

1.3.2 Objetivo específico

- i. Evaluar los resultados de la concentración de cianuro sodio en el monitoreo de las aguas recirculantes provenientes de las pozas de relave
- ii. Evaluar los resultados de la concentración de cianuro sodio respecto a la calidad físico-química las aguas recirculantes provenientes de las pozas de relave
- iii. Evaluar los resultados de la concentración de cianuro sodio respecto al comportamiento del sistema de aguas recirculantes provenientes de las pozas de relave

1.4 Justificación de la investigación.

La evaluación de la concentración de cianuro de sodio en las aguas recirculantes de las pozas de relave es importante para mantener la eficiencia del proceso metalúrgico y garantizar la protección ambiental en la minería aurífera. El cianuro es ampliamente utilizado en la lixiviación de oro y plata debido a su capacidad para formar complejos solubles con estos metales; sin embargo, su presencia en aguas residuales puede generar riesgos tóxicos y ambientales si no se controla adecuadamente (Adams, 2016).

Desde el punto de vista operativo, el monitoreo periódico del cianuro permite optimizar el consumo de reactivos y reducir costos en el proceso metalúrgico (Marsden & House, 2006). Asimismo, este control contribuye al cumplimiento de estándares internacionales y de la normativa ambiental peruana relacionada con los límites máximos permisibles para efluentes mineros.

Para disminuir los impactos ambientales, se han implementado sistemas de tratamiento de aguas residuales, como las plantas Las Chilcas, Far West, STARI y Lawsco, orientadas a garantizar la calidad de los efluentes. De igual manera, Minera Aurífera Retamas S.A. desarrolla programas de apoyo social y ambiental en sus comunidades de influencia, promoviendo iniciativas de salud, educación, reforestación y fortalecimiento productivo.

1.5 Delimitación del estudio.

La investigación está propuesta bajo dos variables: X = “Evaluación de la concentración de cianuro sodio” y Y = “aguas recirculantes”, los resultados de dichas evaluaciones se explicarán mediante el método deductivo.

La data a recopilar está situada en los informes del último trimestre del año 2024, realizando la evaluación de los mismo en el presente año 2025.

A nivel geográfico la UEA Retamas se localiza en el Anexo Llacuabamba, distrito de Parcoy, entre los 3 800 y 4 200 msnm. De acuerdo al sistemas de coordenadas (WGS-84) la Zona UTM es la 18, con centroide de una coordenada central de E: 229541,65 y N: 9111482,10

Figura 1.

Ubicación de la UEA Retamas

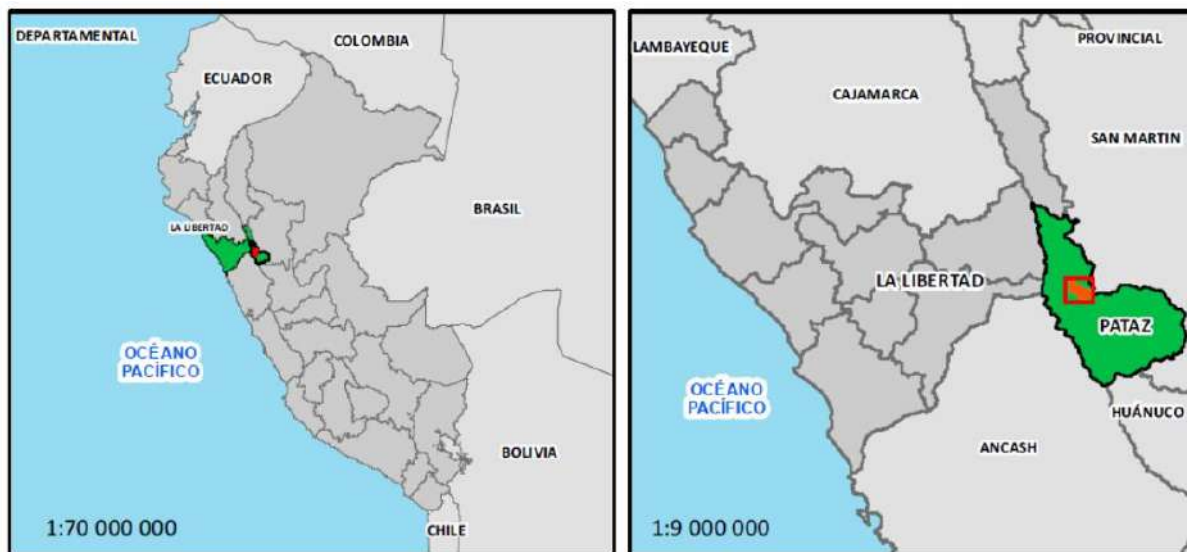


Figura 2.

Mapa de ubicación de la minera y sus campamentos.



CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes de la investigación

1.1.1. Antecedentes internacionales.

Amaro et al (2020), realizaron un análisis termodinámico sobre la estabilidad de los complejos metálicos cianurados generados durante el proceso de cianuración. El estudio se enfocó en métodos aplicados al tratamiento de efluentes cianurados, empleando diagramas Eh-pH o diagramas de Pourbaix para evaluar el comportamiento del cianuro en solución acuosa. Los resultados indicaron que el cianuro libre mantiene estabilidad a valores de pH superiores a 8.5 y en condiciones reductoras con potenciales menores a 0.6 V. Además, se determinó que la oxidación de los complejos cianurados, especialmente los denominados SADs, ocurre de manera lenta incluso al utilizar oxidantes de elevada capacidad oxidativa. En consecuencia, los autores señalaron la necesidad de aplicar procesos de oxidación avanzada para mejorar la degradación de dichos complejos.

Fernández, Viña, Ayala y Conchi, (2021), analizaron la viabilidad y eficiencia del permanganato de potasio (KMnO_4) para el tratamiento de aguas residuales generadas durante la extracción de oro, las cuales presentaban elevadas concentraciones de cianuro y tiocianato. Las muestras fueron obtenidas de diferentes efluentes provenientes de una instalación minera local. Los resultados mostraron que la eliminación completa del cianuro solo se logró con una relación $\text{KMnO}_4:\text{CN}$ de 7, alcanzándose un consumo de permanganato del 75%. Esto evidenció la necesidad de optimizar la dosificación del reactivo para lograr una degradación total. Finalmente, los investigadores concluyeron que las propiedades oxidantes del permanganato de potasio representan una alternativa eficiente para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con cianuros y tiocianatos.

Saa y Guarnizo, (2022), investigaron métodos alternativos para la remoción de cianuro presente en efluentes de relaves mineros, mediante una investigación de tipo descriptiva. La muestra estuvo conformada por 18 documentos científicos relacionados con técnicas de remoción de cianuro. Los hallazgos evidenciaron que el peróxido de hidrógeno alcanzó eficiencias de remoción de hasta 99.99% cuando se utilizó sulfato de cobre (CuSO_4) como catalizador y 99.97% al emplear hipoclorito de sodio (NaClO). Asimismo, el ácido de Caro presentó remociones de 98.79% para cianuro total, 99.45% para cianuro WAD y 99.9% para cianuro libre. Los autores concluyeron que el uso de peróxido de hidrógeno combinado con los catalizadores evaluados constituye una alternativa eficiente y viable para los procesos de detoxificación de efluentes cianurados.

Estrella y Velasco, (2025), desarrollaron una investigación orientada a validar métodos para la determinación de cianuro libre, cianuro WAD, demanda bioquímica de oxígeno, disco Secchi, salinidad, potencial redox y acidez en agua. El estudio se realizó en la laguna de Yahuarcocha, considerada como población de estudio con un volumen aproximado de 12.7 millones de m^3 . Para evaluar la aceptación de los métodos se estableció como criterio un porcentaje menor al 30%. Los resultados obtenidos para cianuro libre fluctuaron entre 22.38% y 29.48%, mientras que para cianuro WAD se registraron valores entre 23.45% y 27.09%. Asimismo, los parámetros de demanda bioquímica de oxígeno, salinidad, potencial redox y acidez se encontraron dentro de los rangos permitidos. Los autores concluyeron que los métodos evaluados presentan validez y confiabilidad para la determinación de cianuro en agua.

1.1.2. Antecedentes nacionales.

Arias, (2020), realizó una investigación orientada a evaluar la remoción de cianuro mediante procesos fisicoquímicos utilizando hipoclorito de sodio. El estudio fue de tipo

aplicado, con enfoque cuantitativo y diseño experimental. La población estuvo conformada por aguas residuales de origen industrial y la muestra correspondió a 20 litros de agua residual. Como instrumento de control se empleó una cadena de custodia para el seguimiento de las muestras analizadas. Los resultados evidenciaron que la menor concentración de cianuro obtenida fue de 0.00 mg/L, partiendo de una concentración inicial de 682.2 mg/L de cianuro y un pH de 13.9, aplicando una dosis de 25 mL de NaClO al 5%. El autor concluyó que el incremento en la dosificación de hipoclorito de sodio mejora significativamente la reducción del contaminante cianuro en las aguas residuales.

Davalos y Herrada, (2022), analizaron las técnicas más eficientes para la remoción de cianuro en aguas residuales. La investigación fue de nivel básico, de tipo descriptivo, con enfoque cualitativo y diseño no experimental. La muestra estuvo constituida por bases de datos provenientes de revistas científicas indexadas relacionadas con el tema de estudio, utilizando como técnica principal el análisis documental. Los resultados mostraron porcentajes de remoción entre 99.00% y 99.90% en periodos de tiempo comprendidos entre 1 y 48 horas, superando a otros métodos que requieren mayores tiempos de tratamiento. Los autores concluyeron que las técnicas de adsorción e hidrodinámica presentan una mayor eficiencia en la remoción de cianuro en aguas residuales.

Gutiérrez (2024), desarrolló una investigación enfocada en evaluar las variables que intervienen en el proceso de cianuración de minerales auríferos. El estudio presentó un enfoque explicativo-descriptivo con diseño experimental factorial. La muestra estuvo conformada por 60 kg de mineral procedente de un yacimiento aurífero. Los resultados determinaron que para alcanzar una máxima extracción de oro del 95.77% era necesario trabajar con un tiempo de cianuración de 48 horas, un tamaño de partícula de 74 μm y una concentración de cianuro de 0.05%. Finalmente, el autor concluyó que el adecuado control

y evaluación de las variables operativas permite optimizar la eficiencia del proceso de extracción de oro mediante cianuración.

1.2. Bases teóricas.

1.2.1. Concentración de cianuro.

Este proceso permite la disolución selectiva de estos metales a partir de sus minerales, facilitando su posterior separación y refinamiento. En el caso de la lixiviación de minerales auríferos, lo que se busca es recuperarse mediante disolución el oro y la plata presente en mineral empleando agente lixiviantes.

Las técnicas convencionales de lixiviación, como la cianuración, se enfrentan a desafíos significativos, incluidos problemas medioambientales y la eficiencia de extracción en minerales complejos. Uno de los métodos más estudiados para la lixiviación de oro es la cianuración, que a menudo se utiliza para minerales refractarios que contienen arsenopirita y otros minerales de azufre. El oro a menudo se encuentra en forma de partículas finas encapsuladas en matrices de minerales no metálicos, lo que dificulta la recuperación mediante procesos convencionales. Las investigaciones como la de Torkaman et al. (2023) indican que la cianuración puede extraer hasta el 84% del oro de ciertos minerales, mientras que la amalgama con mercurio ha mostrado un rendimiento notablemente inferior, con extracciones que rondan el 19%.

Gutarra y Lovera (2023) señala que uno de los aspectos fundamentales de la lixiviación es su capacidad de mejorar la eficiencia de recuperación de metales preciosos a partir de su mineralogía, estos minerales, que pueden incluir pirita y arsenopirita, poseen características que limitan la solubilidad de los metales por métodos convencionales.

1.2.1.1. Tipos de muestreo de soluciones de cianuro

Para medir la concentración de cianuro en diferentes entornos, se emplean diversos métodos de muestreo que pueden variar en cuanto a su enfoque y aplicación. Estos métodos

son cruciales no solo para detectar la presencia de cianuro, sino también para evaluar sus impactos potenciales en la salud humana y el medio ambiente.

Uno de los métodos más empleados para evaluar la presencia de cianuro es el muestreo in situ, el cual permite recolectar muestras directamente en cuerpos de agua o zonas contaminadas. Según Garces et al. (2018), el uso de muestreadores pasivos ha demostrado ser eficiente para medir contaminantes disueltos, incluido el cianuro, proporcionando información sobre su comportamiento en condiciones naturales. Asimismo, Uberhuaga et al. (2023) señalaron que los reactores fotocatalíticos permiten reducir concentraciones de cianuro desde 10 mg/L hasta 0.20 mg/L, contribuyendo tanto a su monitoreo como a su tratamiento.

Por otro lado, la biorremediación mediante microorganismos se presenta como una alternativa innovadora para el tratamiento de cianuro. En este sentido, Calisaya y Castillo (2020) evidenciaron que ciertas cepas bacterianas poseen la capacidad de tolerar y degradar cianuro en sedimentos de plantas de tratamiento de aguas residuales.

La capacidad adaptativa de estas comunidades biológicas podría incorporarse en métodos de muestreo que evalúen no solo la contaminación, sino también la presencia y efectividad de bioremediadores en el entorno.

1.2.1.2. Medición de concentración de cianuro

La medición de la concentración de cianuro en soluciones es fundamental, especialmente en el contexto de la industria minera, donde su uso está relacionado con la extracción de metales preciosos como el oro. Diversos métodos se han desarrollado y optimizado para cuantificar cianuro, cada uno con diferentes principios y niveles de precisión.

Un método efectivo consiste en la utilización de compuestos químicos como el nitrato de plata, que permite detectar y cuantificar el cianuro libre en efluentes mineros. En

un estudio, se empleó este método para analizar muestras de efluentes, encontrando que puede ser muy efectivo en la predicción de ecotoxicidad a partir de las concentraciones de cianuro libre detectadas (Sosa & Argota, 2017)

Además, el uso de técnicas avanzadas como la espectroscopia de absorción atómica (AA) ha sido documentado para medir concentraciones específicas de cianuro en soluciones acuosas. En experimentos relacionados con la lixiviación, se utilizaron soluciones sintéticas con concentraciones de cianuro de hasta 2500 ppm, mostrando la flexibilidad y precisión que estas técnicas pueden ofrecer en condiciones industriales (Castillo & Carpio, 2022).

Otra técnica interesante es la empleada en el estudio de la capacidad degradadora de cianuro por microorganismos, la cual se basa en la medición del crecimiento bacteriano en medios con diferentes concentraciones de cianuro.

Según Copari et al. (2020), los métodos microbiológicos permiten evaluar la reducción de la concentración de cianuro mediante el uso de bacterias con capacidad biorremediadora. En su estudio, algunas cepas de *Klebsiella* lograron disminuir concentraciones de cianuro de 250 ppm a niveles considerablemente menores en corto tiempo, demostrando la efectividad de estos microorganismos en procesos de tratamiento.

Por otro lado, Jaramillo et al. (2016) señalaron que ciertas especies vegetales poseen mecanismos biológicos capaces de contribuir a la detoxificación del cianuro en medios naturales y artificiales. Estos métodos complementarios representan alternativas sostenibles para la mitigación de contaminantes en sistemas acuáticos.

En general, la combinación de técnicas químicas y biológicas ofrece un enfoque robusto y multifacético para la medición y gestión de cianuro en soluciones, lo que es crítico tanto para la seguridad ambiental como para la salud pública en áreas donde el cianuro se utiliza en procesos mineros.

1.2.1.3. Condiciones de medición de cianuro

La medición del cianuro es una cuestión crítica en el ámbito de la salud pública y ambiental, ya que este compuesto es altamente tóxico y puede aparecer en diversas concentraciones en aguas residuales, particularmente en el contexto de la minería y la industria química. Los métodos de medición y las condiciones necesarias para su correcta evaluación son esenciales para mitigar sus efectos negativos.

Calizaya y Castillo (2020) mencionan que una de las condiciones principales para la medición del cianuro es la concentración de este compuesto en el medio evaluado. Estudios han demostrado que la biodegradación por microorganismos, como ciertas especies de *Klebsiella*, puede ser efectiva en concentraciones que superan 1 mM de cianuro, esencial para tratamientos biológicos en aguas residuales. Mamani et al (2020) refiere que se han documentado tasas de biodegradación que alcanzan hasta el 98 % en biorreactores optimizados a un pH adecuado y temperaturas que superan los 30 °C, lo que subraya la relevancia de controlar estos factores físico-químicos durante la medición.

Fernández et al. (2021) señalan que los métodos químicos son ampliamente utilizados para la medición y tratamiento del cianuro. Entre ellos, la oxidación con permanganato de potasio ha demostrado una eficiencia de remoción entre 95 % y 100 % en aguas residuales con altas concentraciones de cianuro, destacando por su rapidez y efectividad. No obstante, Sancho et al. (2009) indican que la presencia de compuestos como los tiocianatos puede dificultar los análisis, debido a que su oxidación parcial puede generar liberación adicional de cianuro en el sistema. Este aspecto indica que las condiciones del agua, como la presencia de interferentes químicos, son cruciales para obtener resultados precisos en la medición del cianuro.

1.2.2. Aguas circulantes.

La gestión del agua en los procesos de lixiviación de metales preciosos es fundamental debido a la presencia de cianuro en las aguas residuales generadas durante la extracción de oro. Este reactivo, utilizado para disolver metales preciosos, puede convertirse en un contaminante si no se realiza un tratamiento adecuado de los efluentes mineros.

Según Fernández et al. (2021), las concentraciones de cianuro en aguas de proceso pueden variar entre 40 mg/L y 700 mg/L. Para reducir estos niveles, se han aplicado métodos de desintoxicación química, destacando el uso de permanganato de potasio, el cual ha mostrado una alta eficiencia en la degradación de cianuros y tiocianatos en aguas residuales mineras.

Además, los sistemas biológicos han surgido como una alternativa viable para la biorremediación de aguas residuales que contienen cianuro en tal sentido Arias et al. (2023) afirman que diversas especies microbianas, como *pseudomonas pseudoalcaligenes* y *klebsiella*, han mostrado capacidades para degradar cianuro de forma efectiva; estos microorganismos pueden adaptarse y proliferar en condiciones desfavorables, convirtiéndose en una solución sostenible para mitigar la contaminación en circuitos de lixiviación.

Otra estrategia para el manejo de aguas contaminadas es la inclusión de macrófitas acuáticas, como se ha visto en el estudio de Jaramillo et al. (2016) estas plantas pueden absorber cianuro y otros contaminantes, contribuyendo a la depuración de aguas residuales provenientes del proceso de cianuración. El uso de tales bioindicadores y sistemas naturales puede no solo mejorar la calidad del agua, sino también ser parte de un enfoque más amplio hacia la sostenibilidad en minería.

Finalmente, la investigación queda abierta a innovaciones en el tratamiento de aguas contaminadas mediante la síntesis de nuevos materiales, como el óxido de titanio dopado,

que han demostrado propiedades mejoradas en la fotocátalisis y podrían ser utilizadas para la remoción de cianuros en aguas residuales como refiere León et al. (2023), de esta manera la combinación de métodos químicos, biológicos y físicos puede ofrecer un enfoque completo para la gestión de aguas circulantes en circuitos de lixiviación, garantizando tanto la eficacia en la extracción de metales preciosos como la protección del medio ambiente.

1.2.2.1. Monitoreo de aguas recirculantes

El monitoreo de aguas recirculantes en circuitos de lixiviación de oro y plata es esencial no solo para garantizar la eficiencia del proceso de extracción, sino también para minimizar el impacto ambiental asociado con la contaminación por metales pesados y cianuros. Este sector enfrenta un desafío constante en la gestión adecuada de los efluentes generados, y diversas metodologías han sido propuestas para llevar a cabo este monitoreo.

El control de la calidad del agua en procesos mineros puede fortalecerse mediante el uso de sensores remotos, los cuales permiten monitorear en tiempo real parámetros como turbidez y conductividad (Henrández & Pavón, 2024). Asimismo, el empleo de índices de calidad de agua facilita la evaluación y seguimiento del estado de los cuerpos hídricos involucrados en los procesos de lixiviación.

Por otro lado, Galindo et al. (2019) destacan que las plataformas móviles y el monitoreo colaborativo permiten recopilar y analizar información ambiental de manera más eficiente, además de promover la participación comunitaria en la vigilancia de la calidad del agua. También se han desarrollado métodos biológicos para evaluar la calidad de aguas recirculantes. En este sentido, Pérez et al. (2017) señalan que organismos acuáticos como *Ceriodaphnia cornuta* pueden actuar como bioindicadores sensibles a contaminantes y metales pesados presentes en el agua.

Finalmente, diversas investigaciones buscan alternativas más sostenibles para la recuperación de metales preciosos, como los procesos de lixiviación con tiosulfato y otros reactivos menos tóxicos que el cianuro, contribuyendo a reducir el impacto ambiental de la actividad minera (Huazo et al., 2024). Los resultados preliminares indican que estas alternativas no solo son menos dañinas, sino que también pueden ser más eficientes bajo ciertas condiciones.

En conclusión, el monitoreo de aguas circulantes en circuitos de lixiviación de oro y plata es fundamental para asegurar que los procesos mineros se lleven a cabo de manera sostenible y segura. Utilizando tecnologías avanzadas como sensores remotos, plataformas de monitoreo colaborativo y bioindicadores, así como explorando alternativas menos tóxicas para la lixiviación, la industria puede trabajar hacia una gestión más responsable de los recursos hídricos.

1.2.2.2. Métodos de determinación de calidad de las aguas

Estos métodos son esenciales para garantizar no solo la eficiencia del proceso de extracción, sino también la protección del medio ambiente. Diversas metodologías han sido desarrolladas para llevar a cabo este tipo de monitoreo, cada una de las cuales se adapta a diferentes contextos y objetivos.

El Índice de Calidad del Agua (ICA) es el más empleado ya que integra Múltiples variables físicoquímicas para proporcionar un valor representativo de la calidad del agua Robledo (2023). Este índice permite a los gestores ambientales tomar decisiones informadas para mejorar la calidad del agua mediante la identificación de tendencias y fuentes de contaminación. Por ejemplo, estudios han demostrado que el ICA puede ser útil en la gestión de microcuencas, evaluando su calidad en función de varios parámetros como el oxígeno disuelto, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y sólidos suspendidos totales (Torres, Patacón, & Agudelo, 2020).

Además, la aplicación de la estadística multivariante en el análisis de la calidad del agua ha sido efectiva para modelar y comprender mejor las interrelaciones entre diferentes parámetros. Zhindon et al. (2024) demostraron que la DBO y los sólidos disueltos totales son determinantes significativos de la calidad del agua en estudios realizados en estuarios, este enfoque permite identificar patrones y factores que afectan la calidad de las aguas recirculantes, lo que puede ser crítico para optimizar las operaciones de lixiviación.

La monitorización biológica también representa un método valioso para evaluar la calidad del agua, al respecto Escalona et al. (2022) afirman que el uso de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores ha ganado atención debido a su sensibilidad a cambios en el entorno acuático. Estos organismos no solo son fáciles de muestrear, sino que proporcionan información sobre las condiciones de aguas residuales e impactos ecológicos provocados por la lixiviación, según los estudios realizados por Yépez et al. (2017) en ríos contaminados se han utilizado diversidad de macroinvertebrados para inferir la calidad ecológica de las aguas y entender los impactos de los efluentes de lixiviación en la salud de los ecosistemas.

El monitoreo automatizado a través del uso de sensores de calidad de agua también ha mostrado un gran potencial. Estos dispositivos, que pueden medir parámetros como el pH, la conductividad y el oxígeno disuelto, permiten un seguimiento continuo y en tiempo real de las variables críticas (Franco, y otros, 2023). Esta tecnología no solo mejora la precisión del monitoreo, sino que también permite la implementación de sistemas de alerta temprana para detectar cambios bruscos en la calidad del agua, lo que es esencial en operaciones mineras donde la contaminación puede ocurrir rápidamente.

Por consiguiente, la combinación de métodos químicos, biológicos y tecnológicos puede ofrecer un enfoque integral y más efectivo para el monitoreo de aguas recirculantes en circuitos de lixiviación. Este enfoque holístico no solo ayuda a garantizar la sostenibilidad

operativa de las minas, sino que también contribuye a la protección del medio ambiente y la salud pública al prevenir la contaminación de fuentes de agua cercanas.

1.2.2.3. Parámetros hidrológicos

La calidad del agua recirculante en circuitos de lixiviación de oro y plata es esencial para prevenir impactos ambientales negativos y garantizar la sostenibilidad de los procesos mineros. Existen varios parámetros hidrológicos que son cruciales para evaluar y monitorear la calidad del agua en estos sistemas.

García et. al (2021) mencionan que los principales parámetros a considerar incluyen el pH, la turbidez, el oxígeno disuelto, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la conductividad y los sólidos totales disueltos. Estos parámetros pueden influir significativamente en el comportamiento del cianuro y otros metales presentes en las aguas residuales de la lixiviación. El pH, por ejemplo, puede afectar la solubilidad y toxicidad de los iones de cianuro. Un estudio demostró que un pH más alto puede contribuir a la estabilidad del cianuro, mientras que un pH bajo puede facilitar la conversión a ácido cianhídrico, un compuesto altamente tóxico.

Zhinda et al. (2023) menciona que la turbidez es otro parámetro importante que puede indicar la presencia de sólidos en suspensión, lo que a su vez puede reflejar sedimentación y erosión en el sistema. Un aumento en la turbidez puede estar asociado con el escurrimiento de partículas que contienen metales pesados y otros contaminantes, enfatizando la necesidad de monitorear este aspecto en las aguas recirculantes. Además, Hernández et al. (2020) sostiene que la conductividad eléctrica combinada puede evaluar la salinidad del agua y, por ende, su calidad. Un aumento en la conductividad puede ser indicativo de la contaminación por metales disueltos.

Pauta et al. (2019) manifiestan que el por ejemplo el Índice de Calidad de Agua (ICA), compila múltiples parámetros en una única métrica, lo que facilita el monitoreo y la

interpretación de las alteraciones en la calidad del agua. Gil et al. (2019) nos explican que estos índices se han aplicado en distintos contextos, y cuando se correlacionan con datos hidrológicos y meteorológicos, pueden ofrecer una visión más integral sobre el estado de los cuerpos de agua influenciados por la minería.

Además, Escalona et al. (2022) refieren que el monitoreo de macroinvertebrados como bioindicadores de la salud del ecosistema también se ha establecido como herramienta útil. La diversidad y abundancia de estos organismos pueden proporcionar información sobre la calidad del agua y ayudar a identificar impactos ambientales.

1.3. Definiciones conceptuales.

- *Balance hídrico*, relación entre entradas, salidas y almacenamiento de agua en un sistema o área determinada (Henrández & Pavón, 2024).
- *Condiciones*, conjunto de factores físicos, químicos o ambientales que afectan un proceso o sistema (Amaro et al., 2020).
- *Frecuencia de monitoreo*, intervalo de tiempo con el que se realizan mediciones o evaluaciones periódicas (Davalos & Herrada, 2022).
- *Límite de cuantificación*, concentración mínima de una sustancia que puede medirse con exactitud y precisión aceptables (Escalona et al., 2022).
- *Limites permisibles*, valores máximos o mínimos establecidos por norma para sustancias o condiciones en un medio (Robledo, 2023) .
- *Monitoreo*, observación y registro sistemático de datos para evaluar cambios o cumplir estándares (Copari, Carpio, & Cáceda, 2020).
- *Muestreo líquido*, es el proceso de recolectar una porción representativa de un líquido para su análisis físico, químico o biológico (Franco et al., 2023).

- *Parámetros hidrológicos*, variables que describen el comportamiento y dinámica del agua en un sistema llámese caudal, nivel, precipitación, etc (Robledo, 2023) .
- *Periodo de retorno*, tiempo promedio que transcurre entre eventos extremos de igual magnitud (Estrella & Velasco, 2025)..

1.4. Hipótesis de la investigación.

1.4.1. Hipótesis general.

H(i): Existe una relación significativa entre la concentración de cianuro de sodio y la calidad de las aguas recirculantes de las pozas de relave de MARSA – Retamas S.A., durante el año 2025, evidenciada a través de su variación temporal y espacial.

H(0): La concentración de cianuro de sodio no se relaciona ni influye significativamente en la calidad ni en el comportamiento de las aguas recirculantes de las pozas de relave de MARSA – Retamas S.A., durante el año 2025

1.4.2. Hipótesis específicas.

H(1): La concentración de cianuro de sodio en las aguas recirculantes provenientes de las pozas de relave presenta variaciones significativas entre los puntos de monitoreo y a lo largo del periodo evaluado.

H(2): La concentración de cianuro de sodio en las aguas recirculantes provenientes de las pozas de relave se relaciona significativamente con la calidad físico-química del agua, evidenciada por la variación en las concentraciones de metales disueltos.

H(3): La concentración de cianuro de sodio influye significativamente en el comportamiento del sistema de aguas recirculantes, reflejándose en tendencias de acumulación, estabilidad o atenuación de los contaminantes a lo largo del tiempo.

1.5. Operacionalización de variables e indicadores.

La tesis empleo dos variables, siendo “X” = Concentración de Cianuro Sodio, y “Y” = Aguas Recirculantes, para el estudio se empleó los informes de laboratorio de la calidad de las aguas recirculantes provenientes de las pozas de relave.

Tabla 1: Operatividad de variables mediante dimensiones e indicadores

Variable X	Concepción operacional	Dimensiones	Indicadores	Técnicas / Instrumentos
Concentración de Cianuro Sodio	“Es la cantidad de este compuesto presente en una solución, expresada generalmente en mg/L o % (Mamani, 2024)”	Muestreo líquido	1. Método analítico	Cuantitativa
			2. Instrumento	– Reporte de laboratorio
			3. Numero de muestras	– Base de datos de monitoreo
		Medición de concentración de cianuro	4. % de cianuro libre	– Reportes de monitoreo
			5. % de cianuro total	
			6. Límite de cuantificación	
		Periodo de analisis	7. Variación diaria	
			8. Tendencia (incremento, estabilidad o reducción)	
			9. Frecuencia de picos de cc.	
Variable Y	Concepción operacional	Dimensiones	Indicadores	Técnicas / Instrumentos
Aguas Recirculantes	“Agua reutilizada dentro de un proceso para reducir consumo y descargas (Saa & Guarnizo, 2022)	Monitoreo	10. Puntos de monitoreo (poza)	Cuantitativa
			11. Frecuencia de monitoreo	– Reporte de laboratorio
			12. Código de monitoreo (LQ)	– Base de datos de monitoreo
		Calidad fisico-química	13. Cu (mg/L)	– Reportes de monitoreo
			14. Fe (mg/L)	
			15. Pb (mg/L)	
			16. Zn (mg/L)	
			17. As (mg/L)	
		Comportamiento del sistema	18. Tendencia de acumulación	
			19. Estabilidad de conc.	

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. Diseño metodológico.

3.1.1. Tipo de investigación.

El estudio busca generar información técnica útil para la gestión y control del sistema de aguas recirculantes en una operación minera real, por lo que concierne a una investigación aplicada. Asimismo, presenta un nivel correlacional–explicativo, debido a que analiza la relación existente entre la concentración de cianuro de sodio y las condiciones de las aguas recirculantes, así como explica cómo dichas concentraciones influyen en la calidad del agua y en el comportamiento del sistema de recirculación.

3.1.2. Nivel de investigación.

Se desdobra bajo un nivel correlacional–explicativo, dado que no solo busca comprobar la relación existente entre la concentración de cianuro de sodio y las condiciones de las aguas recirculantes provenientes de las pozas de relave, sino también explicar el comportamiento de dicha relación en función de las variaciones observadas durante el período de estudio. El análisis se realiza en un intervalo temporal definido de 29 días consecutivos de monitoreo, lo que permite identificar patrones, tendencias y efectos asociados al sistema de aguas recirculantes.

3.1.3. Diseño de la investigación.

Dado que las variables no fueron expuestas a algún tipo de adaptación o remodelación, solo se estableció la relación causa y efecto de la concentración de cianuro de sodio y las condiciones de las aguas recirculantes, se considera su diseño como uno no experimental (Fernandez, 2014).

3.1.4. Enfoque de la investigación.

La tesis se basa en la medición numérica de la concentración de cianuro de sodio en las aguas recirculantes provenientes de las pozas de relave, así como en el análisis estadístico de su relación con las características físico-químicas y el comportamiento del sistema de recirculación, en tal sentido el enfoque más apropiado es de tipo cuantitativo de metodología deductiva, este permite obtener resultados objetivos, verificables y comparables en el tiempo.

3.2. Población y muestra.

3.2.1. Población

La población de la presente investigación es finita y claramente delimitada, y está conformada por reportes de laboratorio generados a partir del monitoreo de las aguas recirculantes provenientes de las pozas de relave de la unidad minera MARSA – Retamas S.A., durante 29 días consecutivos.

Esta delimitación resulta pertinente, dado que la información analizada es cuantificable, verificable y trazable, y se encuentra directamente relacionada con la evaluación de la concentración de cianuro de sodio en el sistema de aguas recirculantes, lo que garantiza la validez de los resultados obtenidos.

3.2.2. Muestra

Se considera de muestreo no probabilístico intencional o por conveniencia, debido a que la selección de los datos recae en la disponibilidad y accesibilidad de los 29 reportes de laboratorio provenientes del monitoreo ambiental diario del sistema de aguas recirculantes. Para cada análisis se extrajeron 4 muestras por punto de monitoreo (STARI, POZA 2, POZA 3, POZA 4), haciendo un total de 116 muestras, las cuales concentran los resultados analíticos necesarios para evaluar la concentración de cianuro de sodio y su comportamiento

en las aguas recirculantes, constituyéndose en una muestra representativa del período evaluado.

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

La recolección de datos se realizó mediante la *técnica de análisis documental*, considerando que la información utilizada proviene de 29 reportes de laboratorio generados a partir del monitoreo diario de las aguas recirculantes provenientes de las pozas de relave.

Los datos corresponden a las resultas analíticas de la *concentración de cianuro de sodio*, así como a los parámetros fisicoquímicos asociados a la calidad del agua, los cuales fueron obtenidos mediante *métodos analíticos estandarizados* y validados en laboratorio. Para la determinación de los metales (Cu, Fe, Pb y Zn) se empleó la *técnica de absorción atómica (AA) en medio ácido*, mientras que para el análisis de arsénico (As) se utilizó el *método FIAS en medio ácido*, ambos reconocidos por su precisión y confiabilidad en el análisis de aguas residuales mineras.

El instrumento de recolección de datos estuvo constituido por una *ficha de registro de datos*, diseñada para sistematizar la información contenida en los reportes de laboratorio, permitiendo organizar los resultados por poza, parámetro analizado, fecha de monitoreo y unidad de medida. Asimismo, se empleó una base de datos electrónica para consolidar la información y facilitar su posterior análisis estadístico y comparativo.

El uso de estas técnicas e instrumentos garantiza la validez, confiabilidad y trazabilidad de los datos, permitiendo establecer relaciones y explicar el comportamiento de la concentración de cianuro de sodio en las aguas recirculantes, en concordancia con el enfoque correlacional–explicativo del estudio.

3.4. Técnicas para el procesamiento de la información.

Se realizaron a partir de los reportes e informes de laboratorio obtenidos del monitoreo de las aguas recirculantes provenientes de las pozas de relave, los cuales constituyen una base de datos cuantitativa y estructurada. La información fue organizada, depurada y sistematizada mediante el uso de los programas Microsoft Excel y SPSS, lo que permitió un adecuado manejo y análisis de los datos recolectados.

En una primera etapa, se consideró medidas de tendencia central, , dispersión y frecuencias conocida como estadística descriptiva, con la finalidad de caracterizar el comportamiento de la concentración de cianuro de sodio y de las dimensiones asociadas a la calidad y comportamiento del sistema de aguas recirculantes. Asimismo, se evaluó la distribución de los datos mediante la verificación del supuesto de normalidad (K-S).

Posteriormente, para la contrastación de las hipótesis, se emplearon pruebas estadísticas inferenciales acordes con la naturaleza de los datos, específicamente la prueba t de Student, complementada con el análisis del p-valor, lo que permitió determinar la existencia y significancia de las relaciones entre las variables de estudio. De manera adicional, se analizaron los niveles de asociación y linealidad entre las dimensiones de las variables, en concordancia con el enfoque correlacional–explicativo de la investigación.

El empleo de estas técnicas estadísticas garantiza un tratamiento riguroso de la información y contribuye a la validez y confiabilidad de los resultados, permitiendo sustentar adecuadamente las conclusiones del estudio.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. Análisis de resultados de concentración de cianuro sodio

El uso de amperometría como método de análisis garantiza una alta sensibilidad y precisión, lo cual resulta adecuado para la determinación de cianuro en matrices acuosas asociadas a pozas de procesos o contención. La aplicación del mismo método para cianuro libre y total asegura consistencia metodológica, permitiendo una comparación confiable entre ambos parámetros.

4.1.1. Muestras líquidas: Determinación y método analítico

La determinación de cianuro libre (CN^- libre) en aguas por amperometría mide la corriente generada por la oxidación o reducción del cianuro en un electrodo, mientras que para el cianuro total implica un pretratamiento para liberar CN de complejos metálicos fuertes.

Tabla 2.

Método analítico (Amperometría) por número de muestras

Poza	Método de análisis	Parámetro	# de Reportes	# de Muestras
STARI, Poza 2, Poza 3, Poza 4	Amperometría (CN Libre)	CN- (mg/L)	29	116
	Amperometría (CN Total)	CN + (mg/L)	29	116

La Tabla 2 presenta los resultados del monitoreo de cianuro libre (CN^-) y cianuro total (CN^+) realizado en las pozas STARI, Poza 2, Poza 3 y Poza 4, utilizando el método de amperometría. Ambos parámetros fueron determinados en unidades de mg/L, bajo un mismo enfoque metodológico, lo que asegura la comparabilidad de los resultados obtenidos.

Durante el periodo de evaluación consideró 29 reportes analíticos para cada parámetro, acumulando un total de 116 muestras líquidas analizadas tanto para cianuro libre como para cianuro total. Esta cantidad de datos evidencia un monitoreo sistemático y

continuo, proporcionando una base de información suficiente para el análisis de la variabilidad de las concentraciones de cianuro en las pozas evaluadas.

Para el procedimiento de monitoreo y análisis de muestras para reciclo de CN y degradación se siguió el siguiente esquema, para monitorear la cuantificación de concentración de CN en los puntos previstos (STARI, Poza 2, Poza 3, Poza 4).

Figura 3.

Procedimiento de monitoreo y preparación de muestras para reciclo de CN y degradación

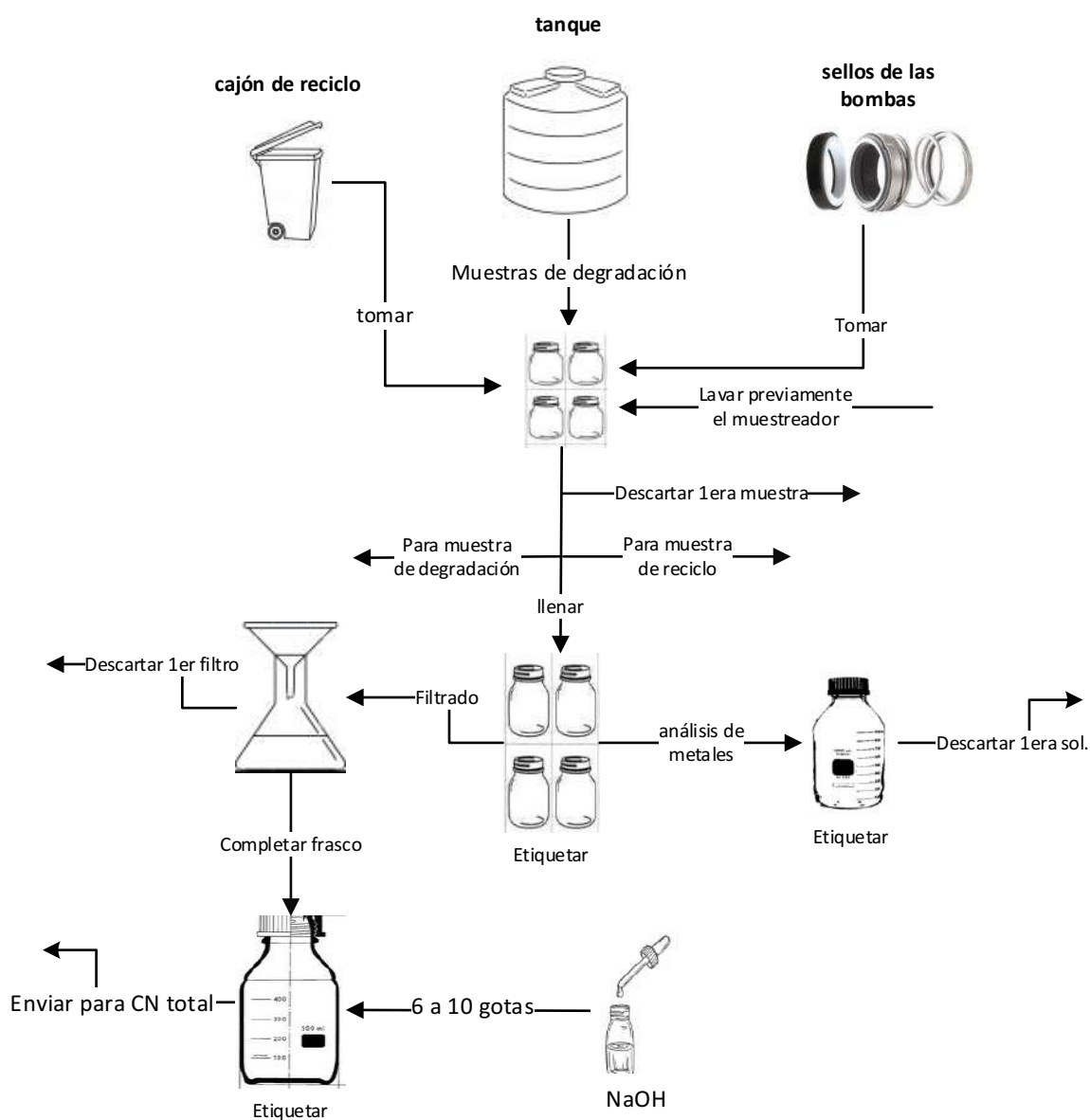
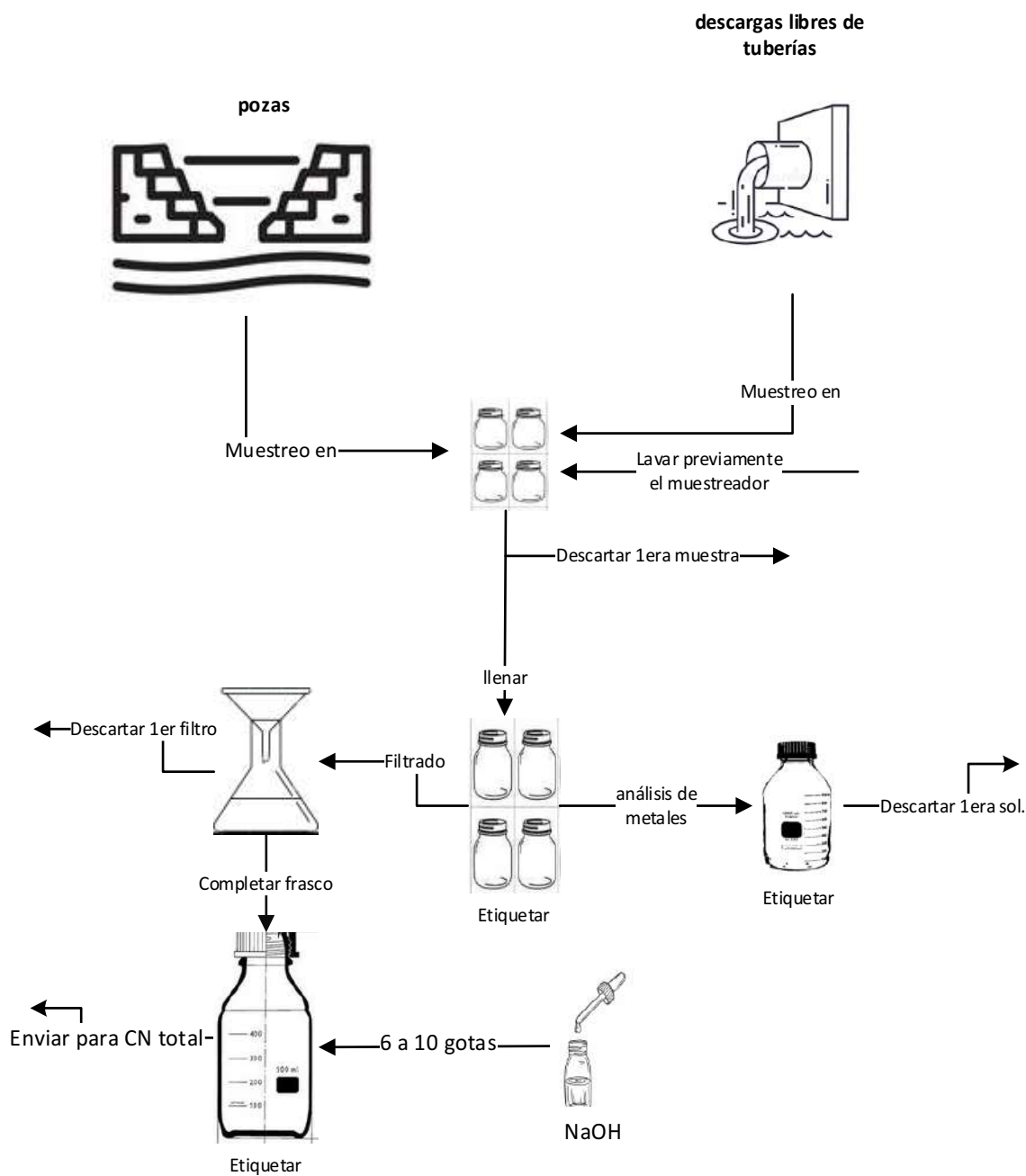


Figura 4.

Procedimiento analítico de muestras de STARI y Pozas



4.1.2. Concentración de cianuro

La medición de la concentración de **CN libre** y **total** se realizó con el método de amperometría, fueron alrededor de 116 muestras analizadas para cada parámetro, que para este estudio se asociaron en 4 lotes entre puntos de monitoreo y control.

Límites de cuantificación de CN libre

La tabla 3, agrupa los resultados de las 29 muestras en 3 lotes de 7 y 1 de 8 cuantificaciones; evidenciando concentraciones de ***cianuro libre (CN⁻)***, expresadas en mg/L, determinadas en las pozas STARI, Poza 2, Poza 3 y Poza 4, correspondientes a cuatro lotes de muestreo consecutivos. Los resultados evidencian diferencias significativas en los niveles de cianuro libre tanto entre pozas como entre lotes.

Tabla 3.

Cuantificación de concentración de CN libre (mg/L)

Poza	Parámetro	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4
STARI	CN ⁻ (mg/L)	10.94	7.10	3.49	2.93
POZA 2		27.28	12.96	8.65	7.17
POZA 3		0.06	0.09	0.13	0.07
POZA 4		0.46	0.70	0.76	0.78

Nota: Datos extraídos de los reportes de laboratorio.

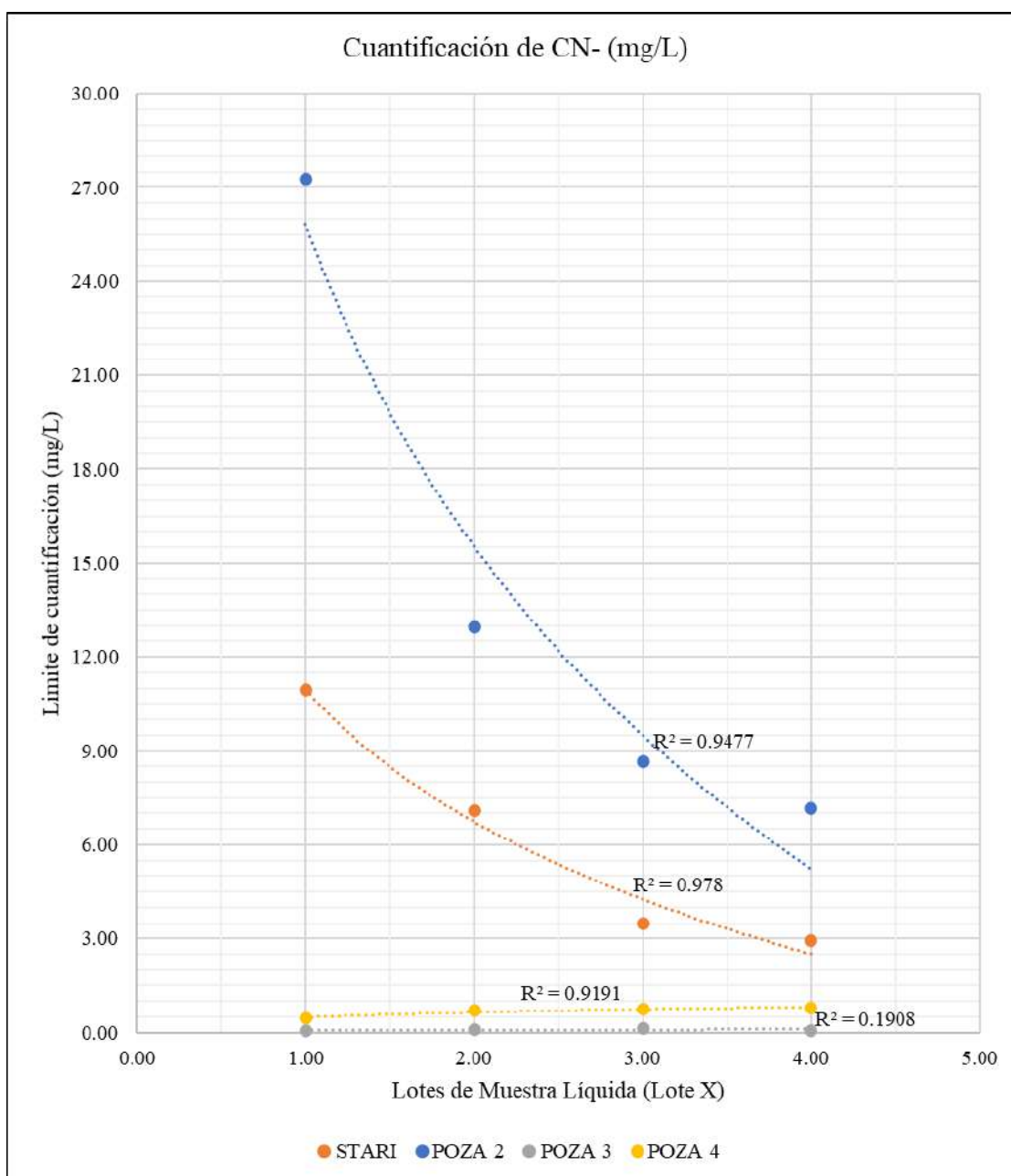
Las concentraciones de ***cianuro libre (CN⁻)*** presentan una alta variabilidad entre pozas y lotes de muestreo. La Poza 2 y STARI registran los valores más elevados, aunque con una tendencia decreciente desde el Lote 1 al Lote 4, lo que sugiere una reducción progresiva de la carga de cianuro. En contraste, la Poza 3 muestra concentraciones consistentemente bajas, mientras que la Poza 4 presenta valores moderados con una ligera tendencia creciente.

La figura 5 de análisis de cuantificación de cianuro libre (CN⁻) de lotes de muestreo evidencia una disminución progresiva de las concentraciones en las pozas STARI y Poza 2, las cuales presentan los valores más elevados en el Lote 1, seguidos de una reducción sostenida hasta el Lote 4. Los ajustes logarítmicos muestran altos coeficientes de determinación para ambas pozas (STARI: $R^2 = 0.978$; Poza 2: $R^2 = 0.9477$), lo que indica una fuerte relación entre el avance del muestreo y la reducción del cianuro libre. En contraste, la Poza 3 mantiene concentraciones cercanas al límite de cuantificación, con una

variabilidad mínima y un bajo ajuste del modelo ($R^2 = 0.1908$), mientras que la Poza 4 presenta valores bajos y relativamente estables, con un ajuste moderado ($R^2 = 0.9191$). En conjunto, los resultados confirman una reducción temporal del cianuro libre en las pozas con mayores concentraciones iniciales y una estabilidad en aquellas con niveles bajos, evidenciando comportamientos diferenciados del contaminante según la unidad evaluada.

Figura 5.

Análisis de cuantificación de CN- (mg/L) de los puntos de control



Límites de cuantificación de CN total

Respecto a esta cuantificación, los considerandos son los mismos pero las mediciones son para el **CN total (CN⁺)**, tomadas en los mismo puntos, y en las mismas condiciones físico-químicas durante el muestreo. Las concentraciones de **cianuro total (CN⁺)** muestran una variabilidad marcada entre pozas y lotes de muestreo.

Tabla 4.

Cuantificación de concentración de CN total (mg/L)

Poza	Parámetro	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4
STARI	CN ⁺ (mg/L)	29.51	14.67	8.04	6.46
POZA 2		12.52	5.15	2.19	2.67
POZA 3		0.63	0.43	0.32	0.34
POZA 4		10.85	0.76	0.06	0.08

Nota: Datos extraídos de los reportes de laboratorio

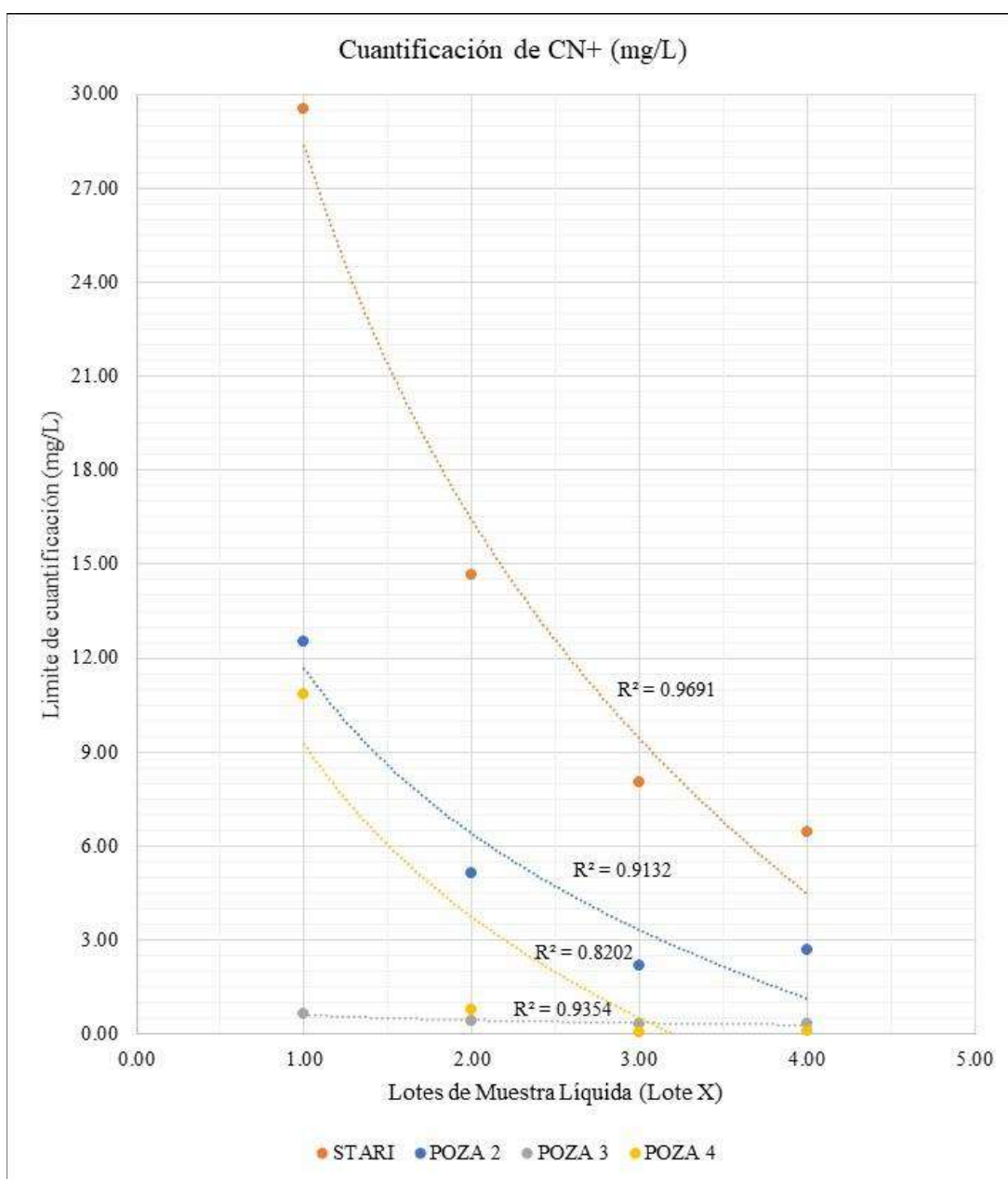
La tabla 4 muestra que la poza STARI registra los valores más elevados, con una tendencia decreciente desde el Lote 1 al Lote 4, lo que evidencia una reducción progresiva de la carga total de cianuro. La Poza 2 presenta concentraciones intermedias, también con una disminución general a lo largo de los lotes, aunque con una ligera variación en el Lote 4. En contraste, la Poza 3 mantiene valores bajos y estables, mientras que la Poza 4 muestra una reducción significativa del Lote 1 al Lote 4, alcanzando concentraciones mínimas.

La figura 6 de cuantificación de cianuro total (CN⁺) muestra una disminución progresiva de las concentraciones a lo largo de los lotes de muestreo en todas las pozas evaluadas, siendo la poza STARI la que presenta los valores iniciales más elevados, seguida de una reducción sostenida hasta el Lote 4. Los ajustes logarítmicos evidencian una alta correlación entre el número de lote y la reducción del cianuro total, con coeficientes de determinación elevados para STARI ($R^2 = 0.9691$) y Poza 2 ($R^2 = 0.9132$), lo que indica un comportamiento consistente de disminución temporal. La Poza 4 también muestra una reducción marcada,

con un ajuste adecuado ($R^2 = 0.8202$) mientras que la Poza 3 mantiene concentraciones bajas y estables, cercanas al límite de cuantificación, con un buen ajuste del modelo ($R^2 = 0.9354$). En conjunto, los resultados confirman una reducción temporal del cianuro total, especialmente en las pozas con mayores concentraciones iniciales, y una estabilidad relativa en aquellas con niveles bajos, evidenciando diferencias en el comportamiento del contaminante según la unidad de monitoreo.

Figura 6.

Análisis de cuantificación de CN^+ (mg/L) de los puntos de control



4.2. Análisis de resultados de las aguas recirculantes

Durante el periodo de estudio se generaron 29 reportes analíticos, lo que corresponde a 116 muestras por parámetro, resultado del muestreo simultáneo en las cuatro pozas.

4.2.1. Monitoreo

El esquema de monitoreo analítico del agua recirculante como se ha mencionado líneas arriba, se realizó en las pozas STARI, Poza 2, Poza 3 y Poza 4, bajo una frecuencia de registro diario, considerando una muestra por día para cada elemento evaluado (Cu, Fe, Pb, Zn y As).

Tabla 5.

Método analítico por parámetro de calidad de agua

Poza	Método de análisis	Parámetro	# de Reportes	# de Muestras
STARI, Poza 2, Poza 3, Poza 4	AA - Medio ácido	Cu (mg/L)	29	116
		Fe (mg/L)	29	116
		Pb (mg/L)	29	116
		Zn (mg/L)	29	116
	FIAS - Medio ácido	As (mg/L)	29	116

Como se puede observar en la tabla 5, los metales Cu, Fe, Pb y Zn fueron determinados mediante espectrometría de absorción atómica (AA) en medio ácido, técnica adecuada para la cuantificación de metales disueltos en matrices acuosas, mientras que el arsénico (As) fue analizado mediante FIAS en medio ácido, método específico que mejora la sensibilidad y confiabilidad para este elemento. En tal sentido, el diseño de monitoreo evidencia una cobertura temporal continua y un volumen de datos representativo, lo que fortalece la confiabilidad de la evaluación de la calidad del agua recirculante y el análisis de su comportamiento a lo largo del tiempo,

4.2.2. Calidad del agua

La calidad del agua recirculante, evaluada a partir de los límites de cuantificación (LC) de los elementos analizados (Cu, Fe, Pb, Zn y As), evidencia un comportamiento diferenciado según la poza de muestreo. En términos generales, las Pozas 2, 3 y 4 presentan concentraciones cuantificables bajas y relativamente estables, con tendencias decrecientes o sin patrones claros de acumulación, lo que indica una condición de calidad aceptable desde el punto de vista analítico, al mantenerse los valores cercanos o por debajo de los LC y con baja variabilidad temporal. En contraste, la poza STARI muestra concentraciones cuantificables significativamente más elevadas, especialmente para Cu, Fe y As, con tendencias crecientes bien definidas, lo que sugiere una acumulación progresiva de metales disueltos y un deterioro relativo de la calidad del agua recirculante en esta unidad. Por lo que, los resultados permiten concluir que la principal afectación de la calidad del agua recirculante se concentra en la poza STARI, mientras que las demás pozas reflejan un mejor control del contenido metálico, sin evidencia de acumulación sostenida respecto a los límites de cuantificación analizados.

Límites de cuantificación de Cu (mg/L)

La tabla 6, agrupa los resultados de las 29 muestras en 4 lotes de 7 cuantificaciones y 1 de 8 valores; evidenciando concentraciones de **cobre (Cu)**, expresadas en mg/L, determinadas en las pozas STARI, Poza 2, Poza 3 y Poza 4, correspondientes a cuatro lotes de muestreo consecutivos. Los resultados evidencian diferencias significativas en los niveles de cobre tanto entre pozas como entre lotes.

Tabla 6.

Cuantificación de concentración de Cu (mg/L)

Poza	Parámetro	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4
STARI	Cu (mg/L)	27.28	12.96	8.65	7.17
POZA 2		28.89	7.48	2.46	2.87
POZA 3		28.48	7.08	1.46	1.35
POZA 4		29.32	7.98	1.93	1.02

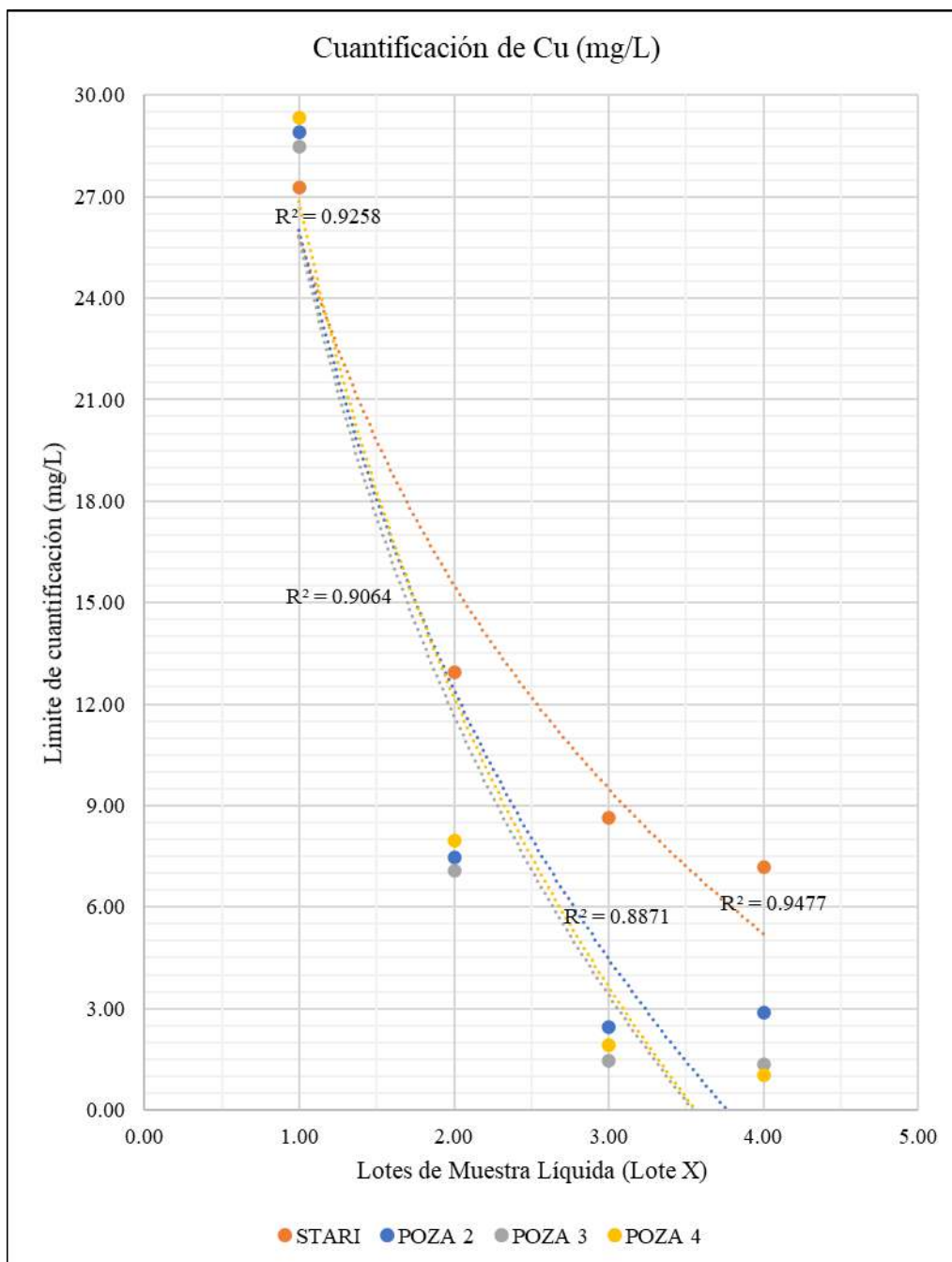
Nota: Datos extraídos de los reportes de laboratorio.

Las concentraciones de cobre (Cu) muestran una disminución marcada y consistente a lo largo de los cuatro lotes de muestreo en todas las pozas evaluadas. En el Lote 1, las cuatro pozas registran valores elevados y relativamente homogéneos, cercanos a 28–29 mg/L, lo que evidencia una alta carga inicial de cobre en el sistema. A partir del Lote 2, se observa una reducción significativa de las concentraciones, la cual se acentúa en los Lotes 3 y 4, alcanzando valores inferiores a 3 mg/L en las pozas Poza 2, Poza 3 y Poza 4. La poza STARI, si bien presenta una disminución progresiva, mantiene concentraciones relativamente mayores en comparación con las demás unidades.

La figura 7 de cuantificación de cobre (Cu) evidencia una disminución significativa y sostenida de las concentraciones a lo largo de los lotes de muestreo en todas las pozas evaluadas. En el Lote 1, las concentraciones son elevadas y relativamente homogéneas, cercanas a 28–29 mg/L, mientras que a partir del Lote 2 se observa una reducción abrupta, la cual se acentúa en los Lotes 3 y 4, alcanzando valores inferiores a 3 mg/L en las pozas Poza 2, Poza 3 y Poza 4. La poza STARI presenta una tendencia decreciente más gradual, manteniendo concentraciones comparativamente mayores en el Lote 4. Los ajustes de tendencia muestran altos coeficientes de determinación (STARI: $R^2 = 0.8871$; Poza 2: $R^2 = 0.9477$), lo que indica una fuerte relación entre el avance del muestreo y la reducción del cobre.

Figura 7.

Análisis de cuantificación de Cu (mg/L) de los puntos de control



Límites de cuantificación de Fe (mg/L)

Esta cuantificación evidencia diferencias significativas en los niveles de hierro tanto entre pozas como entre lotes. Las concentraciones de hierro (Fe) muestran una tendencia general decreciente a lo largo de los cuatro lotes de muestreo en las pozas evaluadas, con comportamientos diferenciados entre unidades

Tabla 7.

Cuantificación de concentración de Fe (mg/L)

Poza	Parámetro	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4
STARI	Fe (mg/L)	12.52	5.15	2.19	2.67
POZA 2		18.54	3.73	2.78	2.11
POZA 3		1.18	1.30	0.83	0.86
POZA 4		1.17	0.70	0.70	0.51

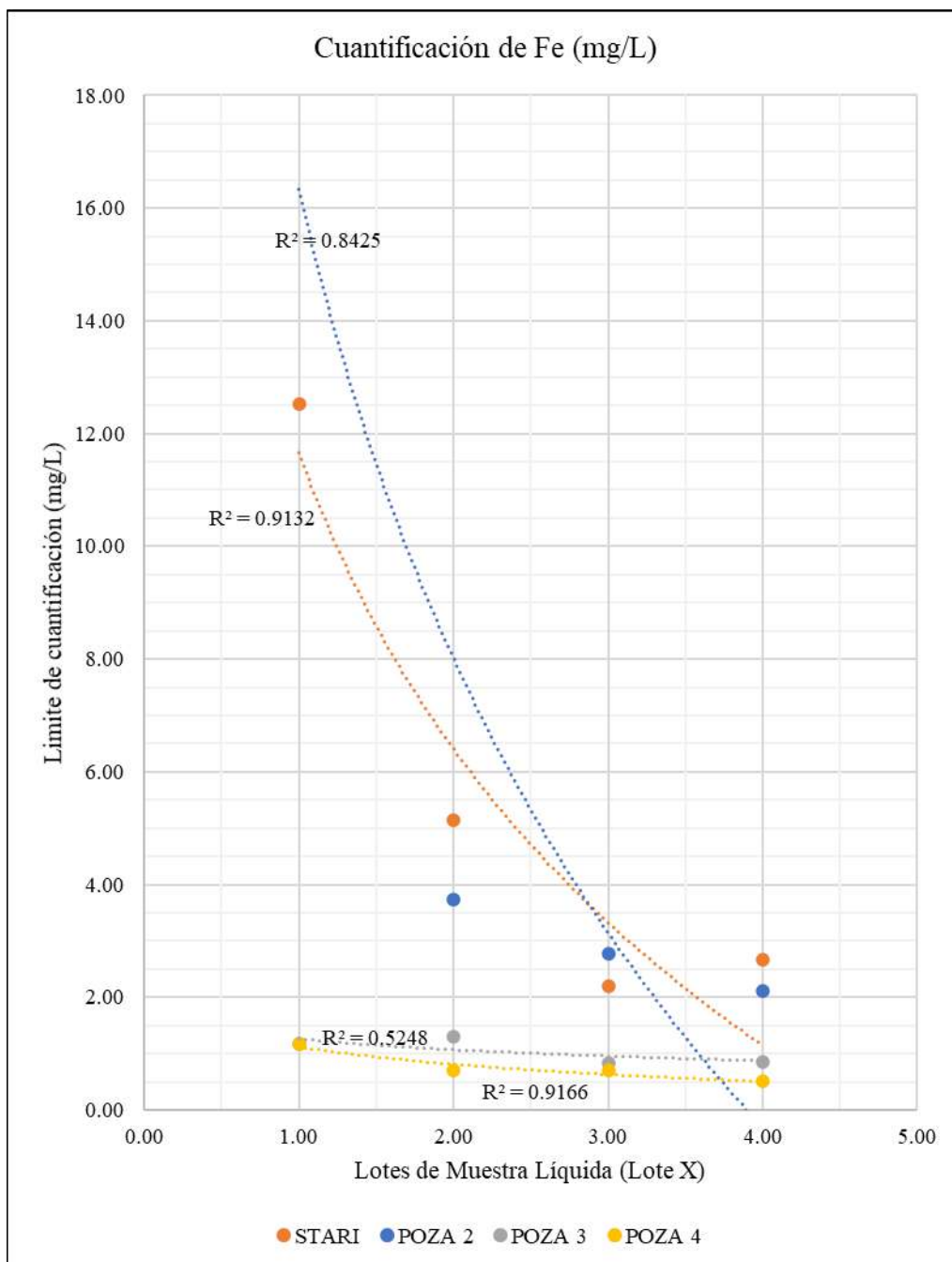
Nota: Datos extraídos de los reportes de laboratorio.

Como se puede observar en la tabla 7, el Lote 1, la Poza 2 y STARI registran los valores más elevados, destacando la Poza 2 con 18.54 mg/L, mientras que las Pozas 3 y 4 presentan concentraciones considerablemente menores, cercanas a 1.2 mg/L. A partir del Lote 2, se observa una reducción significativa del hierro en STARI y Poza 2, alcanzando valores cercanos a 2 mg/L en los lotes finales. En contraste, las Pozas 3 y 4 mantienen concentraciones bajas y relativamente estables durante todo el periodo evaluado, con valores inferiores a 1 mg/L en los últimos lotes.

La figura 8 de cuantificación de hierro (Fe) evidencia una reducción progresiva de las concentraciones a lo largo de los lotes de muestreo, especialmente en las pozas STARI y Poza 2, que presentan los valores iniciales más elevados. Los ajustes de tendencia muestran una fuerte relación entre el avance del muestreo y la disminución del hierro en estas pozas (STARI: $R^2 = 0.9132$; Poza 2: $R^2 = 0.8425$), lo que indica un comportamiento consistente de reducción temporal. En contraste, las Pozas 3 y 4 registran concentraciones bajas durante todo el periodo evaluado, con variaciones menores y ajustes moderados a altos (Poza 3: $R^2 = 0.5248$; Poza 4: $R^2 = 0.9166$). En conjunto, los resultados confirman una disminución temporal del hierro, más marcada en las pozas con mayores concentraciones iniciales, y una estabilidad relativa en aquellas con niveles bajos, evidenciando comportamientos diferenciados del metal según la unidad evaluada.

Figura 8.

Análisis de cuantificación de Fe (mg/L) de los puntos de control



Límites de cuantificación de Pb (mg/L)

Esta cuantificación refleja que las concentraciones de plomo (Pb) tienen valores bajos y una variabilidad limitada a lo largo de los cuatro lotes de muestreo en todas las pozas evaluadas bajo las mismas condiciones.

Tabla 8.

Cuantificación de concentración de Pb (mg/L)

Poza	Parámetro	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4
STARI	Pb (mg/L)	0.06	0.09	0.13	0.07
POZA 2		0.05	0.08	0.13	0.05
POZA 3		0.05	0.07	0.13	0.06
POZA 4		0.04	0.07	0.11	0.06

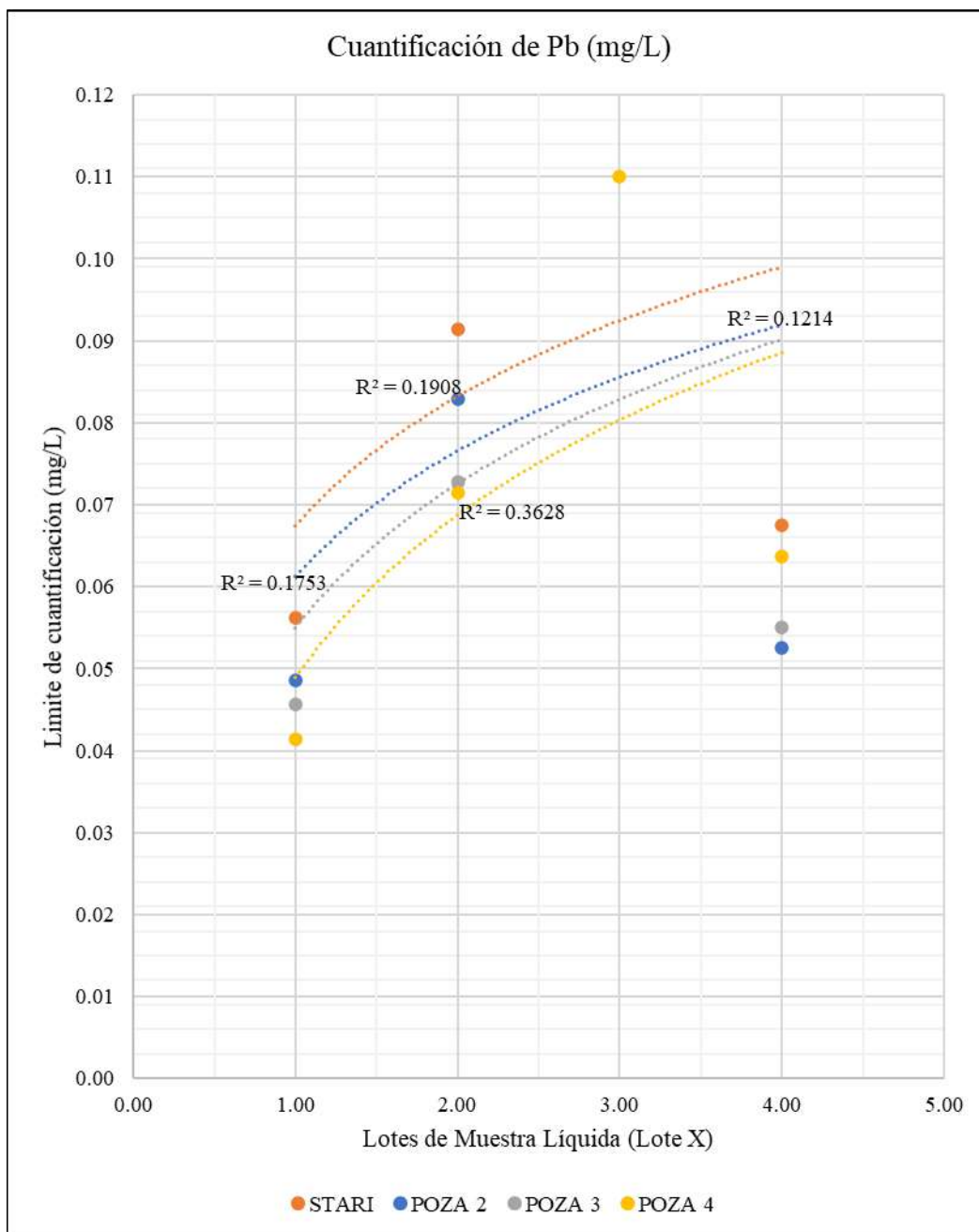
Nota: Datos extraídos de los reportes de laboratorio.

Tal como se observa en la tabla 8 existe un ligero incremento de las concentraciones desde el Lote 1 hasta el Lote 3, alcanzando valores máximos cercanos a 0.13 mg/L, seguido de una disminución en el Lote 4. Este comportamiento es consistente entre las pozas STARI, Poza 2, Poza 3 y Poza 4, las cuales presentan concentraciones similares, sin diferencias marcadas entre unidades.

La figura 9 de cuantificación de plomo (Pb) muestra concentraciones bajas y poco variables a lo largo de los lotes de muestreo en todas las pozas evaluadas. Se observa un ligero incremento de los valores desde el Lote 1 hasta el Lote 3, seguido de una disminución en el Lote 4, comportamiento que es consistente entre las pozas STARI, Poza 2, Poza 3 y Poza 4. Los ajustes de tendencia presentan bajos coeficientes de determinación (R^2 entre 0.12 y 0.36), lo que indica una relación débil entre el número de lote y la variación de las concentraciones de plomo, evidenciando una alta estabilidad del metal en el periodo evaluado, lo que sugiere una baja acumulación del metal en el sistema monitoreado.

Figura 9.

Análisis de cuantificación de Pb (mg/L) de los puntos de control



Límites de cuantificación de Zn (mg/L)

Para esta cuantificación las concentraciones de zinc (Zn) se mantienen en rangos bajos en todas las pozas evaluadas, con una variabilidad limitada a lo largo de los lotes de muestreo.

Tabla 9.

Cuantificación de concentración de Zn (mg/L)

Poza	Parámetro	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4
STARI	Zn (mg/L)	0.63	0.43	0.32	0.34
POZA 2		0.17	0.16	0.17	0.18
POZA 3		0.09	0.07	0.10	0.05
POZA 4		0.11	0.04	0.10	0.03

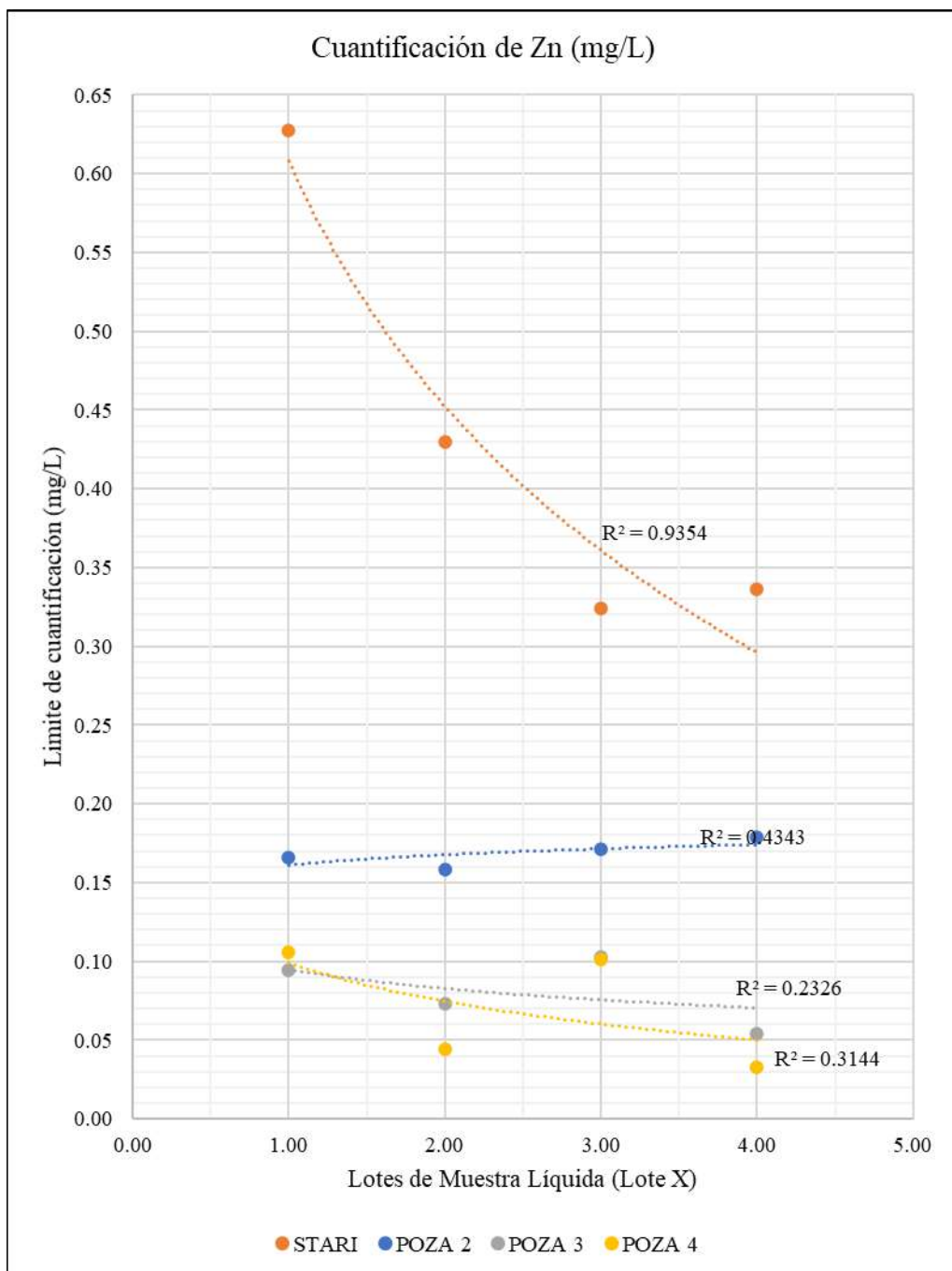
Nota: Datos extraídos de los reportes de laboratorio.

La tabla 9 registra que la poza STARI tiene los valores más elevados en el Lote 1, seguidos de una disminución progresiva hasta el Lote 3 y una ligera variación en el Lote 4. La Poza 2 presenta concentraciones prácticamente constantes, cercanas a 0.17 mg/L durante todo el periodo evaluado. En contraste, las Pozas 3 y 4 muestran fluctuaciones menores, con valores que oscilan entre 0.03 y 0.10 mg/L, sin una tendencia definida.

La figura 10 de **cuantificación de zinc (Zn)** evidencia concentraciones bajas y una variabilidad limitada en todas las pozas evaluadas a lo largo de los lotes de muestreo. La poza STARI presenta los valores más elevados en el Lote 1, seguidos de una tendencia decreciente hasta el Lote 3 y una ligera variación en el Lote 4, con un alto coeficiente de determinación ($R^2 = 0.9354$), lo que evidencia una consistente relación entre el avance del muestreo y la disminución del zinc. En contraste, la Poza 2 muestra concentraciones prácticamente constantes, con un ajuste débil del modelo ($R^2 = 0.4343$), mientras que las Pozas 3 y 4 presentan valores bajos y fluctuaciones menores, con coeficientes de determinación reducidos ($R^2 = 0.2326$ y $R^2 = 0.3144$, respectivamente). En conjunto, los resultados confirman una estabilidad general del zinc en las pozas monitoreadas, con una disminución más evidente únicamente en la poza STARI y sin incrementos significativos durante el periodo de evaluación.

Figura 10.

Análisis de cuantificación de Zn (mg/L) de los puntos de control



Límites de cuantificación de As (mg/L)

Esta cuantificación evidencia que las concentraciones de arsénico (As) presentan un comportamiento diferenciado entre las pozas evaluadas a lo largo de los cuatro lotes de muestreo.

Tabla 10.

Cuantificación de concentración de As (mg/L)

Poza	Parámetro	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4
STARI	As (mg/L)	0.46	0.70	0.76	0.78
POZA 2		0.12	0.05	0.06	0.11
POZA 3		0.09	0.03	0.04	0.04
POZA 4		0.11	0.03	0.16	0.02

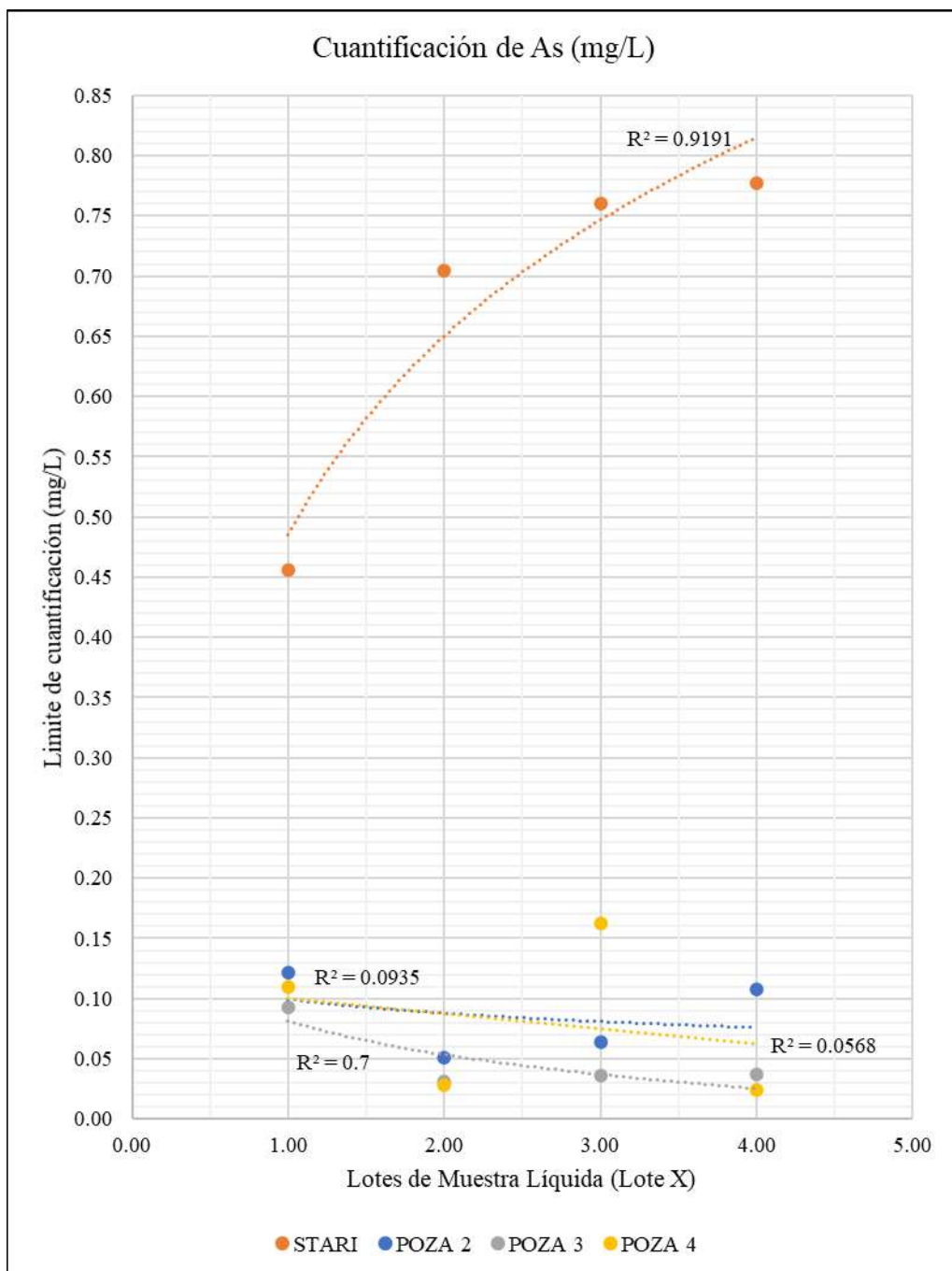
Nota: Datos extraídos de los reportes de laboratorio.

Como se registra en la tabla 9, la poza STARI presenta los valores más elevados y muestra una tendencia creciente sostenida, pasando de 0.46 mg/L en el Lote 1 a 0.78 mg/L en el Lote 4, lo que indica un incremento progresivo del arsénico durante el periodo de evaluación. En contraste, las Pozas 2 y 3 presentan concentraciones bajas, con ligeras fluctuaciones y sin una tendencia definida, manteniéndose por debajo de 0.12 mg/L. Por su parte, la Poza 4 muestra una mayor variabilidad, con un incremento puntual en el Lote 3 y una disminución marcada en el Lote 4.

La figura 11 de cuantificación de arsénico (As) evidencia diferencias marcadas entre las pozas evaluadas. La poza STARI presentó las concentraciones más elevadas, con una tendencia creciente sostenida desde el Lote 1 al Lote 4, respaldada por un alto coeficiente de determinación ($R^2 = 0.9191$), lo que indica una clara acumulación de arsénico en el tiempo. En contraste, las Pozas 2 y 4 registraron concentraciones bajas y variables, sin una tendencia definida, reflejada en coeficientes de determinación bajos ($R^2 = 0.0935$ y $R^2 = 0.0568$, respectivamente). Por su parte, la Poza 3 mostró una tendencia decreciente moderada ($R^2 = 0.70$), sugiriendo una reducción progresiva del contenido de arsénico durante el periodo evaluado. En conjunto, los resultados confirman que la acumulación significativa de arsénico se concentra en la poza STARI, mientras que las demás pozas mantienen niveles bajos y sin patrones de acumulación sostenida.

Figura 11.

Análisis de cuantificación de As (mg/L) de los puntos de control



4.2.3. Comportamiento del sistema

El abastecimiento de agua de la Planta de Beneficio proviene de dos fuentes principales: agua reciclada de los procesos de flotación y cianuración previamente tratada, y agua fresca captada de la quebrada, ubicadas en la cabecera de cuenca, en la zona alta del Depósito Integrado de Relaves.

La Tabla 11 evidencia que la principal fuente de abastecimiento de agua en la planta concentradora es el reciclo de la relavera de flotación, con 118.07 m³/h. Las fuentes de agua fresca de Laguna Blanca y la quebrada Mush Mush aportan volúmenes menores. Asimismo, el reciclo de la relavera de cianuración y la humedad del mineral complementan el suministro hídrico. El consumo promedio total alcanza 135.43 m³/h, destacando el uso predominante de agua reciclada en el proceso.

Tabla 11.

Promedio de consumo de agua

Fuente de agua	Agua de ingreso - Planta concentradora			
	m ³ /h	m ³ /día	m ³ /mes	m ³ /año
Reciclo: relavera de flotación	118.07	2834	85013	1020156
Agua Fresca (Laguna Blanca)	3.57	86	2572	30864
Agua Fresca (Qda. Mush Mush)	3.57	86	2572	30864
Humedad del mineral	3.60	86	2572	31104
Reciclo de la Relavera de Cianuración	6.61	159	4760	57120
Promedio de consumo	135.43	3250	97509	1170108

Nota: Fuente Marsa (2024)

La tabla 12 exhibe la ubicación geográfica de los principales componentes del sistema de manejo y recirculación de aguas y relaves de la planta, utilizando coordenadas UTM WGS-84 Zona 18. Se identifican las áreas correspondientes a los depósitos de relaves de flotación y cianuración, así como los sistemas de subdrenaje y recirculación de aguas decantadas. Esta información permite ubicar y controlar los puntos críticos asociados al manejo de efluentes y reutilización de agua dentro de la operación minera.

Tabla 12.

Ubicación de las instalaciones del DIR.

Fuente de agua	Coordenadas UTM WGS-84, Zona 18	
	Este	Norte
Depósito de relave de flotación (DRF)	233 433	9 108 827
Depósito de relave de cianuración (DRC) Poza 3	233 199	9 108 681
Depósito de relave de cianuración (DRC) Poza 4	233 339	9 108 675
Sistema de sub-drenaje	233 469	9 108 772
Sistema de recirculación del agua decantada del DRF	233 661	3 109 047
Sistema de recirculación del agua decantada del (DRC)		

Nota: Fuente Marsa (2024)

Planta de degradación de CN

La planta de degradación de cianuro tiene como finalidad reducir la concentración de cianuro presente en las soluciones de relave provenientes del proceso de cianuración, garantizando valores menores a 1 ppm para su recirculación a la Planta de Beneficio. El sistema de bombeo permite almacenar o recircular la solución tratada hasta alcanzar los parámetros establecidos. Asimismo, el sistema STARI trata las filtraciones, subdrenajes y excedentes de agua, especialmente en época de lluvias, mediante procesos de neutralización, coagulación, floculación y sedimentación para precipitar metales pesados antes de su reutilización.

La figura 12 representa el diagrama de flujo del sistema de degradación de cianuro y tratamiento de aguas residuales industriales de la planta. Se observa el ingreso de soluciones provenientes de la filtración de relaves y del reciclo de cianuración hacia los tanques reactores, donde se adicionan reactivos como sulfato ferroso, floculante y oxígeno para reducir la concentración de cianuro. Posteriormente, las soluciones tratadas son conducidas hacia las pozas de oxidación y almacenamiento para su recirculación o derivación al sistema STARI.

4.3. Contrastación de hipótesis.

El análisis de normalidad de los datos, realizado mediante la prueba de Shapiro – Wilk1 con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$, evidenció que la variable **concentración de cianuro de sodio** presenta una distribución normal ($p = 0,900 > 0,05$), mientras que la variable **aguas recirculantes** no cumple con el supuesto de normalidad ($p < 0,001$). No obstante, considerando el tamaño muestral ($n = 29$), la naturaleza cuantitativa de los datos y el enfoque correlacional–explicativo del estudio, los resultados obtenidos permiten sustentar metodológicamente la contrastación de hipótesis, complementando el análisis con estadística descriptiva y evaluación de tendencias temporales.

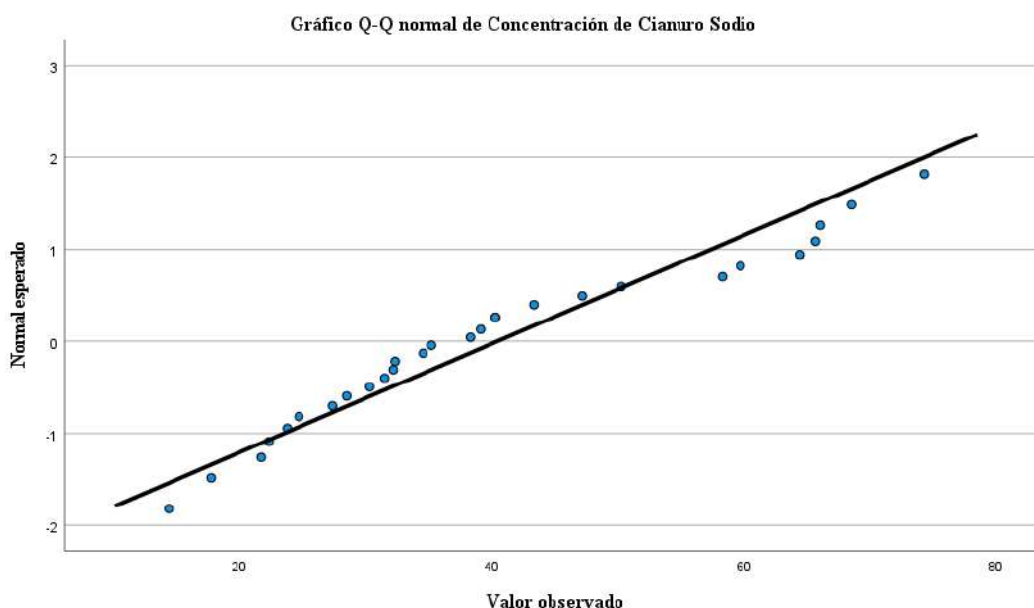
Tabla 13.

Normalidad de datos registrados en los reportes por Shapiro – Wilk1

Variables	Estadístico de contraste	Grados de libertad (gl)	Sig. (p-valor)
Concentración de Cianuro Sodio	0.936	29	0.900
Aguas Recirculantes	0.811	29	< 0.001

Figura 13.

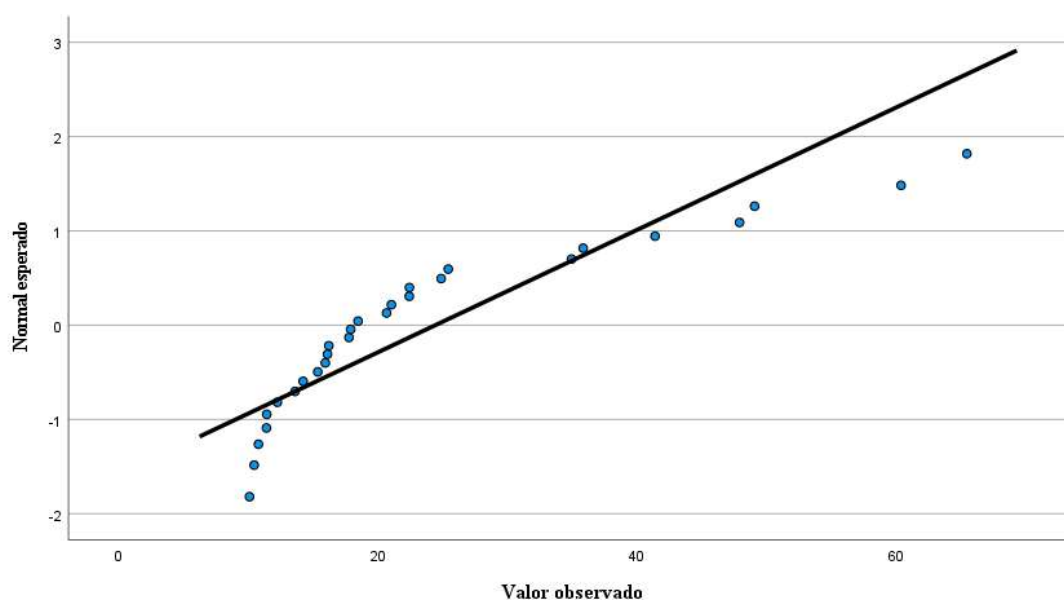
Gráfico Q-Q de concentración de NaCN



El análisis conjunto de los gráficos cuantil.cuantil (Q-Q) de la **concentración de cianuro** y de las **aguas recirculantes** muestra comportamientos diferenciados respecto al supuesto de normalidad. En el caso de la concentración de cianuro, los puntos se distribuyen de manera relativamente alineada con la recta teórica, especialmente en la zona central, lo que sugiere una aproximación aceptable a la normalidad, con ligeras desviaciones en los extremos. Por el contrario, el gráfico Q-Q de las aguas recirculantes evidencia desviaciones más pronunciadas y sistemáticas respecto a la línea de referencia, particularmente en los valores bajos y altos, lo que indica asimetría y presencia de colas no normales. En conjunto, estos resultados confirman que mientras la variable concentración de cianuro cumple razonablemente el supuesto de normalidad, la variable aguas recirculantes no lo satisface de forma estricta, lo cual respalda el uso de procedimientos estadísticos robustos o no paramétricos en la contrastación de hipótesis dentro del método hipotético-deductivo.

Figura 14.

Gráfico Q-Q de concentración de Aguas recirculantes



4.3.1. Contraste de hipótesis general.

Una vez verificada la normalidad de los datos, se procedió a contrastar las hipótesis a través la prueba t de Student, considerando un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$. Esta prueba permitió evaluar la existencia de diferencias significativas y establecer la relación entre la concentración de cianuro de sodio y las características de las aguas recirculantes, en función de las dimensiones definidas en el estudio.

H(i): Existe una relación significativa entre la concentración de cianuro de sodio y la calidad de las aguas recirculantes de las pozas de relave de MARSA – Retamas S.A., durante el año 2025, evidenciada a través de su variación temporal y espacial.

H(0): La concentración de cianuro de sodio no se relaciona ni influye significativamente en la calidad ni en el comportamiento de las aguas recirculantes de las pozas de relave de MARSA – Retamas S.A., durante el año 2025

Tabla 14.

Descriptivo estadístico de las variables

Variabes	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Concentración de Cianuro Sodio	29	40,4221	16,93177	3,19980
Aguas Recirculantes		24,4121	15,40289	2,91087

El análisis descriptivo de la tabla evidencia que la **concentración de cianuro de sodio** presenta una media de 40,42 con una desviación estándar de 16,93 (N = 29), lo que indica una dispersión moderada de los datos respecto al valor promedio; el error estándar de la media (3,20) sugiere una estimación aceptable de la media poblacional. Por su parte, la variable **aguas recirculantes** muestra una media de 24,41 y una desviación estándar de 15,40, reflejando una variabilidad relativamente elevada en relación con su media; el error estándar (2,91) indica una precisión similar en la estimación del promedio. En conjunto, estos estadísticos descriptivos permiten caracterizar el comportamiento central y la

dispersión de ambas variables, proporcionando una base metodológica adecuada para la posterior contrastación de hipótesis y el análisis de la relación entre ellas.

Tabla 15.

Significancia mediante el T Student de las variables

Variables	t	gl	Sig. (bilateral)	Δ medias	95% de intervalo de confianza Δ	
					Inferior	Superior
Concentración de Cianuro Sodio	12,633	28	<0.001	40,42214	33,8567	46,9876
Aguas Recirculantes	8,387		<0.001	24,41214	18,4395	30,3848

El análisis inferencial representado en la tabla 15 mediante la prueba t de Student evidencia que ambas variables presentan resultados estadísticamente significativos. En el caso de la concentración de cianuro de sodio, el valor $t = 12,633$ con 28 grados de libertad y una significancia bilateral menor a 0,001 indica que la media observada difiere de manera significativa del valor de referencia; asimismo, el intervalo de confianza al 95 % (33,86 – 46,99) no incluye el cero, lo que confirma la robustez del resultado. De forma similar, la variable aguas recirculantes muestra un estadístico $t = 8,387$ con significancia bilateral < 0,001, evidenciando también una diferencia estadísticamente significativa, respaldada por un intervalo de confianza positivo (18,44 – 30,38). Por lo tanto, estos resultados permiten rechazar la hipótesis nula y respaldan la validez del análisis inferencial, constituyendo un soporte estadístico sólido para la contrastación de las hipótesis planteadas en el estudio.

Tabla 16.

Análisis correlacional de las variables.

		Aguas Recirculantes
Concentración de Cianuro Sodio	Correlación de Pearson	0,406*
	Sig. (bilateral)	0,032
	N	29

Así mismo la tabla 16, respalda lo mencionado anteriormente ya que mediante la correlación de Pearson exponiendo una relación positiva y *significante* entre la *concentración de cianuro de sodio* y las *aguas recirculantes*, con un coeficiente $r = 0,406$ y un valor de significancia bilateral $p = 0,032$ ($p < 0,05$), calculado sobre un tamaño muestral de 29 observaciones, ello evidencia una correlación directa de magnitud moderada, sugiriendo que, a medida que se incrementa la concentración de cianuro de sodio, tienden a incrementarse también los valores asociados a las aguas recirculantes. En consecuencia, se rechaza la hipótesis de ausencia de relación y se acepta la hipótesis de la tesis, respaldando el enfoque correlacional–explicativo adoptado en la investigación.

4.3.2. Contraste de hipótesis específica.

Al igual que para la contrastación de hipótesis general se procedió con el análisis para la hipótesis específicas, en tal sentido tenemos como enunciado:

H_{E1}: La concentración de cianuro de sodio en las aguas recirculantes provenientes de las pozas de relave presenta variaciones significativas entre los puntos de monitoreo y a lo largo del periodo evaluado.

H_{E2}: La concentración de cianuro de sodio en las aguas recirculantes provenientes de las pozas de relave se relaciona significativamente con la calidad físico-química del agua, evidenciada por la variación en las concentraciones de metales disueltos.

H_{E3}: La concentración de cianuro de sodio influye significativamente en el comportamiento del sistema de aguas recirculantes, reflejándose en tendencias de acumulación, estabilidad o atenuación de los contaminantes a lo largo del tiempo

Tabla 17.

Descriptivo estadístico para respaldo de hipótesis específicas.

Variables	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
-----------	---	-------	------------------------	----------------------------

Concentración de Cianuro Sodio		40,4221	16,93177	3,19980
Monitoreo	29	5,0357	1,55116	0,29314
Calidad físico-química		15,1996	14,04062	2,65343
Comportamiento del sistema		4,1768	4,76166	0,89987

La tabla 17 muestran que la concentración de cianuro de sodio presenta una media de 40,42 (DE = 16,93; N = 29), mientras que las dimensiones asociadas a las aguas recirculantes evidencian valores medios diferenciados y niveles de variabilidad propios del sistema, destacando la calidad físico-química por su mayor dispersión. Al contrastar estos resultados mediante el análisis correlacional de Pearson, se obtuvo una relación positiva y significativa entre la concentración de cianuro de sodio y las variables asociadas al sistema de aguas recirculantes ($r = 0,406$; $p = 0,032$), lo que valida la hipótesis específica, confirmando que las variaciones en la concentración de cianuro de sodio se asocian de manera significativa con el monitoreo, la calidad físico-química y el comportamiento del sistema de aguas recirculantes.

Tabla 18.

Significancia mediante el T Student de las dimensiones

Variables	t	gl	Sig. (bilateral)	Δ medias	95% de intervalo de confianza Δ	
					Inferior	Superior
Concentración de Cianuro Sodio	12,633	28	<0.001	40,42214	33,8567	46,9876
Monitoreo	17,178		<0.001	5,03571	4,4342	5,6372
Calidad físico-química	5,728		<0.001	15,19964	9,7553	20,6440
Comportamiento del sistema	4,642		<0.001	4,17679	2,3304	6,0232

La tabla 18 expone los resultados de la prueba t de Student, ello evidencia diferencias estadísticamente significativas en todas las variables analizadas, dado que los valores de

significancia bilateral son menores a 0,001. La concentración de cianuro de sodio presenta un valor $t = 12,633$ ($gl = 28$), con un intervalo de confianza al 95 % que no incluye el valor cero (33,86 – 46,99), lo que confirma la estabilidad significativa de su media. De manera similar, las dimensiones del sistema de aguas recirculantes monitoreo ($t = 17,178$), calidad físico-química ($t = 5,728$) y comportamiento del sistema ($t = 4,642$) muestran resultados significantes, con intervalos de confianza positivos y consistentes. En conjunto, estos resultados validan las hipótesis específica y rechazan las nulas, evidenciando que la concentración de cianuro de sodio se asocia significativamente con las dimensiones del sistema de aguas recirculantes, reforzando el enfoque correlacional–explicativo del estudio.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

5.1. Discusión de resultados.

El estudio analiza la concentración de cianuro de sodio en aguas recirculantes desde un enfoque correlacional–explicativo, evidenciando su comportamiento como una variable dinámica del sistema. Los datos obtenidos para la variable concentración de cianuro de sodio evidencian un comportamiento variable a lo largo del período de monitoreo de 29 días, con una media de 40,42 mg/L, para la concentración de cianuro de sodio, así como una relación positiva y estadísticamente significativa con la variable aguas recirculantes ($r = 0,406$; $p = 0,032$); lo que refleja una dispersión moderada asociada a las condiciones operativas del sistema de recirculación. El análisis de los gráficos de cianuro libre (CN^-) y cianuro total (CN^+) en los puntos de monitoreo STARI, Poza 2, Poza 3 y Poza 4 evidenció un comportamiento decreciente de las concentraciones a lo largo del sistema de aguas recirculantes. En STARI y Poza 2 se registraron los valores más elevados, observándose una reducción progresiva del Lote 1 al Lote 4; en STARI, el CN^- disminuyó de 10,94 mg/L a 2,93 mg/L y el CN^+ de 29,51 mg/L a 6,46 mg/L, mientras que en Poza 2 el CN^- se redujo de 27,28 mg/L a 7,17 mg/L y el CN^+ de 12,52 mg/L a 2,67 mg/L. En contraste, en Poza 3 y Poza 4 las concentraciones de ambos parámetros se mantuvieron significativamente más bajas, con valores generalmente inferiores a 1 mg/L, lo que evidencia una mayor estabilización del sistema en estas etapas finales. La prueba de normalidad indicó que esta variable presenta una distribución normal ($p = 0,900$), condición que permitió la aplicación de pruebas paramétricas para su análisis inferencial. Asimismo, la prueba t de Student confirmó que la media observada es estadísticamente significativa ($t = 12,633$; $p < 0,001$),

lo que evidencia que los valores registrados representan condiciones reales y consistentes del sistema evaluado.

Los estudios internacionales confirman la confiabilidad de los métodos analíticos para la determinación de cianuro en agua, lo que respalda la validez de los datos obtenidos en el monitoreo de la presente investigación (Estrella & Velasco, 2025). Asimismo, investigaciones previas evidencian altas eficiencias en la remoción de cianuro mediante procesos de oxidación; sin embargo, estos estudios se desarrollan bajo condiciones controladas y no evalúan su comportamiento en sistemas reales de recirculación, aspecto que sí aborda este trabajo (Fernández et al., 2021; Saa & Guarnizo, 2022). Desde el enfoque teórico, el análisis termodinámico de Amaro et al. (2020) explica la persistencia del cianuro en medios alcalinos y reductores, condición frecuente en operaciones de cianuración, lo cual resulta coherente con la variabilidad observada en la concentración de cianuro de sodio en las aguas recirculantes, evidenciando que su comportamiento depende tanto de la dosificación como de las condiciones fisicoquímicas del sistema.

A nivel nacional, estudios como los de Arias (2020) y Dávalos y Herrada (2022) destacan la eficiencia de técnicas de remoción de cianuro en efluentes mineros, aunque sin analizar su relación estadística con el comportamiento del sistema de aguas; en contraste, los resultados del presente estudio demuestran una relación positiva y estadísticamente significativa entre la concentración de cianuro de sodio y las aguas recirculantes, permitiendo explicar su influencia sobre la calidad físico-química, el monitoreo y el comportamiento del sistema. Finalmente, en concordancia con lo señalado por Gutiérrez (2024), el control y análisis estadístico del cianuro se confirma como una variable crítica para la eficiencia del proceso de cianuración y una herramienta fundamental para la gestión ambiental y operativa, aportando evidencia complementaria a la literatura existente sobre sistemas de recirculación de aguas de relave.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones.

Los resultados confirman que la concentración de cianuro de sodio en el sistema de aguas recirculantes presenta un comportamiento controlado y estadísticamente consistente, mostrando una disminución progresiva a lo largo de las distintas etapas del sistema, desde STARI y Poza 2 hasta Poza 3 y Poza 4, donde se alcanzan niveles significativamente más bajos. Asimismo, la relación positiva y significativa con las aguas recirculantes evidencia que las condiciones operativas influyen directamente en la variabilidad del cianuro, mientras que la normalidad de los datos y la significancia de la media ratifican la confiabilidad de los resultados y la eficiencia del sistema de recirculación para la reducción y estabilización del cianuro residual.

Se concluye que la concentración de cianuro de sodio presenta una relación estadísticamente significativa con las aguas recirculantes provenientes de las pozas de relave, lo cual fue corroborado mediante la prueba t de Student y el análisis de correlación de Pearson ($r = 0,406$; $p = 0,032$). Este resultado permite aceptar la hipótesis general del estudio y confirma que las variaciones en la concentración de cianuro influyen de manera directa en el comportamiento del sistema de recirculación de aguas.

Respecto a la primera hipótesis específica, se concluye que el monitoreo de la concentración de cianuro de sodio presenta diferencias estadísticamente significativas ($t = 17,178$; $p < 0,001$), evidenciando que el seguimiento sistemático y continuo constituye un componente clave para la evaluación del comportamiento de las aguas recirculantes durante el periodo de estudio.

En relación con la segunda hipótesis específica, se concluye que la concentración de cianuro de sodio se asocia significativamente con la calidad físico-química de las aguas

recirculantes, resultado respaldado por la prueba t de Student ($t = 5,728$; $p < 0,001$) y por intervalos de confianza positivos. Este hallazgo confirma la influencia del cianuro sobre las condiciones físico-químicas del sistema evaluado.

En cuanto a la tercera hipótesis específica, se concluye que existe una relación estadísticamente significativa entre la concentración de cianuro de sodio y el comportamiento del sistema de aguas recirculantes ($t = 4,642$; $p < 0,001$), lo que demuestra que las variaciones del reactivo inciden en la respuesta operativa del sistema de relaves.

Finalmente, se concluye que la concentración de cianuro de sodio presenta una media elevada y una dispersión moderada, reflejando variaciones temporales propias del proceso operativo. Asimismo, el análisis de normalidad evidenció que dicha variable cumple el supuesto de distribución normal, mientras que la variable aguas recirculantes presenta ligeras desviaciones, sin comprometer la validez de los análisis inferenciales aplicados en la investigación.

6.2. Recomendaciones.

- Se recomienda fortalecer y mantener el monitoreo continuo de la concentración de cianuro de sodio en las aguas recirculantes provenientes de las pozas de relave, incorporando protocolos estandarizados de muestreo y análisis estadístico, con la finalidad de mejorar la detección oportuna de variaciones que puedan afectar el sistema de recirculación y la gestión ambiental de la operación minera.
- En concordancia con los resultados asociados al monitoreo, se recomienda implementar sistemas de control y verificación periódica de los datos analíticos, asegurando la trazabilidad de los reportes de laboratorio y la validación de los métodos empleados, a fin de garantizar la confiabilidad de la información utilizada para la toma de decisiones operativas y ambientales.

- Con relación a la influencia de la concentración de cianuro de sodio sobre la calidad físico-química de las aguas recirculantes, se recomienda optimizar los parámetros operativos del proceso, tales como pH, potencial redox y dosificación del reactivo, con el propósito de minimizar impactos adversos y asegurar condiciones compatibles con los estándares ambientales vigentes.
- Respecto al comportamiento del sistema de aguas recirculantes, se recomienda evaluar de manera periódica la eficiencia hidráulica y operativa del sistema de relaves, considerando la implementación de mejoras tecnológicas o ajustes en los procesos de recirculación que permitan reducir la variabilidad asociada a la concentración de cianuro de sodio.
- Finalmente, se recomienda que futuras investigaciones amplíen el periodo de monitoreo y consideren el análisis de variables complementarias, tales como cianuro libre, cianuro WAD y metales asociados, así como la aplicación de modelos estadísticos multivariados, con la finalidad de profundizar la comprensión del comportamiento del cianuro en sistemas de aguas recirculantes y fortalecer la gestión ambiental minera.

CAPÍTULO VII

REFERENCIAS

5.1. Fuentes bibliográficas

- Adams, M. (2016). *Procesamiento de mineral de oro: Desarrollo y operaciones de proyectos* (2da edición ed.). ELSEVIER.
- Carrasco, S. (2005). *Metodología de la investigación científica*. Lima: San marcos.
- Fernandez, C. (2014). *Metodología de la investigación*. Mexico D.F: Mc Gram Hill.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación* (6 ta edición ed.). Mexico D.C.: McGRAW-HILL.
- Domic, E. (2001). *Hidrometalurgia : fundamentos, procesos y aplicaciones*. Santiago de Chile.
- Marsden, J., & House, I. (2006). *The Chemistry of Gold Extraction* (2 da Edición ed.). Society for Mining, Metallurgy, and Exploration.
- Morral, F. J. (1985). *Metallurgia General* (Vol. Vol. II). Barcelona: Ed. Reverté S.A.

5.2. Fuentes documentales.

- Arias, V. (2020). Remoción de cianuro por procesos fisicoquímicos con Hipoclorito de sodio en efluentes de galvanizado, 2020. *Tesis de pregrado*. Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima. Obtenido de https://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13084/7796/UNFV_FIGAE_Ariaz_Mu%C3%B1oz_Viviana_Mirella_Titulo_profesional_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Davalos, A., & Herrada, A. (2022). Técnicas de remoción de cianuro en aguas residuales de la actividad minera. *Tesis de pregrado*. Universidad Cesar Vallejo, Lima. Obtenido

de

https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/98334/Davalos_CAG-Herrada_RAM-SD.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Estrella, Y., & Velasco, M. (2025). Validación de métodos para la determinación de Cianuro Libre, Cianuro WAD, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Disco Secchi, Salinidad, Potencial Redox y Acidez en agua. *Tesis de pregrado*. Universidad Central del Ecuador, Quito. Obtenido de <https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/be293d46-cf58-4506-bf4f-ec5f6925fbda/content>

Gutierrez, R. (2024). Evaluación de variables del proceso de cianuración de minerales auríferos del yacimineto ISCHUORCCO-CURPAHUASI Apurímac. *Tesis de pregrado*. Universidad Nacional San Antonio de Abad del Cusco, Cusco. Obtenido de https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/10052/253T20241733_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Mamani, W. (2024). Efectos de la concentración de cianuro de sodio en la recuperación de oro por lixiviación en botellas y columnas en la unidad minera Pucamarca - Palca. *Tesis de pregrado*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna. Obtenido de <https://repositorio.unjbg.edu.pe/server/api/core/bitstreams/2abb736d-3ff5-4a59-b1d7-fbb57d24ce61/content>

Poma, J., & Guevara, V. (2024). *Uso del amonio cuaternario en la separación de cobre y recuperación de cianuro en la extracción de metales por lixiviación*. Huancavelica, Perú: Universidad Nacional de Huancavelica - INUDI PERÚ. doi:DOI: 10.35622/inudi.b.136

Saa, L., & Guarnizo, J. (2022). Análisis de alternativas para la remoción del cianuro presente en los efluentes de los relaves de minas auríferas. *Tesis de título profesional*. Universidad de Antioquia, Colombia. Obtenido de <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/server/api/core/bitstreams/cd8d5fee-9e7d-4bd7-9360-b9f5e4f87070/content>

5.3. Fuentes hemerográficas.

- Amaro, B., Garza, M., Martínez, A., Soria, M., & Carrillo, F. (2020). Tratamiento de aguas residuales de cianuración. Un enfoque termodinámico. *CienciAcierta*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/377467724_Evaluacion_de_dos_sistemas_de_tratamiento_de_aguas_grises_para_el_reuso_en_areas_verdes_en_escuelas_publicas_Lima_2023
- Arias, V., Tito Sánchez, Y. C., & Vega, R. (2023). Aislamiento y adaptación de *Pseudomonas pseudoalcaligenes* en un efluente de proceso de cianuración de minerales auríferos. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias geográficas*, 26(52). doi: 10.15381/iigeo.v26i52.26547
- Calisaya, J., & Castillo, D. (2020). Aislamiento y capacidad degradadora de cianuro de *Klebsiella* sp. de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Magollo, Tacna – Perú. *Ciencias*, 37-44. doi:<https://doi.org/10.33326/27066320.2020.4.985>
- Castillo, D., & Carpio, M. (2022). Biodegradación del cianuro contenido en el lixiviado de un mineral aurífero. *RECIBYA*, 1(1), 81-89. doi:10.33326/29585309.2022.1.1596
- Copari, A., Carpio, M., & Cáceda, C. (2020). Optimización de factores fisicoquímicos en la biodegradación de cianuro por *Klebsiella* sp. ART1, en biorreactor aireado. *Ciencia & Desarrollo*, 20-31. doi:doi.org/10.33326/26176033.2020.26.929

- Escalona, R., Infante, D., García, J., Ramírez, N., Ortiz, C., & Barba, E. (2022). Evaluación de la calidad del agua y de la ribera en la cuenca del río Margaritas, Chiapas, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 37-56. doi:<https://doi.org/10.20937/RICA.54092>
- Fernández, B., Viña, J., Ayala, J., & Conchi, A. (2021). Eficacia del permanganato potásico en la degradación de cianuro y tiocianato en aguas residuales mineras. *Rev. Int. Contam. Ambiental*, 37, 109-117. doi: 10.20937/rica.53701
- Franco, E., Jucá, R., Ovando, A., Montero, E., Bonilla, S., & Veda, A. (2023). Sensores de calidad de agua para el control de la contaminación físicoquímica en los acuíferos de Latinoamérica: una revisión. *Ciencia, Ambiente y Clima*, 6(1), 2636-2333. doi: <https://doi.org/10.22206/cac.2023.v6i1.pp45-70>
- Galindo, I., López, Á., Hernández, L., Sosa, C., & Posadas, J. (2019). Aplicación para el monitoreo colaborativo de la calidad de cuerpos de agua usando bioindicadores. *Research in Computing Science*, 148(8), 407–421. doi:10.13053/rcs-148-8-31
- Garces, V., Lerma, T., Palencia, M., & Combatt, E. (2018). Construcción de un muestreador pasivo tipo sonda para estudiar el contenido de metales pesados en la fase acuosa del suelo. *Journal of Science with Technological Applications*, 4-16. doi:<https://doi.org/10.34294/j.jsta.18.4.26>
- García , J., Osorio, M., Saquicela, R., & Cadme, M. (2021). Determinación del índice de calidad del agua en ríos de Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. *Ingeniería del agua*, 115-126. doi:<https://doi.org/10.4995/ia.2021.13921>
- Gil, J., Vizcaino, C., & Veliz, C. (2019). Evaluación de la calidad del agua subterránea utilizando el índice de calidad del agua (ICA). Caso de Estudio: Acuíferos de Maturín, Estado Monagas, Venezuela. *Revista De Investigación De Agroproducción Sustentable*, 9–23. doi:<https://doi.org/10.25127/aps.20193.488>

- Gutarra, A., & Lovera, D. (2023). Recuperación de oro de minerales auríferos refractarios, la importancia de la caracterización mineralógica y el efecto del oxígeno en la lixiviación ácida. *Revista Del Instituto de investigación de La Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias geográficas*, 26(51), e25031. doi:<https://doi.org/10.15381/iigeo.v26i51.25031>
- Henrández, R., & Pavón, N. (2024). Índices para el monitoreo de cuerpos de agua usando sensores remotos. *Acta Universitaria Multidisciplinary Scientific Journal*, 34, 1-19. doi:doi.org/10.15174/au.2024.3814
- Hernández, L., Mora, J., & Coy, R. (2020). Monitoreo de nitratos en los drenajes de palma aceitera (*Elaeis guineensis*): una herramienta para la sostenibilidad del cultivo [Nitrate monitoring in oil palm drainages (*Elaeis guineensis*): A tool for crop sustainability]. *Revista de investigación de la Uned*. doi:<https://doi.org/10.22458/urj.v12i1.2807>
- Huazo, J., Cisneros, G., Juárez, J., Teja, A., Hernández, O., & Legorreta, F. (2024). Efecto sinérgico de tiosulfato de sodio y glicina en la lixiviación de plata, utilizando peróxido de hidrógeno como oxidante y etilenglicol, en una muestra polimetálica de Zimapán: influencia de la temperatura. *Tópicos de Investigación en Ciencias de la Tierra y Materiales*, 11(11), 46-52. doi:<https://doi.org/10.29057/aactm.v11i11.13140>
- Jaramillo, M., Buitrago, D., Henao, S., & Galvis, J. (2016). Manejo de macrófitas acuáticas en la acumulación y transformación de cianuro producto del beneficio del oro en la mina La Coqueta. *Bol.cient.mus.hist.nat*, XX(1), 63-77. doi:DOI: 10.17151/bccm.2016.20.1.6

- León, R., León, W., Martín, & Valverde, S. (2023). Síntesis de óxido de titanio (IV) dopado con tierras raras para la eliminación de cianuro. *Ciencia e investigación*, 26(1). doi:10.15381/ci.v26i1.27485
- Moslehi, M., Ahmadi, A., Hajebi, A., & Sadeghi, M. (2023). Efecto del tiempo de lixiviación y posición de las semillas en la germinación y características vegetativas de *Moringa peregrina* (Forssk.) Fiori [Effect of leaching time and seed position on the germination and vegetative characteristics of *Moringa peregrina*]. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 133-146.
- Pauta, G., Velazco, M., Gutierrez, D., Vázquez, G., Rivera, S., Morales, O., & Abril, A. (2019). Evaluación de la calidad del agua de los ríos de la ciudad de Cuenca, Ecuador [Water quality assessment of the rivers of Cuenca city in Ecuador]. *Maskana*, 76-88. doi:https://doi.org/10.18537/mskn.10.02.08
- Pérez, I., Garatachia, M., García, A., & Rubio, I. (2017). Evaluación de la sensibilidad del cladócero tropical *Ceriodaphnia Cornuta* a metales pesados. *Rev. Int. Contam. Ambiental*, 33(1), 49-56. doi:DOI: 10.20937/rica.2017.33.01.04
- Robledo, J. (2023). Evaluación del Índice de Calidad de Agua ICA-NSF en las microcuencas del Parque Nacional Río Dulce como herramienta en la gestión integral del manejo sustentable, Livingston, Izabal, Guatemala, Centroamérica. *Revista Tecnología En Marcha*, 36(1), 106–116. doi:10.18845/tm.v36i1.6241
- Sancho, J., Fernández, B., Ayala, J., García, M., & Lavandeira, A. (2009). Aplicación del permanganato potásico para la eliminación de cianuros de cobre en aguas residuales de la planta de lixiviación en una mina de oro. *Revista De Metalurgia*, 415 - 423. doi:https://doi.org/10.3989/revmetalm.0846

- Sosa, R., & Argota, G. (2017). Predicción ecotoxicológica ante concentraciones no deseadas de cianuro libre en efluentes mineros-auríferos. *Campus*, *XXII*(24), 179-186. doi:<https://doi.org/10.24265/campus.2017.v22n24.03>
- Torkaman, P., Veiga, M., Lavkulich, L., & Klein, B. (2023). Investigación de técnicas para sustituir la amalgamación en operaciones de minería artesanal de oro. *Revista Internacional de Investigación en Energía Sostenible y Medio Ambiente*, *12*(2), 17-30. doi:<https://doi.org/10.18488/13.v12i2.3422>
- Torres, S., Patacón, M., & Agudelo, A. (2020). Evaluación de la calidad del agua de la zona media del río Cravo Sur. *Rev. Fac. Ciencias Básicas*, *15*(2), 117-127. doi:DOI: 10.18359/rfcb.4004
- Uberhuaga, A., Santelices, J., Velásquez, M., Cabrera, S., & Lopez, L. (2023). Diseño de un reactor cilindro-parabólico compuesto (CPC) para la oxidación fotocatalítica de cianuro en medio acuoso. *Revista Boliviana De Química*, *40*. Obtenido de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-54602023000100021
- Yépez, Á., Yépez, Á., Urdánigo, J., Morales, D., Guerrero, N., & TayHing, C. (2017). Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad hídrica en áreas de descargas residuales al río Quevedo, Ecuador. *Ciencia Y Tecnología*, *5*(2), 27-34. doi:DOI: <https://doi.org/10.18779/cyt.v10i1.196>
- Zhindaon, R., Sánchez, R., & Castañeda, W. (2023). Aplicación de la estadística multivariante para el desarrollo de un modelo de calidad del agua del Estero El Macho, Machala-Ecuador. *Revista de la universidad del zulia*, 428-446. doi:<https://doi.org/10.46925//rdluz.42.24>
- Zhindaon, R., Sánchez, R., & Castañeda, W. (2024). Aplicación de la estadística multivariante para el desarrollo de un modelo de calidad del agua del Estero El Macho, Machala-

Ecuador. *Revista de la Universidad del Zulia*, 15(42), 428-446. doi:DOI:
10.46925//rdluz.42.24

Anexos

Anexo 1: Instrumento 1- Reportes diario laboratorio (STARI)



REPORTE DE ENSAYO



1/1

Cliete: DEGRADACION PLANTA
N° Lote: LQ-2502668
Característica: Líquida Medio Ácido
Presentación: En frasco de plástico de 500 a 1 L
Metodología: CNLIB_AMP: Determinación de CN LIBRE en aguas, por Ampérometría.
 CNTOT_AMP: Determinación de CN TOTAL en aguas, por Ampérometría.
 MTOT_AA: Determinación de Metales Totales aguas, por AA, medio ácido
 MTOT_FIAS: Determinación de Metales Totales aguas por FIAS, medio ácido
 LC: Límite de Cuantificación.

Descripción Muestra: MUESTRAS STARI
Cantidad Muestras: 4
Fecha Recepción: 3/03/2025 20:39
Fecha Aprobación: 4/03/2025 02:36

C.Laboratorio	C.Cliente	Descripción	CNLIB_AMP	CNTOT_AMP	MTOT_AA				MTOT_FIAS
			LC (0.000)	LC (0.000)	LC (0.000)				LC (0.000)
			CN- (mg/L)	CN+ (mg/L)	CU (mg/L)	FE (mg/L)	PB (mg/L)	ZN (mg/L)	AS (mg/L)
001	ST 16	INGRESO STARI	14.63	40.55	35.49	3.86	0.11	0.47	0.73
002	ST 15	POZA 02	12.63	37.27	33.14	0.64	0.07	0.05	0.07
003	ST 19	POZA 03	11.01	33.27	25.09	0.63	0.07	0.06	0.19
004	ST-125	POZA 4	9.63	30.93	30.69	0.47	0.06	0.04	0.09

Notas: 03-03-25A

JORGE VALENZUELA CRUZATTI
Jefe de Laboratorio Químico

Anexo 2: Instrumento 1- Reportes laboratorio quincenal (STARI)



REPORTE DE ENSAYO



LQ-2502629

Ciliente: DEGRADACION PLANTA
N° Lote: LQ-2502629
Característica: Líquida Medio Básico
Presentación: En frasco de plástico de 500 a 1 L
Descripción Muestra: MUESTRAS STARI
Cantidad Muestras: 15
Fecha Recepción: 2/03/2025 20:16
Fecha Aprobación: 4/03/2025 02:38
Metodología: CNLIB_AMP: Determinación de CN LIBRE en aguas, por Ampérometría.
 CNTOT_AMP: Determinación de CN TOTAL en aguas, por Ampérometría.
 MTOT_AA: Determinación de Metales Totales aguas, por AA, medio ácido
 MTOT_FIAS: Determinación de Metales Totales aguas por FIAS, medio ácido
 LC: Límite de Cuantificación.

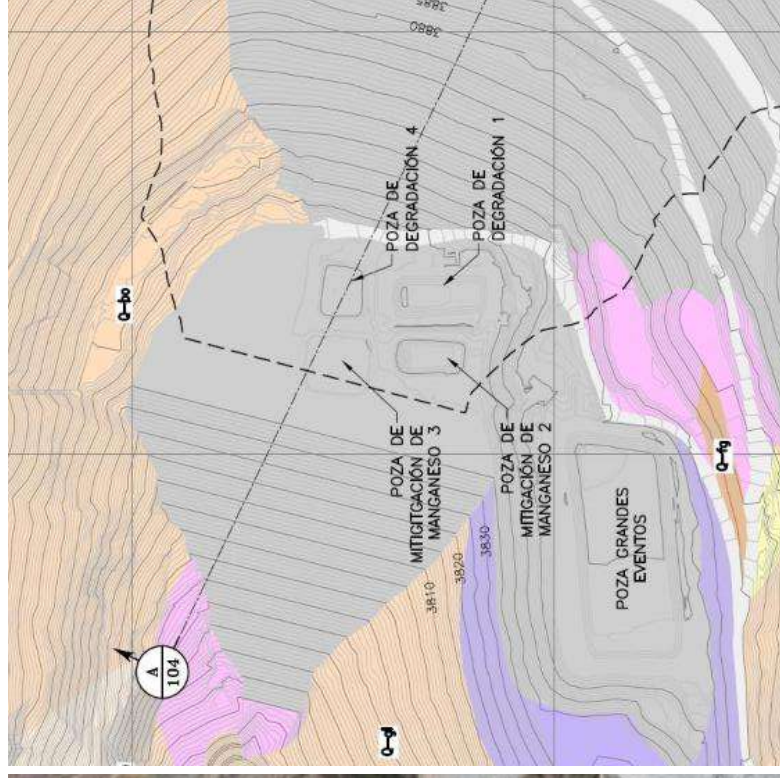
C. Laboratorio	C. Cliente	Descripción	CNLIB_AMP	CNTOT_AMP	MTOT_AA				MTOT_FIAS
			LC (0.000)	LC (0.000)	LC (0.000)				LC (0.000)
			CN- (mg/L)	CN+ (mg/L)	CU (mg/L)	FE (mg/L)	PB (mg/L)	ZN (mg/L)	AS (mg/L)
001	ST 14	RECICLO DE FLOTACION	0.06	0.20	0.31	5.29	0.12	0.06	0.22
002	ST-243	FILTRACIONES P.G.E	0.03	0.05	0.02	0.21	0.13	0.26	0.05
003	ST-161	SUBDRENAJE NUEVO	0.01	0.05	0.10	53.16	0.36	0.39	0.55
004	ST 13	SUBDRENAJE 04	0.06	0.16	0.14	23.62	0.07	0.09	1.09
005	ST 12	SUBDRENAJE 03	16.64	22.94	31.22	4.90	0.11	0.70	0.93
006	ST 11	SUBDRENAJE 02	12.05	37.33	33.65	5.09	0.15	0.81	0.63
007	ST-163	CAJON MARGEN IZQUIERDO	0.01	0.03	0.49	0.10	0.06	36.16	0.03
008	ST-164	CAJON MARGEN DERECHO	0.03	0.05	0.22	0.46	0.12	12.51	0.02
009	ST-104	POZA FINAL	3.10	10.06	9.62	0.40	0.07	1.27	0.06
010	ST-23	TUBO ARMCO	0.02	0.04	0.06	34.32	0.26	0.26	0.53
011	ST 16	INGRESO STARI	12.31	36.32	26.65	9.96	0.10	0.65	0.67
012	ST 16	POZA 02	10.46	32.50	26.64	2.37	0.13	0.10	0.06
013	ST 19	POZA 03	6.66	29.97	23.52	0.51	0.10	0.05	0.07
014	ST-125	POZA 4	6.79	30.01	26.29	0.66	0.21	0.05	0.06
015	ST 17	POZA 01	2.72	6.02	6.94	3.54	0.09	0.93	0.11

Notas: GUARDIA B

Anexo 3: Ubicación satelital de las pozas de relave y STARI



Anexo 4: Ubicación de las Pozas de relave



Anexo 6: Vista de sección general del DIR a la cota 3965 msnm

