

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela Profesional de Ingeniería de Minas



TESIS PROFESIONAL

**DETERMINACIÓN DEL BENEFICIO ECONÓMICO EN PADS DE
LIXIVIACIÓN DINÁMICOS DE LA UNIDAD MINERA EL TORO
– DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD**

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO DE MINAS

Autor:

BACH. MANTILLA MURGA, DANIEL

Asesor:

DR. ING. QUISPE MAMANI CRISPÍN ZENÓN

CAJAMARCA - PERÚ

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador : Daniel Mantilla Murga
2. DNI : 46463477
3. Escuela Profesional : Ingeniería de Minas

4. Asesor : Crispín Zenón Quispe Mamani
Facultad : Ingeniería

5. Grado académico o título profesional
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor

6. Tipo de Investigación:
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico

7. Título de Trabajo de Investigación: DETERMINACIÓN DEL BENEFICIO ECONÓMICO EN PADS DE LIXIVIACIÓN DINÁMICOS DE LA UNIDAD MINERA EL TORO - DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD.

8. Fecha de evaluación : 27 de junio de 2025

9. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)

10. Porcentaje de Informe de Similitud : 4%

11. Código Documento : Trn: Oid: 3117:470264567

12. Resultado de la Evaluación de Similitud:
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión : 27 de junio de 2025

		Firmado digitalmente por: BAZAN DIAZ Laura Sofia FAU 20148258601 soft Motivo: En señal de conformidad
FIRMA DEL ASESOR Nombres y Apellidos: Crispín Zenón Quispe Mamani	Fecha: 27/06/2025 19:48:18-0500 UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI	
DNI : 29243825		

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : DETERMINACIÓN DEL BENEFICIO ECONÓMICO EN PADS DE LIXIVIACIÓN DINÁMICOS DE LA UNIDAD MINERA EL TORO - DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD.

ASESOR : Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0456-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 05 de agosto de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **quince días del mes de agosto de 2025**, siendo las ocho horas (08:00 a.m.) en el Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica (Ambiente 4J - 210), se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

- Presidente : Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
- Vocal : M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.
- Secretario : M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada DETERMINACIÓN DEL BENEFICIO ECONÓMICO EN PADS DE LIXIVIACIÓN DINÁMICOS DE LA UNIDAD MINERA EL TORO - DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD, presentado por el Bachiller en Ingeniería de Minas DANIEL MANTILLA MURGA, asesorado por el Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA :03..... PTS.
 EVALUACIÓN PÚBLICA :11..... PTS.
 EVALUACIÓN FINAL :14..... PTSCATORCE..... (En letras)

En consecuencia, se lo declara **Aprobado** con el calificativo de **CATORCE** acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las **9:00 am** horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Presidente

M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.
Vocal

M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca.
Secretario

Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Asesor

AGRADECIMIENTO

A mis padres

Agradezco su apoyo incondicional, que ha sido fundamental en mi desarrollo personal y profesional. Su amor y sacrificio me han permitido alcanzar mis metas, y sus buenos hábitos y valores me han guiado por el camino correcto.

Agradezco a mi alma mater la Universidad Nacional de Cajamarca por permitirme ser parte de ella y estudiar mi carrera, así también a los docentes que compartieron sus conocimientos y su apoyo para seguir adelante.

A mi asesor, el Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani agradezco su orientación y apoyo en el desarrollo de mi tesis. Su capacidad y conocimiento científico me han sido de gran ayuda, y sus consultas han sido fundamentales para resolver mis dudas y mejorar mi investigación.

Agradecimiento especial dirigido a la empresa SUMMA GOLD CORPORATION S.A.C., los ingenieros Oscar Sánchez Moreno y Juan Diego Valdivia por facilitarme sus sugerencias y material de investigación.

Daniel Mantilla Murga

DEDICATORIA

A mis padres, mi amada esposa Martha e hijos Miguel y Mikeyla, por ser parte esencial de mi vida, son un regalo y fuente de inspiración.

A mis hermanos, por brindarme su apoyo y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

Daniel Mantilla Murga

ÍNDICE

	Pág.
AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	vii
LISTA DE ABREVIATURAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II	3
MARCO TEÓRICO	3
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
2.2. BASES TEÓRICAS	5
2.2.1. Concepto de lixiviación	5
2.2.3.1. Descripción del proceso de lixiviación	7
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	28
CAPÍTULO III	29
MATERIALES Y MÉTODOS	29
3.2. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	29
3.2.8. Geográfica	29
3.2.9. Política	29
3.2.10. Accesibilidad	29
3.2.11. La unida minera El Toro	30

3.3. GEOLOGÍA	30
3.3.8. Geología local.	30
3.3.11. Litología y estratigrafía	33
3.3.12. Hidrogeología	35
3.3.13. Clasificación litológica.	36
3.3.14. clasificación Mineralógica del yacimiento	37
3.3.15. Operaciones unitarias	39
3.3.16. Proceso de lixiviación	46
3.4. PROCEDIMIENTOS.	49
3.4.8. Primera etapa: Gabinete	49
3.4.9. Segunda etapa: Campo	49
3.4.10. Tercera etapa: Gabinete	49
3.5. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	49
3.5.8. Tipo nivel, diseño y método de la investigación	49
3.5.9. Población de estudio	49
3.5.10. Muestra	49
3.5.11. Unidad de análisis	50
3.6. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	50
3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	50
3.7.9. Instrumentos y equipos	50
3.8. Plan Producción De Mineral	52
3.9. TIEMPO DE LIXIVIACIÓN	56
3.10. RECUPERACIÓN MINERALÓGICA	59
3.10.8. leyes – Pad Dinámico en los circuitos	59
3.10.9. Flujos Volumétricos y Leyes – Pad Dinámico	62
CAPÍTULO IV	69
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	69

4.2.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	69
4.3.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	73
4.4.	CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	73
	CAPÍTULO V	75
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
6.1.	CONCLUSIONES	75
6.2.	RECOMENDACIONES	76
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
	ANEXOS	80

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1: PROCESO DE LIXIVIACIÓN EN PADS-----	5
FIGURA 2. PERFIL DE COMPONENTES DE LA IMPERMEABILIZACIÓN DE UNA CELDA DINÁMICA. -----	9
FIGURA 3: CARGUÍO, CARREO Y FORMACIÓN DE PILAS DE LIXIVIACIÓN. -----	10
FIGURA 4. DIAGRAMA DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN DEL ORO. (MONROY,2019) -----	11
FIGURA 5:INFLUENCIA DEL GROSOR DE LA PARTÍCULAS SOBRE EL TIEMPO (ZANABRIA,2021) -----	12
FIGURA 6:EFFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA DISOLUCIÓN DE ORO (ZANABRIA,2021)-----	13
FIGURA 7:VELOCIDAD DE DISOLUCIÓN DEL ORO A DIFERENTES PRESIONES DE OXÍGENO. (ZANABRIA,2021)-----	15
FIGURA 8:COMPARACION DE VAN Y LA TASA DE OPORTUNIDAD (TIR) -----	22
FIGURA 9:EQUIPO DE CARGUÍO Y ACARREO (UNIDAD MINERA EL TORO,2022) -----	24
FIGURA 10:INFLUENCIAS DEL % DE RECUPERACIÓN EN COMPARACIÓN CON EL TIEMPO DE LIXIVIACIÓN.-----	27
FIGURA 11 . UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA UNIDAD MINERA EL TORO. -----	30
FIGURA 12. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DE DEPÓSITOS DE AU ALOJADOS EN SEDIMENTOS. (MONROY,2019).-----	35
FIGURA 13. CLASIFICACIÓN DE MINERAL POR LA LITOLOGÍA (UNIDA MINERA EL TORO,2022) -----	36
FIGURA 14.MODELO LITOLÓGICO DEL MODELO DE BLOQUES. (UNIDAD MINERA EL TORO,2022) -----	37
FIGURA 15.PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN DE MINERAL POR LITOLOGÍA. (UNIDAD MINERA EL TORO,2022) -----	37
FIGURA 16.FASES DE MINADO OPERATIVOS (UNIDAD MINERA EL TORO,2022.) -----	39
FIGURA 17: PERFORADORA DME45, PERFORACIÓN EN BANCO (MINA EL TORO,2022)-----	40
FIGURA 18:EQUIPO DE CARGUÍO Y ACARREO -----	43
FIGURA 19:EQUIPOS AUXILIARES (MONROY,2019) -----	46
FIGURA 20. PRODUCCIÓN MENSUAL DE MINERAL (TONELADAS) - AÑO 2022 -----	53
FIGURA 21. ANÁLISIS DE VOLUMEN, RATIO DE RIEGO Y PORCENTAJE DE EXTRACCIÓN DE ORO -----	57
FIGURA 22.ESTE GRÁFICO MUESTRA LOS COSTOS E INGRESOS VS EL VOLUMEN DE PRODUCCIÓN DE ORO (ONZAS).-----	68
FIGURA 23. PROPORCIÓN DE COSTO OPERATIVO SOBRE EL TOTAL DE EGRESOS EN FASES OPERATIVAS-----	71
FIGURA 24. INGRESOS GENERADOS POR LA VENTA DE ORO VS COSTOS OPERATIVOS TOTALES -----	81
FIGURA 25.MUESTRA EL % QUE REPRESENTA DE LOS COSTOS(Cc y Tt) CON LAS TONELADAS PRODUCIDAS -----	81
FIGURA 26. PERIODO VS LAS HORAS DISPONIBLES PARA VER EL COSTO DE OPERATIVIDAD. -----	83
FIGURA 27:CINDICIONES DE CÁLIDA DE PERCOLACIÓN SEGÚN CLASIFICACIÓN GEOLÓGICA.-----	83
FIGURA 28: INFLUENCIA DE LA LITOLOGÍA EN EL PROCESO DE RECUPERACIÓN -----	84

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1: EFICIENCIA DE BOMBEO EN LIXIVIACIÓN.....	26
TABLA 2 . RUTA DE ACCESO A LA UNIDA MINERA EL TORO	29
TABLA 3. FASES DE MINADO DE LA UNIDAD MINERA EL TORO.	38
TABLA 4: PARÁMETROS DE PERFORACIÓN	40
TABLA 5: EQUIPOS DE PERFORACIÓN:	40
TABLA 6: PARÁMETROS DE VOLADURA.	41
TABLA 7: MODELOS DE EQUIPOS PARA CARGUÍO DE MINERAL Y EMPUJE DE MATERIAL.	42
TABLA 8: EQUIPOS PARA TRANSPORTE DE MINERAL Y DESMONTE.	42
TABLA 9: MODELOS Y CANTIDAD DE EQUIPOS PARA TRANSPORTE DE MINERAL Y DESMONTE.	43
TABLA 10: MODELO DE EXCAVADORAS Y TARIFA EN MINA.	44
TABLA 11: EQUIPOS DE SERVICIOS AUXILIARES.	45
TABLA 12: MODELO DE MOTONIVELADORA Y TARIFA EN MINA.	45
TABLA 13: MODELO DE TRACTOR ORUGA Y TARIFA EN MINA.	45
TABLA 14: MODELO DE CISTERNAS Y TARIFA EN MINA.	46
TABLA 15: CAPACIDAD DE POZAS DE ALMACENAMIENTO DE SOLUCIONES.	47
TABLA 16: CAPACIDAD DE BOTADERO POR AÑO, SEGÚN LA PRODUCCIÓN DE MINERAL.	47
TABLA 17: CAPACIDAD DE PAD POR FASE AÑO Y MES DE INICIO	47
TABLA 18: PLAN DE MINADO GENERAL LOM 2022	52
TABLA 19. MINERAL PROCESADO PARA EL PERIODO DEL AÑO 2022.....	54
TABLA 20. PRODUCCIÓN DE MINERAL POR FASE	55
TABLA 21. PRODUCCIÓN DE MINERAL EN MINA.....	55
TABLA 22. PRODUCCIÓN EN PLANTA	55
TABLA 23. TIEMPO DE LIXIVIACIÓN EN CELDAS DE PAD DINÁMICO.....	58
TABLA 24. LEYES DE COMPÓSITO	59
TABLA 25. LEYES DE DESCARGA EN POZAS DE RECEPCIÓN.....	60
TABLA 26. LEYES DE ENTRADA Y SALIDA DE CADA CIRCUITO SEGÚN EL VOLUMEN DE INGRESO Y SALIDA	61
TABLA 27. SOLUCIÓN PREGNANT, BARREN Y EFICIENCIA DE RECUPERACIÓN.....	62
TABLA 28. TONELADAS DE MINERAL, DESMONTE Y LEY DE ORO PROMEDIO POR FASE.....	63
TABLA 29. FASES Y COSTOS Y FLUJOS DE CAJA.	63
TABLA 30. COSTOS DE PRODUCCIÓN FIJOS Y VARIABLES.....	64
TABLA 31. INGRESOS POR VENTA DE ORO Y AG	64
TABLA 32. FLUJOS DE CAJA PARA CADA FASE DE EN EL PERIODO 2022.....	65
TABLA 33. INDICADORES DE RENTABILIDAD ECONÓMICA	66
TABLA 34. ONZAS PRODUCIDAS POR CADA FASE OPERATIVA	67

TABLA 35. RECUPERACIÓN DE ORO PROVENIENTE DEL PAD ESTÁTICO.	69
TABLA 36. VALORES MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE LA RECUPERACIÓN DEL ORO PAD ESTÁTICO.	69
TABLA 37. RECUPERACIÓN DE ORO PROVENIENTE DEL PAD DINÁMICO.	70
TABLA 38. VALORES MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE LA RECUPERACIÓN DEL ORO.	70
TABLA 39. VENTAS DE MINERAL EN AU Y AG	71
TABLA 40. RESUMEN DE LOS INDICADORES DE RENTABILIDAD CALCULADOS (VAN, TIR, ACB).....	72
TABLA 41. DIFERENCIAS CLAVE ENTRE PADS ESTÁTICOS Y DINÁMICOS	73
TABLA 42. RECUPERACIÓN DE ORO EN PAD ESTÁTICO Y DINÁMICO.	73
TABLA 43. TABLA DE COSTOS UNITARIOS Y TOTALES DE EQUIPOS DE CARGUÍO Y TRANSPORTE	82
TABLA 44. COMPARACION DE LOS COSTOS TOTALES VS LA PRODUCCIÓN TOTAL CON LA GANANCIA NETA T	83

LISTA DE ABREVIATURAS

\$: Dólar americano.
ADR	: Planta adsorción, desorción y reactivación.
Bach.	: Bachiller.
Dr.	: Doctor.
EPP	: Equipo de protección personal.
GPS	: Sistema de posicionamiento global.
HDPE	: High Density PolyEthylene (Polietileno de alta densidad)
Ing.	: Ingeniero.
LDPE	: Low Density PolyEthylene (Polietileno de baja densidad)
m ³	: Metros cúbicos.
NaCN	: Cianuro de sodio.
NE	: North-East (Noreste)
NW	: North-West (Noroeste)
Oz	: Onzas
Ppm	: Parte por millón
ROM	: Run of mine (Mineral que sale de mina a planta)
SE	: South-East (Sureste)
SW	: South-West (Suroeste)
TMS	: Toneladas métricas secas.
U. M.	: Unidad Minera.
UTM	: Universal Transversal Mercator (Sistema de coordenadas universal)
VAN	: Valor Actual Neto
TIR	: Tasa Interna de Retorno
ACB	: Análisis costo Beneficio
PE	: Punto de equilibrio

RESUMEN

Esta investigación se centra en evaluar el beneficio económica del uso de pads de lixiviación dinámica en la Unidad Minera El Toro, ubicada en Huamachuco – La Libertad. El estudio busca determinar las ventajas financieras de esta metodología innovadora en comparación con los sistemas de lixiviación tradicionales o estáticos, analizando su impacto en los ingresos y los costos operativos asociados

El objetivo principal es cuantificar los beneficios económicos de los pads dinámicos, considerando factores como los costos operativos y la recuperación de metales preciosos. Se analiza cómo la movilización constante del material (Remanejo) en los pads dinámicos mejora la eficiencia de la lixiviación, acelerando la extracción de metales y reduciendo los tiempos de ciclo. Este análisis subraya la importancia de la optimización de los procesos de lixiviación para la viabilidad económica de proyectos mineros de baja ley, especialmente en un contexto de creciente volatilidad de precios y demandas de sostenibilidad. La investigación valida la hipótesis de que el beneficio económico de los pads dinámicos está directamente ligado al óptimo aprovechamiento de la ley, la recuperación mineralógica, la cantidad de material procesado y el tiempo de lixiviación.

Esta investigación concluye que los pads dinámicos ofrecen una recuperación de oro significativamente mayor en comparación con los pads estáticos. Los pads dinámicos alcanzan un promedio de recuperación del 86%, superando el 72% de los pads estáticos. Esto representa un incremento del 14% en la recuperación mineralógica.

Además del aumento en la recuperación, el análisis económico confirma la viabilidad de los pads dinámicos. Los indicadores financieros clave son Valor Actual Neto (VAN): \$40.435.613,83, Tasa Interna de Retorno (TIR): 25,43%, Análisis Costo/Beneficio (ACB): 1,1. Estos valores, junto con un punto de equilibrio de \$24,628,000 (en comparación con una producción anual promedio esperada de 64,524.77 onzas), demuestran claramente la solidez financiera y la rentabilidad de implementar pads dinámicos.

Palabras clave: lixiviación, pad dinámico, pad estático, recuperación metalúrgica, VAN, TIR, ACB, Punto de equilibrio

ABSTRACT

This research focuses on evaluating the economic profitability of using dynamic leaching pads at the El Toro Mining Unit, located in Huamachuco, La Libertad. The study seeks to determine the financial advantages of this innovative methodology compared to traditional or static leaching systems, analyzing its impact on revenue and associated operating costs.

The main objective is to quantify the economic benefits of dynamic pads, considering factors such as operating costs and precious metal recovery. It analyzes how the constant movement of material (crushed ore) on dynamic pads improves leaching efficiency, accelerating metal extraction and reducing cycle times. This analysis underscores the importance of optimizing leaching processes for the economic viability of low-grade mining projects, especially in the context of increasing price volatility and sustainability demands. The research validates the hypothesis that the economic benefit of dynamic pads is directly linked to optimal grade utilization, mineralogical recovery, the amount of material processed, and leaching time.

This research concludes that dynamic pads offer significantly higher gold recoveries compared to static pads. Dynamic pads achieve an average recovery of 86%, surpassing the 72% achieved by static pads. This represents a 14% increase in mineralogical recovery.

In addition to the increased recovery, the economic analysis confirms the viability of dynamic pads. Key financial indicators include Net Present Value (NPV): \$40,435,613.83, Internal Rate of Return (IRR): 25.43%, and Cost/Benefit Analysis (CBA): 1.1. These values, along with a break-even point of \$24,628,000 (compared to an expected average annual production of 64,524.77 ounces), clearly demonstrate the financial soundness and profitability of implementing dynamic pads.

Keywords: leaching, dynamic pad, static pad, metallurgical recovery, NPV, IRR, ACB, Break-even point

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La minería se erige como un pilar fundamental para la economía peruana, aportando cerca del 15% al Producto Bruto Interno (PIB) y generando un volumen considerable de empleo directo e indirecto. En 2023, el sector minero fue responsable de 236,000 empleos directos, y las proyecciones de inversión para el período 2025-2027 anticipan un crecimiento promedio del 3.0%, lo que reafirma la trascendencia continua de esta industria para el desarrollo de nuestro país.

Unidad Minera el Toro es una mina superficial, ubicada en el distrito Sánchez Carrión, provincia Huamachuco, departamento La Libertad. Dentro de este panorama, la lixiviación en pilas se ha consolidado como una tecnología hidrometalúrgica indispensable para el procesamiento económicamente viable de minerales de baja ley, que de otro modo no serían explotables. Este método es ampliamente preferido en la industria debido a su menor costo de capital y simplicidad técnica en comparación con procesos más complejos. Sin embargo, la industria minera global enfrenta desafíos crecientes, incluyendo el aumento de los costos operativos y el deterioro de las leyes del mineral, lo que impulsa la necesidad constante de optimización de procesos para mantener la rentabilidad.

El problema es: ¿Cómo determinar el beneficio económico en Pads de lixiviación dinámicos de la unidad minera El Toro?

La hipótesis planteada es: La determinación del beneficio económico en pads de lixiviación dinámicos viene relacionado al óptimo aprovechamiento de la ley como recuperación mineralógica, los indicadores de rentabilidad, la cantidad de material económico que se descarga en los pads, el tiempo al que está sometido dichas leyes en la pila de lixiviado.

Esta investigación se justifica por su potencial beneficio económico y académico. Por un lado, determinará el beneficio económico que genera la lixiviación de minerales en pads dinámicos. Por otro lado, contribuirá a la investigación en recuperación mineral baja ley, aplicando una metodología de campo que permitirá obtener data informativa específica relacionada a los diseños y cambios de lugar en los pads como centro de acopio de mineral transportados desde los tajos de la unidad minera.

El objetivo general es determinar el beneficio económico en Pads de lixiviación dinámicos de la unidad minera El Toro; como objetivos específicos se tiene analizar el comportamiento económico de los pads dinámicos con respecto a su tiempo de vida, determinar los indicadores de rentabilidad, establecer los porcentajes de recuperación de mineral en cada pad y su variación respecto a la ley contenida en el material extraído y un punto de equilibrio

En este contexto, la lixiviación dinámica emerge como una estrategia operativa y económica clave para abordar estos desafíos. Sus ventajas reportadas, como una mayor recuperación y tiempos de lixiviación más cortos, la posicionan como una respuesta directa a las limitaciones de eficiencia de los métodos tradicionales. La adopción y mejora de los pads dinámicos, por lo tanto, no son meramente decisiones técnicas, sino elecciones estratégicas orientadas a preservar y mejorar la rentabilidad y la competitividad en un mercado exigente.

La cuantificación del beneficio económico de esta metodología permite evaluar el éxito de esta adaptación estratégica, demostrando su capacidad para generar valor en un entorno operativo complejo.

La tesis comprende cinco capítulos y se describen a continuación:

Capítulo I. Se presenta la introducción donde se describe el problema, formulación e hipótesis, justificación y objetivos de la investigación

Capítulo II. Se presenta los antecedentes teóricos relacionados a la investigación, así como los fundamentos teóricos que sirvieron como base o fundamento para la investigación y también se presenta la definición de términos básicos.

Capítulo III. Se detalla la ubicación geográfica y accesibilidad a la zona de investigación; de igual manera la geología local, descripción de materiales utilizados, la metodología, técnicas e instrumentos para la recolección de datos y la descripción de procedimientos usados.

Capítulo IV. Se presenta el análisis y discusión de resultados a los que se ha llegado en la investigación.

Capítulo V. Se muestra las conclusiones para cada objetivo planteado y las recomendaciones que se plantea para futuras investigaciones.

Finalmente están las referencias bibliográficas y los anexos en los cuales se presenta los planos temáticos relacionados a la investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Antecedentes internacionales

Méndez, (2023) en el estudio "Modelado predictivo de la lixiviación en pila" destacó la importancia de la simulación y el modelado predictivo para evaluar la rentabilidad de diferentes estrategias de lixiviación en pilas. Esta investigación subraya que la eficiencia económica de un pad dinámico no solo se basa en la recuperación metalúrgica, sino también en factores como el tiempo de lixiviación, el consumo de reactivos y la gestión de la infraestructura, todos los cuales impactan directamente en el beneficio neto. La capacidad de prever el comportamiento del mineral y la solución a lo largo del tiempo es crucial para la toma de decisiones financieras.

Chen & Li, (2022). En la Revista Internacional de Procesamiento de Minerales de "Application of Real-time Monitoring Systems for Economic Optimization in Dynamic Heap Leaching." resalta cómo la integración de tecnologías de monitoreo en tiempo real, como sensores de humedad y conductividad, puede mejorar significativamente la gestión de los pads dinámicos. Esto permite un ajuste más preciso de la tasa de riego y la concentración de reactivos, minimizando el consumo y maximizando la eficiencia de extracción. Desde una perspectiva económica, estas tecnologías avanzadas contribuyen a una reducción en los gastos operativos y a un incremento en la producción de metal, impactando positivamente en el flujo de caja y la rentabilidad general de la operación. La inversión inicial en estas herramientas se justifica por los beneficios económicos a largo plazo que generan.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Quispe (2021) en su tesis titulada, Extender la vida útil de la mina, aplicando un pad dinámico en la empresa minera aruntani s.a.c. unidad acumulación andres – Jesica; Menciona que para ampliar la vida útil de la mina busca implementar un pad dinámico en los lif más bajos del pad, esto con el fin de mejorar la velocidad de percolación que es de 4 metros por día el para obtener un mejor porcentaje de recuperación, y además de

optimizara el cash cost (costo de producción) y se elevó la rentabilidad en \$ 5,694.728 de la mina.

Mamani, (2023). "Análisis de la Influencia de Parámetros Operacionales en la Recuperación de Oro por Lixiviación en Pilas y su Impacto Económico. Este estudio analizó cómo las variaciones en la granulometría del mineral y el pH de la solución afectan directamente la recuperación de oro y, consecuentemente, el beneficio económico. Se encontró que un control riguroso de estos parámetros, junto con una adecuada preparación del mineral (como la aglomeración), puede incrementar la recuperación entre un 5% y un 10%, lo que se traduce en un aumento significativo de los ingresos por tonelada de mineral procesado. Esto demuestra que pequeñas mejoras operativas pueden tener un gran impacto financiero.

Chambilla (2024) en su tesis titulada; optimización del proceso de lixiviación en la extracción de oro del proyecto Ayahuanca, concluye que el acondicionamiento del CaO de en una proporción de 1.33 Kg por tonelada de mineral y con una altura de la pila de 10 metros poniendo a regar con solución cianurada de 255 ppm, con un pH de 10.90 han resultado en un porcentaje óptimo de extracción de oro del 93.65% en un periodo de 30 días. se observa una mejora de la producción de oro en mina en 2.378,37 onzas y en planta de 1.089,93 onzas en promedio para el periodo evaluado. Estos hallazgos sugieren que la optimización del proceso de lixiviación con la implementación del Pad dinámico mejora la producción de oro en mina en el proyecto Ayahuanca.

2.1.3. Antecedentes locales

Monroy (2019) en su tesis titulada „Diseño de celdas dinámicas para la optimización de áreas de lixiviación en el tajo abierto El Toro de la Cía. Minera Los Andes Gold SAC; menciona , La construcción del pad dinámico se realizará con el objetivo de asegurar una producción continua en un sistema de drenaje así mismo evitando escurrimientos de taludes y derrumbes en pila, La lixiviación en pad dinámicos ha permitido mejorar la recuperación de minerales auríferos con baja ley y disminuir el tiempo de lixiviación de los módulos dispuestos. A su vez, ha permitido que los ripios continúen el proceso de lixiviación en un pad permanente, de esta manera existe un ahorro en el consumo de reactivos, principalmente de cianuro, y a la vez recibe un beneficio económico adicional en la segunda lixiviación de mineral.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Concepto de lixiviación

La lixiviación es un proceso hidrometalúrgico fundamental en la minería, mediante el cual se disuelven selectivamente metales de valor, como el oro y la plata, a partir de un mineral sólido. Este proceso se logra al hacer pasar un disolvente líquido, comúnmente una solución cianurada, a través de la masa de mineral. La lixiviación es particularmente eficaz y económicamente viable para el tratamiento de yacimientos de baja ley a gran escala. (Laura, 2018).

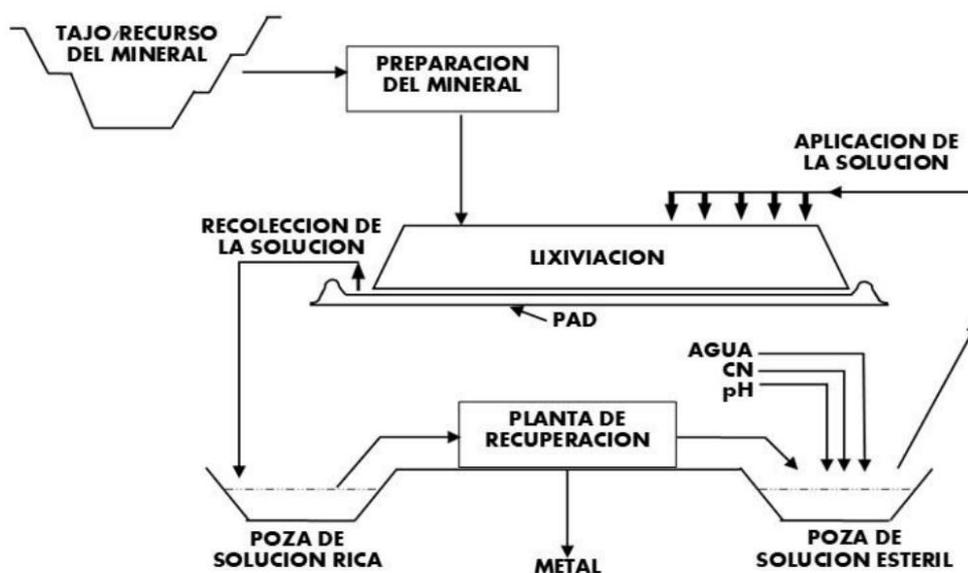


Figura 1: Proceso de lixiviación en pads

Según Valentín (2018) la producción se define como el peso total o volumen de material que se maneja en una operación específica. Y se refiere tanto al mineral con valor económico que se extrae, como al estéril que debe ser removido para acceder al mineral. Frecuentemente, la producción de mineral se mide en unidades de onzas, mientras que el movimiento de material estéril se expresa en volumen

2.2.2. Minería superficial y lixiviación

Se define a la minería superficial al conjunto de actividades relacionadas a la extracción y procesamiento de minerales metálicos y no metálicos de un yacimiento, mediante operaciones en la superficie del terreno, a través de la aplicación de métodos de explotación

como el de cielo o tajo abierto, canteras, dragado, graveras, entre otros. Los procesos incluidos en estas actividades están orientados a percibir un beneficio económico producto de la venta de los materiales explotados y procesados. El minado realizado se apoya en diversos recursos como infraestructura especializada, uso de maquinaria diversa, capital humano, procedimientos, entre otros de acuerdo con la magnitud y características de cada operación. (Torres, 2024).

La lixiviación es un proceso en que un disolvente líquido pasa por los minerales acumulados, realizando disolución de oro y plata de componentes sólidos, que se conoce como cianuración. En general la lixiviación es la disolución de materiales solubles mediante un disolvente líquido a partir de la mezcla de ellos con un sólido insoluble (Zanabria,2021, Pg. 8,9)

El proceso consiste en el riego del material con una solución cianurada (cianuro y agua), el cual disuelve el oro. Este proceso permite trabajar yacimientos que suelen ser calificados de baja ley (y por tanto de más alto costo de producción por tonelada) siempre que la operación minera involucre una actividad de gran escala. Es decir, que la lixiviación es un proceso de recuperación que hará económico un proyecto conforme se trabajen mayores volúmenes de material (Monroy, 2019).

2.2.3. Tipos de lixiviación.

Según Domic (2001), los métodos de lixiviación corresponden a la forma en que se contactan las soluciones lixivante con las menas con contenidos metálicos de interés, tratando de obtener el máximo beneficio económico con el mínimo de costos y complicaciones posibles. (Zanabria, 2021, Pag.13)

Las pilas de lixiviación pueden ser divididas en cuatro categorías: Las pilas convencionales planas, plataformas de lixiviación en botaderos, rellenos de valles y las pilas dinámicas (on/off), siendo este último nuestro objeto de estudio. (Monroy, 2019, Pag.33).

- Pilas convencionales o planas

Las plataformas de lixiviación convencionales son relativamente planas, o según los contornos del terreno, con sedimentos aluviales suaves y el mineral es normalmente chancado y apilado en capas delgadas (de 5 a 15m. de espesor).

- Sistema de lixiviación en botadero

Los sistemas de lixiviación en botaderos son similares o pueden incluir terreno rodante; el término “botadero” usualmente significa que las capas son mucho más gruesas (hasta 50m.) y frecuentemente se apila el mineral directo de la mina (ROM, sin chancado previo), el límite de mineral para lixiviar en un botadero es de 10 a 20% de mineral por tonelada de material.

- las plataformas dinámicas, o plataformas on-off

Reciben una sola capa del mineral, de 4 a 8 m. de espesor. Dicha capa es lixiviada por un periodo establecido, seguido por una irrigación, y finalmente, los rípios se conducen hasta el lugar de deposición. A continuación, la plataforma recibe una nueva carga del mineral y todo el ciclo se repite. Los ciclos de lixiviación se encuentran en un rango de 2 a 12 meses o dependiendo del diseño de cada pila y la duración de funcionamiento de instalaciones puede exceder 20 años. (Monroy,2019) (Pag,40).

2.2.3.1. Descripción del proceso de lixiviación

la lixiviación es un proceso mediante el cual se agregan ciertos compuestos al mineral con el objetivo de conseguir una sustancia líquida rica, también es conocida como extracción sólido-líquida, y es que hace uso de agua, u otro disolvente, que pasa a través del suelo con el fin de que se dé la disolución de uno o más componentes (solubles) del sólido. (Pedro A. González).

La descripción detallada del proceso de lixiviación pone de manifiesto que la eficiencia y el beneficio económico de la lixiviación dinámica dependen de la gestión precisa y la optimización de múltiples variables críticas. Aspectos como el pH, el tamaño de partícula, la permeabilidad, la tasa de riego, la integridad de la geomembrana y la gestión de la solución son puntos de control fundamentales. Una aglomeración adecuada, por ejemplo, mejora el flujo de la solución y el mantenimiento de un pH óptimo es vital para la disolución del oro. Cualquier deficiencia en estos controles puede resultar en una reducción de la recuperación, un aumento del consumo de reactivos y mayores costos operativos. Esto significa que el beneficio económico de los pads dinámicos no es solo una función de su diseño, sino también de la excelencia operativa, el monitoreo continuo y el rigor de la ingeniería aplicados a lo largo de todo el circuito de lixiviación.

Las áreas dedicadas a este proceso son lugares amplios y llanos sobre la que se coloca una membrana impermeable (geomembrana) que aislará el suelo de todo el proceso químico que se ejecutará arriba, se realizan estudios previos de suelo, agua y aire, que brindaran una

información valiosa para el diseño y seguimiento del proceso, todo esto para no generar impactos negativos ambientales y al mismo tiempo lograr que el proceso sea eficiente. En toda área se acondiciona:

- Un sistema de cañerías distribuidas homogéneamente que se utilizan para transportar y rociar la sustancia lixiviante sobre el material.
- Un sistema de tuberías (sistema de drenaje) especiales que recogen las soluciones que se irán filtrando a través del material apilado durante el proceso.

Complementariamente se construye una poza (cerca de la zona de lixiviación) en la que se acumulan los líquidos que se obtengan de la lixiviación que luego deben ser tratados para lograr la recuperación final del material fino que se encuentran atrapados en ellos. A continuación, se explicará detalladamente el proceso en etapas para su mayor entendimiento (Monroy, 2019).

2.2.3.2. Impermeabilización

El proceso de lixiviación en pilas es una secuencia de etapas cuidadosamente diseñadas para maximizar la recuperación de metales valiosos. Inicia con la preparación del terreno y la impermeabilización de la base. El área destinada al pad es acondicionada y cubierta con una capa de material de baja permeabilidad, el Soil Liner (SL), de 300 mm de espesor, compactado para asegurar su función aislante. Sobre esta capa, se despliega una geomembrana de Polietileno de Alta Densidad (HDPE) de 60 milésimas de pulgada, la cual se instala con solapes y se ancla perimetralmente para garantizar la contención y evitar tensiones. Para proteger la geomembrana de impactos y asegurar la estabilidad de las tuberías colectoras, se coloca una capa protectora (PL) de tierra arcillosa y piedras con una granulometría controlada.

La permeabilidad del mineral en los pads es un factor crítico que impacta directamente la eficiencia de la lixiviación y, por ende, la recuperación por tonelada. Minerales con alta presencia de finos o arcillas pueden generar canalizaciones y encharcamientos, lo que reduce el contacto de la solución lixiviante con el oro y la plata. Para mitigar este problema, se emplean técnicas como la aglomeración del mineral con cemento o cal, lo que mejora la granulometría y la permeabilidad de la pila. Un adecuado Blending o mezcla de minerales

con diferentes granulometrías también contribuye a una mejor distribución de la solución y, por consiguiente, a una mayor recuperación. (UNDAC, 2019; UNAP, 2023)

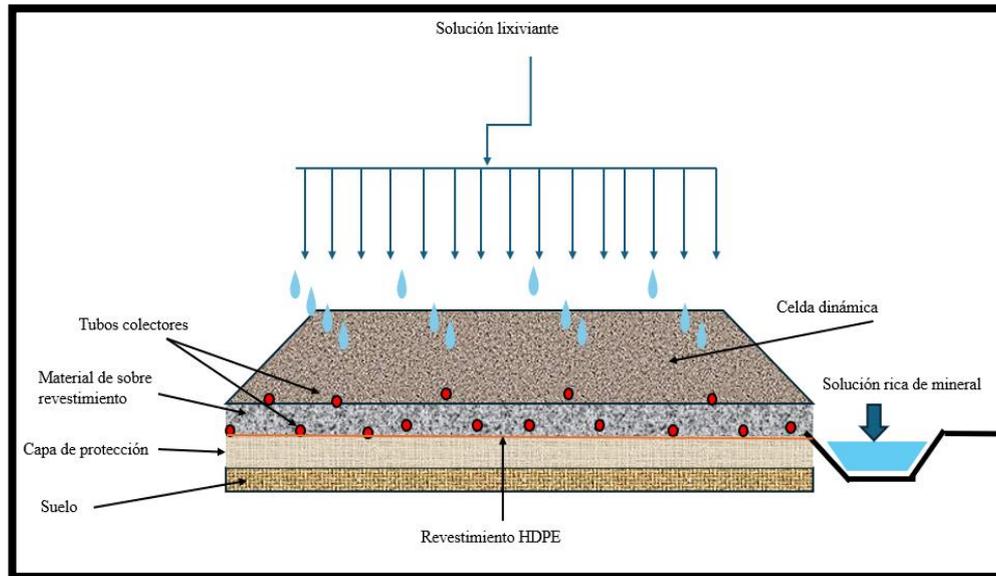


Figura 2. Perfil de componentes de la impermeabilización de una celda dinámica.

2.2.3.3. Depósito de material

El material para lixiviar puede provenir de diversas fuentes, como mineral recién extraído, mineral de baja ley almacenado, roca estéril mineralizada o residuos de flotación. Todas estas fuentes pueden lixiviarse, pero la más económica para depósitos de baja ley y gran volumen es el mineral recién extraído de minas a tajo abierto. En el caso de la unidad minera en estudio, se trabaja por tajo y el mineral que tiene como destino a la celda dinámica es directamente del tajo luego de haber hecho la voladura. La selección de la fuente de mineral es un factor crítico que influye en la rentabilidad del proceso de lixiviación, ya que afecta directamente los costos de extracción, transporte y preparación. Además, la uniformidad de la ley y las características mineralógicas del material depositado son fundamentales para asegurar un rendimiento de lixiviación consistente y predecible a lo largo del pad. (Monroy, 2019)

2.2.3.4. Preparación del material

El siguiente paso es el depósito y preparación del material, el mineral se transporta directamente del tajo al pad de lixiviación después de la voladura. Es crucial preparar el mineral para asegurar un tamaño de grano adecuado y una permeabilidad óptima, lo que a

menudo implica procesos de aglomeración. La aglomeración es un paso vital donde el mineral triturado se mezcla con una solución de cal (lechada de cal) y, en algunos casos, un agente aglomerante, formando gránulos que mejoran la uniformidad del flujo de la solución lixiviante y previenen la migración de finos que podrían reducir la permeabilidad. Simultáneamente, se realiza la alcalinización del mineral con lechada de cal para mantener un pH entre 9 y 11, un rango esencial para la disolución efectiva del oro. Este control de pH no solo optimiza la solubilidad del oro, sino que también minimiza la hidrólisis del cianuro, lo que reduce su consumo y los riesgos ambientales asociados. Una adecuada preparación del material garantiza una distribución homogénea del tamaño de partícula y una estabilidad estructural en el lecho del pad, lo cual es determinante para la eficiencia global de la recuperación de oro. (Monroy,2019)

2.2.3.5. Transporte de material y formación de pilas

El transporte y la formación de pilas son etapas críticas. El material es llevado y dispuesto cuidadosamente sobre el área de lixiviación. La formación de las pilas debe evitar la estratificación, compactación y segregación de partículas para asegurar una percolación uniforme de la solución. La estabilidad de estas pilas es monitoreada mediante análisis geotécnicos que consideran cargas estáticas y dinámicas, como sismos, con factores de seguridad específicos. (Monroy,2019)



Figura 3: Carguío, carreo y formación de pilas de lixiviación.

Una vez que las pilas están formadas, se procede al riego del mineral. Se aplica una solución lixivante, una mezcla de químicos disueltos en agua (en este caso, cianuro de sodio), sobre la superficie del material. La tasa de riego se determina en laboratorio y la solución se distribuye mediante sistemas de goteo o aspersores. El objetivo es que la solución percole a través de todo el material, disolviendo el oro y la plata. El control de la solución lixivante, especialmente durante el estiaje, implica el monitoreo del caudal, el análisis de la solución (pH, concentración de metal) y la recirculación para optimizar el uso del agua.

2.2.3.6. Almacén y la recuperación de metales

Finalmente, se lleva a cabo el almacenaje y la recuperación de metales. Las soluciones ricas (solución pregnant), que contienen los valores disueltos de oro y plata, se recolectan a través de sistemas de tuberías de drenaje ubicadas sobre la capa impermeabilizada y se dirigen a pozas de almacenamiento. Desde estas pozas, la solución rica es bombeada a la planta ADR (adsorción, desorción, regeneración y fundición). En la etapa de adsorción, el carbón activado atrapa los metales valiosos. Luego, en la desorción, el carbón cargado es tratado con soluciones a altas temperaturas para transferir el oro a una nueva solución. Esta solución concentrada pasa a la electrodeposición, donde los iones de oro se depositan en cátodos de lana de acero. El precipitado resultante es filtrado y, finalmente, sometido a fundición en un horno basculante para producir barras bullón. La solución pobre (barren), con un contenido mínimo de oro, se recircula nuevamente a las pilas de lixiviación, cerrando el circuito y optimizando el uso de los reactivos y el agua. (Monroy,2019)

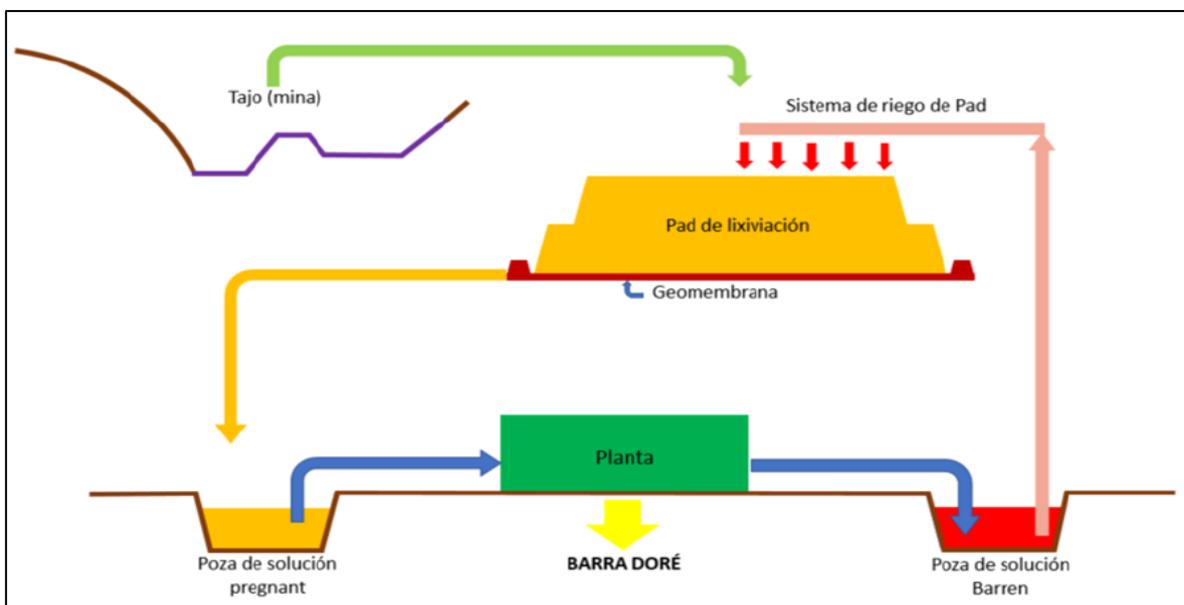


Figura 4. Diagrama del proceso de recuperación del oro. (Monroy,2019)

2.2.4. Factores que afectan la disolución del oro.

a) Efecto del tamaño de partícula

El tamaño de la partícula del mineral tiene que ser triturado para lograr su liberación y hacerlas adecuadas para la cianuración con soluciones de cianuro. Eventualmente la velocidad de disolución del oro es de $3.25 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{h}$. Esto equivale a una penetración de $1.68 \mu/\text{h}$ en cada lado de una partícula de oro de forma plana, lo que significa una reducción total en el espesor de $3.36 \mu/\text{h}$. Por lo tanto, una partícula de oro de 45μ de grosor se disuelve por cianuración en aproximadamente 13 horas, una partícula de 150μ de grosor se disuelve en 44 horas.

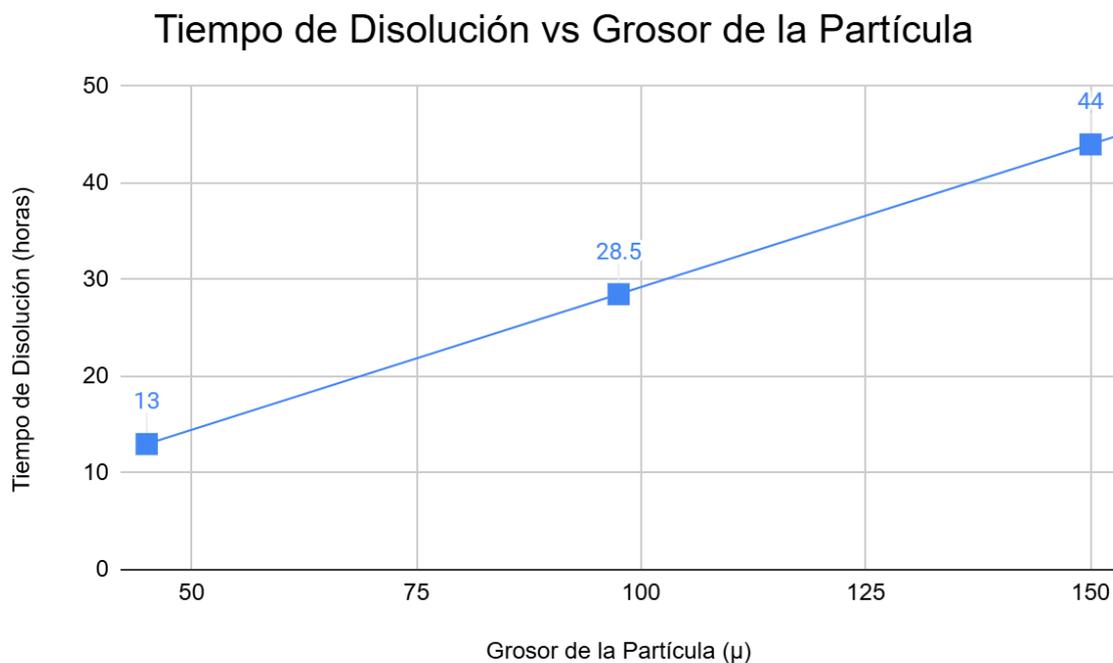


Figura 5: Influencia del grosor de las partículas sobre el tiempo (Zanabria, 2021)

b) Efecto de la concentración de cianuro

La solubilidad del oro en una solución de NaCN aumenta al pasar de las soluciones diluidas a las concentradas. La solubilidad es muy baja con menos de 0.005% NaCN, crece rápidamente cuando contiene 0.01% NaCN y después lentamente, llegando al máximo cuando contiene 0.25% NaCN. La proporción más eficaz es de 0.05 a 0.07% NaCN. La concentración usual de CN para el tratamiento de menas de oro es de 0.05% NaCN y para

menas de plata de 0.3 % para concentrados de oro-plata, la fuerza de NaCN está entre 0.3 - 0.7 %. El NaCN es el más usado en el proceso de cianuración, aunque también se emplea el KCN. Hay variaciones muy grandes en la fuerza de la solución que provoca la máxima velocidad de disolución de oro, probablemente debido a la variedad de las técnicas empleadas en la determinación experimental de los resultados. (Zanabria,2021)

c) Efecto de la temperatura

El suministro de calor a la solución de cianuro en contacto con oro metálico produce fenómenos opuestos que afectan la disolución. El incremento de la temperatura aumenta la actividad de la solución, incrementándose por consiguiente la velocidad de disolución del oro, a la par que la cantidad de oxígeno disuelto en la solución disminuye debido a que la solubilidad de los gases decrece al aumentar la temperatura. Por consiguiente, deberá de haber una temperatura óptima para un máximo grado de disolución. De estudios, se conoce que esta temperatura es de 85°C. En la Práctica, el uso de soluciones calientes para la extracción de oro resulta desventajosa por el elevado costo. (Zanabria,2021)

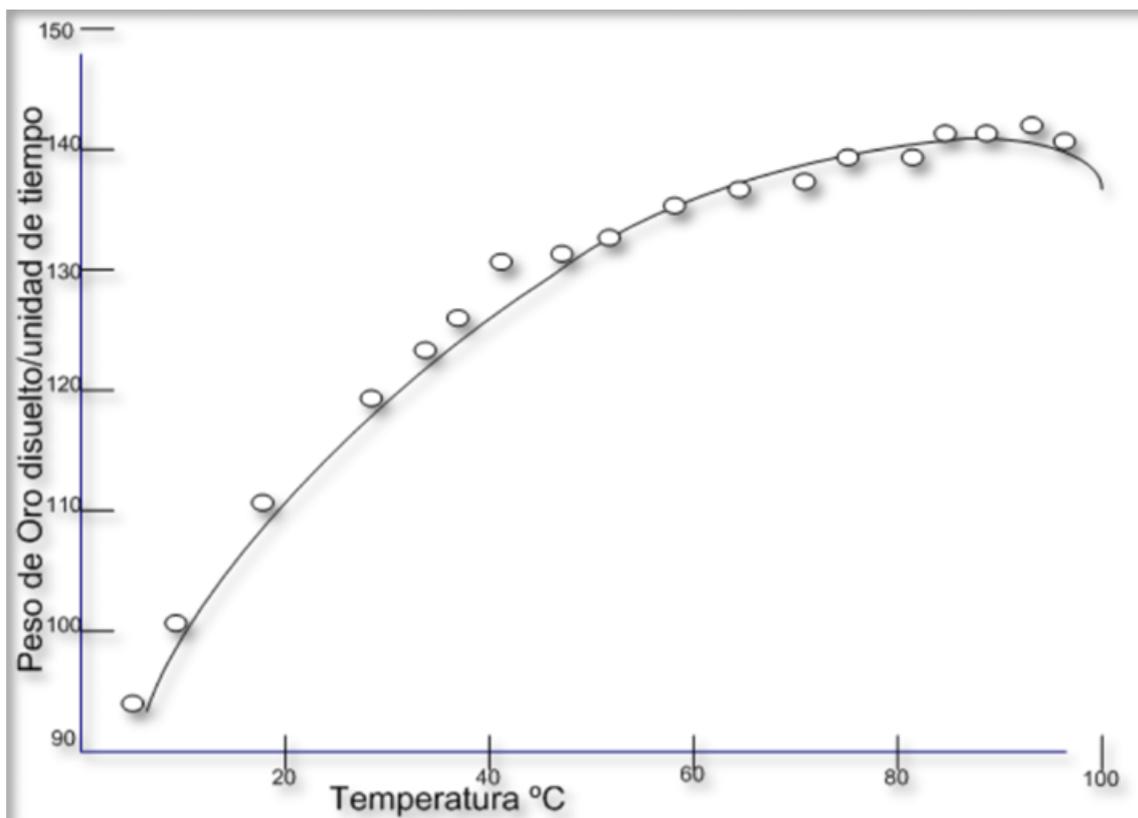


Figura 6: Efecto de la temperatura en la disolución de oro (Zanabria,2021)

d) Efecto de la Alcalinidad

El propósito de añadir bases como CaO o NaOH al proceso de cianuración incluye lo siguiente:

- Prevenir la pérdida de cianuro por hidrólisis.
- Neutralizar componentes ácidos tales como sales ferrosas, férricas y sulfato de magnesio en el agua de proceso antes de su adición al circuito de cianuro.
- Neutralizar constituyentes ácidos (pirita, etc.) en la mena.
- Floculante (sedimentación) de partículas finas de la mena, de modo que las soluciones preñadas claras pueden ser fácilmente separadas de las pulpas de menas cianuradas.
- Mejora la extracción cuando se trata minerales conteniendo por ejemplo telururos.
- A un pH cercano a 9.31 la mitad del cianuro total se encuentra como HCN mientras que el resto se presenta como cianuro libre (CN⁻). A pH 10.2, más del 90% del cianuro total se encuentra como CN⁻. En la práctica, el rango usual de pH está comprendido entre 10.5 a 11.5.

e) Efecto de la tasa de riego

Esta variable influye directamente en la cinética de lixiviación del mineral, al incrementarse la tasa de riego la velocidad de disolución del oro es mayor, debido al ingreso de mayor cantidad cianuro al mineral, sin embargo, el contenido de oro en la solución es menor debido al efecto de dilución. Ocurre lo contrario a reducir la tasa de riego, la velocidad de disolución es menor debido al menor ingreso de cianuro al mineral. Sin embargo, la recuperación final en ambos casos es la misma. (Zanabria,2021)

f) Efecto de la concentración de oxígeno

El uso del oxígeno o de un agente oxidante es indispensable para la disolución del oro, bajo condiciones normales de cianuración. Los agentes oxidantes, tales como: peróxido de sodio, permanganato de potasio, dióxido de manganeso, el bromo y el cloro han sido utilizados con mayor o menor éxito en el pasado, pero debido al costo de estos reactivos y las complicaciones inherentes en el manejo de ellos, han dejado de ser usados. De otro lado, el menor conocimiento y entendimiento de las reacciones involucradas en la cianuración y del conocimiento de los efectos de los constituyentes del mineral, han demostrado que una adecuada aireación da tan buenos resultados como lo hacen los oxidantes químicos. El

oxígeno es un elemento indispensable en la disolución del oro; siendo el aire atmosférico la fuente de oxígeno utilizado en el proceso de cianuración. (Zanabria,2021)

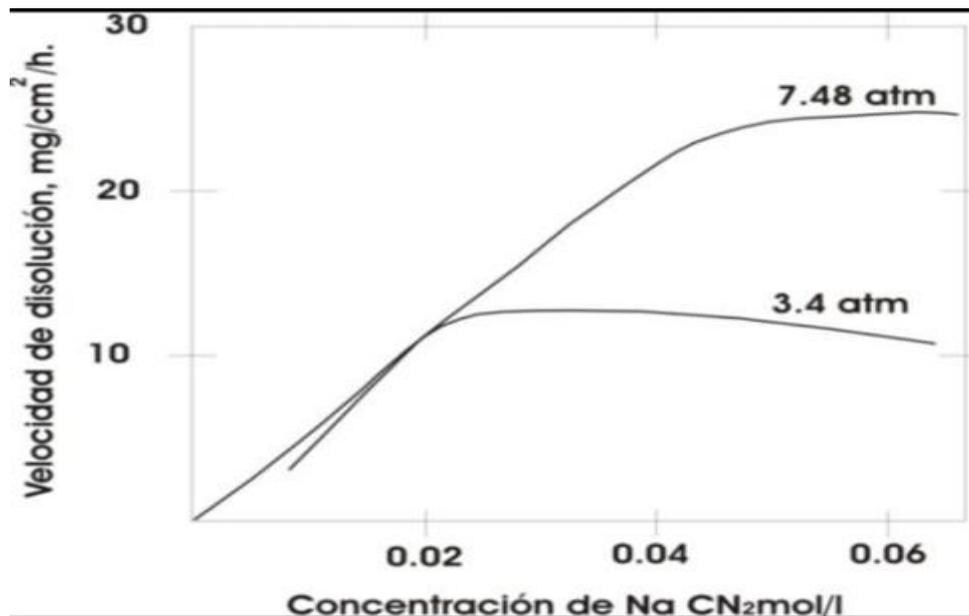


Figura 7: Velocidad de disolución del oro a diferentes presiones de oxígeno. (Zanabria,2021)

2.2.5. Ventajas operativas de los pads dinámicos

Los pads de lixiviación dinámicos ofrecen ventajas operativas significativas que se traducen directamente en un mayor beneficio económico para las operaciones mineras.

Una de las ventajas más destacadas es la mayor recuperación de oro. Los resultados de la investigación demuestran que los pads dinámicos logran una recuperación de oro sustancialmente superior en comparación con los pads estáticos. Específicamente, la recuperación promedio de oro en los pads dinámicos es del 86%, mientras que en los estáticos es del 72%. Esta diferencia representa un aumento del 14% en la recuperación mineralógica, lo que constituye un hallazgo central de esta investigación. (Monroy,2019)

Otra ventaja crucial es el menor tiempo de lixiviación. El proceso de lixiviación en pads dinámicos es considerablemente más rápido que en los estáticos. Esto se debe a que la solución lixivante tiene una menor altura de material que atravesar, lo que acelera la extracción de metales y reduce los tiempos de ciclo de procesamiento. Esta eficiencia temporal permite una mayor rotación del material y una producción más ágil.

Además, los pads dinámicos son particularmente eficientes en situaciones donde el espacio disponible es limitado. Su diseño "on/off" permite reutilizar la misma superficie para múltiples ciclos de lixiviación, optimizando el uso del terreno.

La mejora del 14% en la recuperación de oro es una ventaja económica directa y cuantificable. Este incremento significa que se extrae un volumen significativamente mayor de oro vendible de la misma cantidad de mineral procesado, lo que impulsa directamente los ingresos. Además, el tiempo de lixiviación reducido permite una conversión más rápida del inventario en flujo de caja, lo que puede acortar el período de recuperación de la inversión y mejorar la eficiencia del capital. Esta combinación de mayor recuperación y ciclos más rápidos no solo aumenta la rentabilidad, sino que también mejora la eficiencia del capital y reduce la exposición a la volatilidad del mercado a largo plazo, haciendo que el proyecto sea más atractivo desde una perspectiva de inversión. (Monroy,2019)

2.2.6. Metodologías de Evaluación Económica

La evaluación económica de una mina es un proceso complejo que requiere la consideración de múltiples variables y la aplicación de herramientas financieras grandes para determinar su viabilidad y rentabilidad a largo plazo

La rentabilidad de una mina se define por la interacción de tres componentes económicos fundamentales:

2.2.6.1.1. Ingresos.

Se generan a partir de la cantidad de metal valioso recuperado (onzas de oro y plata) y el precio de mercado de estos metales. La superioridad en la recuperación de oro de los pads dinámicos (86% en comparación con el 72% de los estáticos) tiene un impacto directo y positivo en la generación de ingresos. (Monroy,2019)

2.2.6.1.2. Costos Operativos (OPEX).

Representan los gastos recurrentes incurridos durante la fase de producción. Estos incluyen las operaciones unitarias de perforación, voladura, carguío y transporte, así como los servicios auxiliares y los costos asociados al procesamiento del mineral. Es importante destacar que los pads dinámicos, a pesar de su mayor eficiencia en recuperación, conllevan

costos operativos adicionales debido a la necesidad de remover y transportar el material lixiviado a un botadero, una actividad que no es requerida en los pads estáticos. (Tecsop,2018)

Los datos de OPEX se suelen reportar como costo total en dólares por tonelada de material procesado (\$/t) o costo total en dólares por onza de metal producido (\$/oz), especialmente para proyectos de oro y plata. Los rangos varían significativamente según la ubicación geográfica (costo de energía, mano de obra), la mineralogía, el tipo de pad (estático vs. dinámico), la escala de la operación y el nivel de automatización.

Un estudio genérico sobre costos de producción de oro podría indicar que los costos operativos directos (cash costs) para minas de lixiviación de oro pueden oscilar entre \$600 y \$1,200 por onza de oro, aunque proyectos de muy baja ley o con desafíos específicos pueden superar estos valores. Dentro de este rango, los reactivos y la energía suelen ser los componentes más volátiles y significativos. Por ejemplo, el cianuro puede representar entre el 10% y el 20% del OPEX total, y la energía otro 15% al 25%, dependiendo de la dependencia de generadores diésel vs. red eléctrica. (Wood Mackenzie, 2024)

2.2.6.1.2.1. Factores que Influyen en el OPEX del Pad de Lixiviación

Uno de los factores más significativos es la calidad del mineral. Un mineral con baja ley o con presencia de impurezas que interfieran con la lixiviación requerirá mayores cantidades de reactivos (cianuro, cal, ácidos), tiempos de lixiviación más prolongados y posiblemente mayor consumo de energía para el bombeo y procesamiento, elevando así los costos de reactivos y energía. La mineralogía también es clave; minerales refractarios o con encapsulamiento dificultoso del oro o la plata implicarán mayores desafíos y, por ende, mayores costos operativos. (Kapusta, 2011)

El costo de los insumos es una variable externa, pero de gran impacto. El precio internacional del cianuro, la cal, la energía eléctrica y el combustible diésel fluctúa constantemente y puede representar una parte sustancial del OPEX. Las cadenas de suministro y la disponibilidad de estos insumos en la región donde se ubica el proyecto también influyen en su costo. Un aumento en cualquiera de estos insumos se traduce directamente en un incremento del OPEX. (Whittle Consulting, 2018)

La eficiencia de los equipos y procesos es otro determinante. Equipos obsoletos o mal mantenidos tienen un mayor consumo de energía, una menor disponibilidad y requieren más gastos en mantenimiento y repuestos. Asimismo, una operación de pad de lixiviación que no optimice el flujo de soluciones, la distribución de reactivos o la granulometría del mineral (si aplica trituración) tendrá un rendimiento subóptimo y, consecuentemente, un mayor OPEX por unidad de metal producido. La optimización del ciclo de vida de los activos y la implementación de tecnologías más eficientes pueden mitigar estos costos. (Metso Outotec, 2021)

2.2.6.1.2.2. Optimización del OPEX: Estrategias para Reducir los Costos Operativos

Una estrategia fundamental es la optimización del consumo de reactivos. Esto implica realizar pruebas metalúrgicas continuas y detalladas para determinar el consumo óptimo de cianuro, cal y otros reactivos, evitando sobredosis que incrementan los costos sin un beneficio adicional en la recuperación. La implementación de sistemas de dosificación automatizados y el uso de reactivos de alta calidad que permitan una dosificación más eficiente son clave. Además, la recuperación y el reciclaje de reactivos de las soluciones estériles, cuando sea técnica y económicamente viable, pueden reducir significativamente el consumo de reactivos nuevos. (Mining Journal, 2022).

La eficiencia energética es otra área crítica. Esto puede lograrse mediante la optimización de los sistemas de bombeo (selección de bombas eficientes, minimización de pérdidas de carga), el uso de variadores de velocidad en motores, la optimización de los horarios de operación para aprovechar tarifas eléctricas más bajas (si aplica), y la implementación de fuentes de energía renovables (solar, eólica) cuando sea posible y coste-efectivo. La telemetría y el monitoreo en tiempo real del consumo energético permiten identificar rápidamente desviaciones y áreas de mejora. (Schneider Electric, 2021)

La gestión de la flota y el mantenimiento de equipos juega un rol vital. La implementación de programas de mantenimiento predictivo y preventivo, basados en el monitoreo de la condición de los equipos (análisis de vibraciones, termografía, análisis de aceite), permite anticipar fallas y realizar reparaciones antes de que se conviertan en paradas no planificadas costosas. La optimización de rutas y ciclos de acarreo (si aplica movimiento de material al

pad) y la correcta selección de equipos para cada tarea pueden reducir el consumo de combustible y los costos de mantenimiento. (Caterpillar, 2023)

La digitalización y automatización ofrecen grandes oportunidades para la optimización del OPEX. Esto incluye el uso de sistemas de control distribuido (DCS) para monitorear y controlar parámetros de proceso, software de optimización de producción para planificar las operaciones del pad de manera más eficiente, y el uso de drones para topografía y monitoreo del pad, reduciendo la necesidad de mano de obra en tareas repetitivas y peligrosas. La capacitación del personal en el uso de estas tecnologías es esencial para maximizar su potencial de ahorro. (Deloitte, 2022)

2.2.6.1.3. Gastos de Capital (CAPEX).

Comprenden las inversiones iniciales y de sostenimiento en activos a largo plazo, como la construcción de las plataformas de lixiviación, la infraestructura asociada y la adquisición de equipos. Los proyectos de lixiviación en pilas se caracterizan por requerir una menor intensidad de capital en comparación con métodos de procesamiento más complejos, como la molienda y la flotación. (Gallant ,2025).

El equilibrio entre una mayor recuperación de metal y los costos operativos adicionales es un factor determinante del beneficio económico neto. La superioridad de los pads dinámicos en la recuperación de oro se traduce directamente en un aumento de los ingresos. Sin embargo, esta ventaja viene acompañada de costos adicionales, principalmente derivados del Remanejo y transporte del material lixiviado. Por lo tanto, un análisis superficial basado únicamente en la recuperación sería insuficiente. Una evaluación económica rigurosa requiere un análisis costo-beneficio incremental detallado, donde los ingresos adicionales generados por la mayor recuperación se contrasten con estos costos operativos específicos. (Gallant ,2025).

La disponibilidad de costos unitarios detallados para carguío y transporte es fundamental para cuantificar con precisión estos gastos, permitiendo una determinación exacta del beneficio económico neto y asegurando que la mayor recuperación se traduzca realmente en una mayor rentabilidad después de considerar todos los gastos asociados. (Gallant ,2025).

Componentes de CAPEX: En un proyecto típico de lixiviación, el CAPEX se distribuiría aproximadamente de la siguiente manera (estas son estimaciones muy generales y varían ampliamente por proyecto):

- Desarrollo de la Mina (Movimiento de Tierras, Infraestructura inicial): 20-30%
- Planta de Procesamiento (Trituración, Aglomeración, SX-EW o carbón en Pulpa): 30-40%
- Pad de Lixiviación (Construcción de la plataforma, revestimientos, sistema de drenaje): 15-25%
- Infraestructura de Apoyo (Caminos, energía, agua, campamentos, talleres): 15-25%
- Contingencias, Permisos, Gastos de Ingeniería: 10-20% (Fuente: Análisis de reportes técnicos públicos de proyectos mineros con lixiviación, sin una única fuente consolidada que brinde estos porcentajes exactos de manera general). (Wood Mackenzie,2023)

2.2.7. Herramientas de análisis financiero.

Para evaluar la viabilidad y rentabilidad de los proyectos mineros, se emplean diversas herramientas de análisis financiero que permiten cuantificar el valor económico a lo largo del tiempo:

2.2.7.1 Valor Actual Neto (VAN).

Es la diferencia entre el valor presente de los flujos de efectivo de entrada y el valor presente de los flujos de efectivo de salida a lo largo de la vida de un proyecto. Un proyecto se considera financieramente viable y generador de valor si su VAN es superior a cero. (Gallant ,2025).

es una herramienta fundamental en la evaluación de proyectos de inversión, y su aplicación en la minería a tajo abierto, particularmente en el contexto de pads de lixiviación dinámica, presenta particularidades importantes. Este indicador financiero permite determinar la viabilidad de un proyecto al comparar el valor presente de los flujos de efectivo futuros con la inversión inicial (Smith, 2023).

En proyectos de minería a tajo abierto que emplean pads de lixiviación dinámica, el cálculo del VAN se vuelve más complejo debido a la naturaleza variable de los flujos de efectivo.

Los pads dinámicos, a diferencia de los estáticos, permiten la remoción y apilamiento continuo de mineral, lo que implica flujos de producción y costos operativos fluctuantes a lo largo de la vida del proyecto. Esto requiere una proyección detallada de la producción de metal, los costos de lixiviación, los costos de operación y mantenimiento, y los costos de cierre a lo largo del tiempo. (Gonzales, 2022).

Para calcular el VAN en este escenario, se deben estimar todos los flujos de efectivo neto (ingresos menos egresos) para cada período (generalmente años) de la vida útil del proyecto. Estos flujos de efectivo incluyen los ingresos por la venta de metal, los costos de perforación y voladura, los costos de carga y transporte, los costos de procesamiento en el pad de lixiviación, los costos de administración y ventas, y cualquier otro costo relevante (Pérez, 2021).

Una vez estimados los flujos de efectivo, cada uno debe ser descontado a su valor presente utilizando una tasa de descuento apropiada. Esta tasa de descuento, a menudo el costo de capital de la empresa o una tasa mínima de rendimiento requerida refleja el valor temporal del dinero y el riesgo asociado al proyecto minero (Silva, 2024). La fórmula general del VAN es la siguiente:

$$VAN = \sum_{k=0}^n \frac{F * El}{(1 * r)^{el}}$$

Dónde:

- F Eel= Flujo de efectivo neto en el período t
- o= Tasa de descuento
- Norte= Número total de períodos
- Yo= Inversion inicial

2.2.7.2 Tasa Interna de Retorno (TIR)

Representa la tasa de descuento a la cual el VAN de un proyecto se iguala a cero. Es una métrica de rentabilidad expresada como un porcentaje, que permite comparar la eficiencia de diferentes inversiones. Generalmente, una TIR más alta es más deseable. Los proyectos mineros suelen buscar TIR del 15% o más, considerándose atractivas aquellas que superan el 20%.

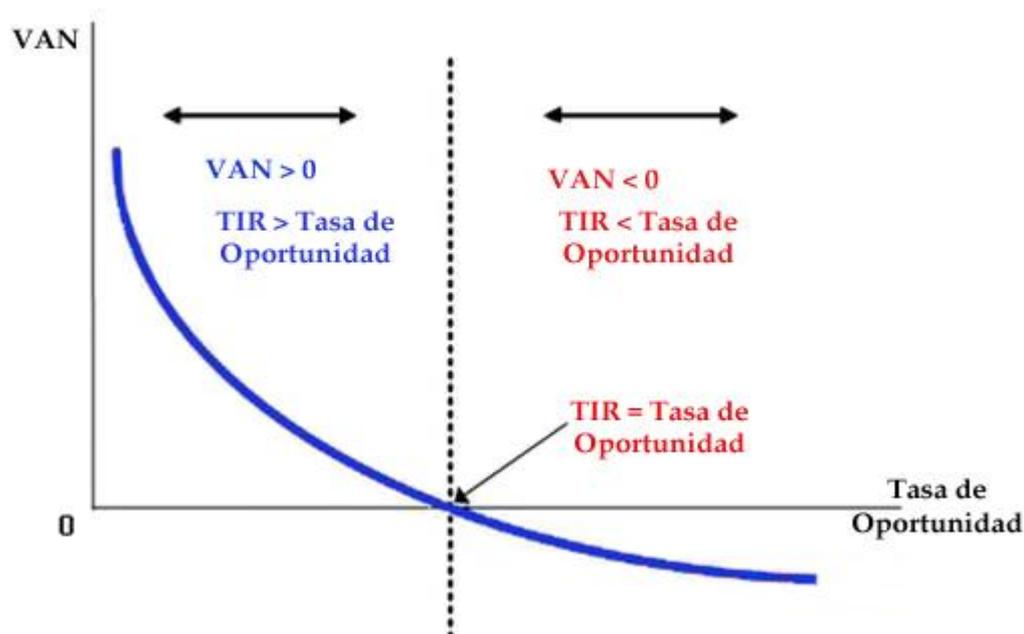


Figura 8: Comparación de VAN y la tasa de oportunidad (TIR)

2.2.7.3 Análisis Costo-Beneficio (ACB).

Es una metodología integral que compara los costos y los beneficios totales de un proyecto, expresados en términos monetarios. Su propósito es determinar si los beneficios superan los costos, indicando si el proyecto generará un valor neto positivo para la sociedad. (Kaestner.2025)

Estudios de caso de proyectos de lixiviación en pilas han reportado VAN y TIR significativos. Por ejemplo, el proyecto Black Pine mostró un VAN de US\$552 millones y una TIR del 32%, con un período de recuperación de 3.3 años. Otro caso, el proyecto Goldstrike, estimó un VAN de US\$283 millones y una TIR del 57%.

La aplicación de VAN, TIR y ACB es una práctica estándar en la presupuestación de capital en la industria minera. Dada la volatilidad inherente de los precios de los metales, estas métricas son cruciales para comparar oportunidades de inversión alternativas y evaluar la solidez financiera de un proyecto bajo diversos escenarios. El contexto actual de "márgenes de flujo de caja libre notables que promedian el 30% en 2025" en el sector de la minería del oro y los altos precios del oro (alrededor de \$3,300/oz en 2025) hacen que los proyectos con una economía subyacente sólida, como los que emplean pads dinámicos, sean

particularmente atractivos. Sin embargo, la posibilidad de que suposiciones de precios conservadoras subvaloren proyectos a largo plazo subraya la necesidad de un modelado financiero dinámico y un análisis de sensibilidad para capturar todo el potencial económico y gestionar el riesgo de manera efectiva. (Kaestner.2025)

2.2.8 Indicadores Claves de productividad (KPI)

Los KPI's por sus siglas en inglés (key performance indicator), son herramientas de gestión ampliamente utilizadas por las empresas en todo el mundo para medir y evaluar el desempeño de sus procesos y gestionarlos de la manera más eficaz y eficiente posible, con el objetivo de alcanzar metas previamente trazadas por las organizaciones. (Rojas, 2019).

Los KPI's ayudan a realizar una validación sobre los puntos que no se está cumpliendo dentro de la organización, y de esta manera, incrementar los esfuerzos sobre dichos puntos (Rojas, citado por Jackson 2009). Además, ayudan a realizar mejoras continuas, toma de decisiones, comparativos con otras empresas; con el fin de generar ganancias para la empresa. (Casas, 2018).

Cada equipo necesita ciertos recursos para un normal desenvolvimiento, siendo el principal la energía necesaria para el funcionamiento, cuyo consumo resulta conveniente a ser monitoreado para el control de productividad, para efectos de la presente investigación se evaluará el rendimiento de costos, eficiencia de bombeo, carguío, relación que existe entre el reactivo usado por la recuperación por tonelada.

2.2.8.1 Costo de carguío por tonelada (\$/t)

Es importante monitorear los costos de carguío mensuales de cada equipo para cada tonelada producida, debido a su influencia a nivel de reducción de costos, comprende en su totalidad los costos de operación, mantenimiento y recursos empleados para el funcionamiento de cada equipo. Se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$\text{CCT } (\$/t) = (\text{Costos totales} / \text{Tonelaje producido})$$



Figura 9:Equipo de carguío y acarreo (Unidad Minera el Toro,2022)

2.2.8.3. Consumo de Lixiviante (kg/ton de mineral o L/ton de mineral)

La recuperación de minerales por tonelada de mineral en los Procesos Dinámicos (PDS dinámicos) es un aspecto crítico en la industria minera, donde la eficiencia y la optimización del uso de reactivos juegan un papel fundamental para maximizar el valor del mineral extraído. Los PDS dinámicos, como la lixiviación en celdas dinámicas o la flotación, buscan adaptar las condiciones de procesamiento a las características cambiantes del mineral para lograr mejores recuperaciones. (Smith,2023)

Para la recuperación de oro y plata, la cianuración es el proceso hidrometalúrgico dominante. El principal reactivo es el cianuro (comúnmente cianuro de sodio, NaCN). La dosificación de cianuro varía ampliamente según el tipo de mineral (su mineralogía, contenido de metales base que consumen cianuro, y presencia de especies refractarias), la granulometría del mineral, el pH de la pulpa y el tiempo de residencia. En sistemas dinámicos (lixiviación agitada), las concentraciones de cianuro pueden oscilar entre 0.2 y 1.5 kg de NaCN por tonelada de mineral, aunque casos específicos pueden requerir dosis mayores. Es fundamental mantener un pH alcalino (generalmente >10.5) con cal (CaO) para prevenir la formación de ácido cianhídrico gaseoso (HCN), altamente tóxico. (Smith,2023)

2.2.8.4.Eficiencia de bombeo

La eficiencia del bombeo de las soluciones lixiviantes es un factor crítico que impacta directamente en los costos operativos, la recuperación metalúrgica y la sostenibilidad ambiental del proceso. Los sistemas de bombeo en estos pads deben ser resistentes y adaptables a las condiciones cambiantes, lo que requiere una cuidadosa selección de bombas y diseño de tuberías. Este proceso implica la extracción de metales valiosos mediante la percolación de soluciones a través de lechos de mineral triturado. La eficiencia no solo se refiere al rendimiento energético de las bombas, sino también a la capacidad de mantener un flujo constante y adecuado que maximice la recuperación de metal y minimice los costos operativos y el impacto ambiental. La selección, diseño y mantenimiento adecuados de los sistemas de bombeo son fundamentales para lograr estos objetivos. (Wills, 2016.)

En los pads dinámicos, la configuración del sistema de bombeo debe ser inherentemente flexible debido a la naturaleza cambiante del área de lixiviación. A medida que se agregan nuevas capas de mineral o se reubican secciones de los pads, la demanda de presión y caudal puede variar significativamente. Esto requiere el uso de bombas con capacidad de ajuste de velocidad, como aquellas controladas por variadores de frecuencia (VFDs), que permiten adaptar el rendimiento de la bomba a las condiciones actuales del proceso. (Valenzuela, 2018).

Además de la selección tecnológica, las buenas prácticas operativas juegan un papel vital en la eficiencia del bombeo. Esto incluye la capacitación del personal en el mantenimiento preventivo y correctivo de las bombas, la gestión adecuada de la calidad del agua para evitar la corrosión y la incrustación, y la optimización de los patrones de riego en los pads. La planificación hidráulica precisa, considerando las características del mineral, la granulometría y la tasa de percolación deseada, es fundamental para diseñar un sistema de bombeo que opere en su punto de máxima eficiencia para cada fase de la lixiviación. (CodelcoTech, 2009).

Tabla 1: Eficiencia de Bombeo en Lixiviación

Caudal de Bombeo (L/s)	Concentración de Oro Disuelto (g/L)	Rango de Eficiencia de Bomba (%)	Observaciones Clave
Bajo	Baja	< 60%	Bajo rendimiento de disolución, flujo insuficiente.
Óptima	Alta	> 80%	Buen rendimiento de disolución, operación eficiente.
Medio	Media	60% - 80%	Rendimiento aceptable, pero no óptimo.
Alto	Media a Baja	< 60%	Sobrecarga de la bomba, problemas de permeabilidad del pad.

2.2.8.5. Tasa de Recuperación de Metales

La tasa de recuperación de metal es quizás el indicador de productividad más directo y crítico. Representa el porcentaje del metal valioso extraído del mineral apilado en el pad. Para la lixiviación de cobre, se ha observado que la optimización de parámetros como la concentración de H₂SO₄, el flujo de solución y el curado del mineral pueden mejorar significativamente la recuperación. Por ejemplo, en estudios recientes, se ha logrado una recuperación del 80 % de cobre al optimizar estas variables. (unsa,2025)

2.2.8.6. Tiempo del Ciclo de Lixiviación

El tiempo de lixiviación o ciclo de lixiviación se refiere al período durante el cual el mineral permanece bajo irrigación para la extracción del metal. Reducir este tiempo sin comprometer la recuperación puede aumentar significativamente la capacidad de procesamiento del pad. La optimización de variables operativas y de diseño, como el control del pH, potencial redox (Eh), temperatura y concentración de oxidantes, puede acelerar las reacciones de lixiviación y, por ende, el tiempo de ciclo. (Rojas, 2025)

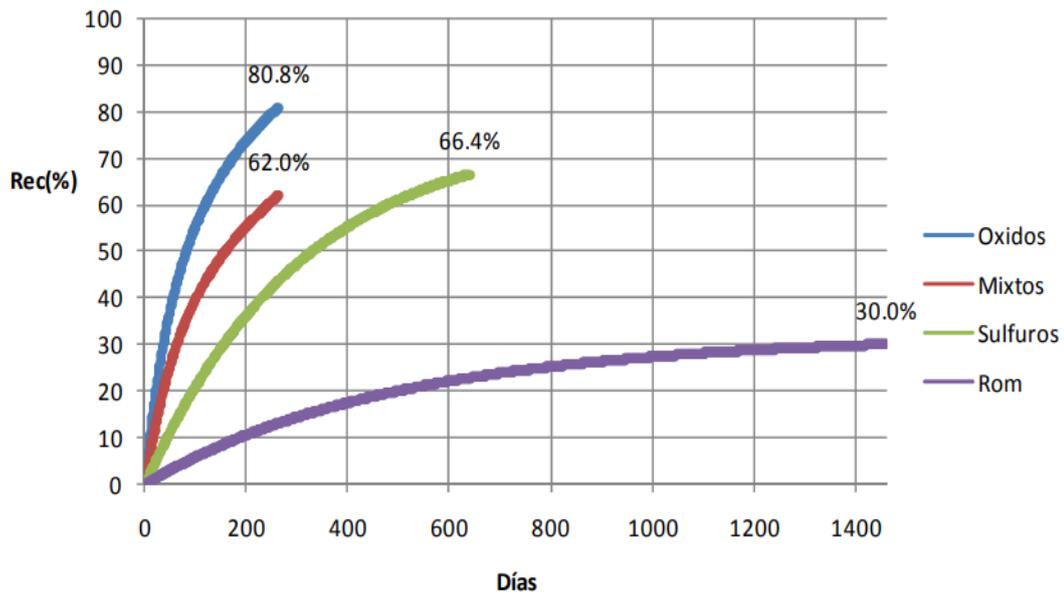


Figura 10: Influencias del % de recuperación en comparación con el tiempo de lixiviación.

2.2.8.7. Permeabilidad del Lecho de Mineral

La permeabilidad del lecho de mineral es un factor crítico que afecta el flujo de la solución lixivante a través del pad. Una baja permeabilidad puede llevar a canalizaciones o zonas de baja recuperación. El tamaño de partícula del mineral, la cantidad de arcillas y el método de apilamiento influyen en la permeabilidad. Un coeficiente de permeabilidad (K) óptimo se encuentra entre 10^{-3} y 10^{-4} cm/s para asegurar un flujo eficiente. (Rojas, 2025)

2.2.8.8. Consumo de Agua (L/ton de mineral)

Mide la cantidad de agua utilizada en el proceso de lixiviación por tonelada de mineral. Es un indicador crucial para la sostenibilidad y la gestión de recursos hídricos. El consumo de agua en lixiviación de pads puede variar enormemente, pero las operaciones modernas buscan reducirlo al mínimo. Un rango típico podría ser entre 200 y 500 L por tonelada de mineral, dependiendo de la recirculación, la evaporación y la humedad del mineral. (Laura, 2018).

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Banco: Es la parte de cualquier mina subterránea o a cielo abierto donde se efectúa trabajos de excavación. Es el volumen de material mineral o estéril que está entre dos niveles horizontales de explotación y que constituyen la unidad geométrica y básica de una explotación a cielo abierto (Monroy, 2019).

Drenaje: Es la acción de evacuación de la solución rica por medio de cañerías corrugadas y perforadas, colocadas longitudinalmente debajo de la pila de mineral (Laura, 2018).

Lixiviación y pad de lixiviación: Es un proceso hidrometalúrgico mediante el cual se provoca la disolución de un elemento desde el mineral que lo contiene para ser recuperado en etapas posteriores mediante electrolisis (Astudillo, 2019).

Permeabilidad: Es la capacidad de la solución lixivante de penetrar a las partículas de minerales en el Pad (Laura, 2018).

Percolación: Es la manera en la cual la solución lixivante fluye por gravedad a través del mineral el cual constituye la pila (Laura, 2018).

Remanaje de lixiviado: Es la actividad de transportar el mineral que previamente fue lixiviado a otro lugar para seguir lixiviándose, pero en condiciones distintas a la primera (Valdivia, 2015).

Solución pregnat: Es la solución que contiene los valores disueltos de oro y plata provenientes de la lixiviación con cianuro, también conocida como solución rica (Monroy, 2019).

VAN: Es la diferencia entre el valor presente de los flujos de efectivo de entrada y el valor presente de los flujos de efectivo de salida a lo largo de la vida de un proyecto (Gallant ,2025)

TIR: Representa la tasa de descuento a la cual el VAN de un proyecto se iguala a cero

ACB: Es una metodología integral que compara los costos y los beneficios totales de un proyecto (Kaestner,2025)

KPIS: Son herramientas para medir y evaluar el desempeño de sus procesos y gestionarlos de la manera más eficaz y eficiente posible (Rojas, 2019).

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.2. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.8. Geográfica

La Unidad Minera El Toro es propiedad de las empresas Corporación del Centro S.A.C. y los Andes Perú Gold S.A.C, hoy llamado Summa Gold Corporation; está ubicada en la franja central del Corredor Chimú, dentro de la hoja (16-g) Cajabamba y (16-h) Pataz. El sistema de coordenadas utilizada es Datum-WSG - 84, Zona 17s y Zona 18s; sus coordenadas centrales UTM son N 9134814 y E 829083. El mineral extraído es tratado mediante PADs de Lixiviación y su metal de recuperación es el oro (Au) y plata (Ag).

3.2.9. Política

Políticamente se ubica en el distrito de Huamachuco, provincia de Sánchez Carrión, departamento de La Libertad; a una altitud de 3580 m.s.n.m.

3.2.10. Accesibilidad

Para llegar a la Unidad Minera El Toro, se parte desde Cajamarca a la provincia de Cajabamba; y luego hacia el distrito de Huamachuco. A unos 15 minutos antes de llegar a la ciudad de Huamachuco, está el Centro Poblado de Shiracmaca que conduce a la garita de la Unidad Minera el Toro, en la Tabla 1 se muestra la distancia y el tiempo de cada trayecto.

Tabla 2 . Ruta de Acceso a la Unida Minera el Toro

	Tramo	Tipo de vía	Distancia	Tiempo
Cajamarca	San Marcos	Asfaltada	70 km	2 h
San Marcos	Cajabamba	Asfaltada	58 km	1 h
Cajabamba	Shiracmaca	Asfaltada	5 km	1 h 30 min
Shiracmaca	Garita de control	Trocha carrozable	2 km	15 min

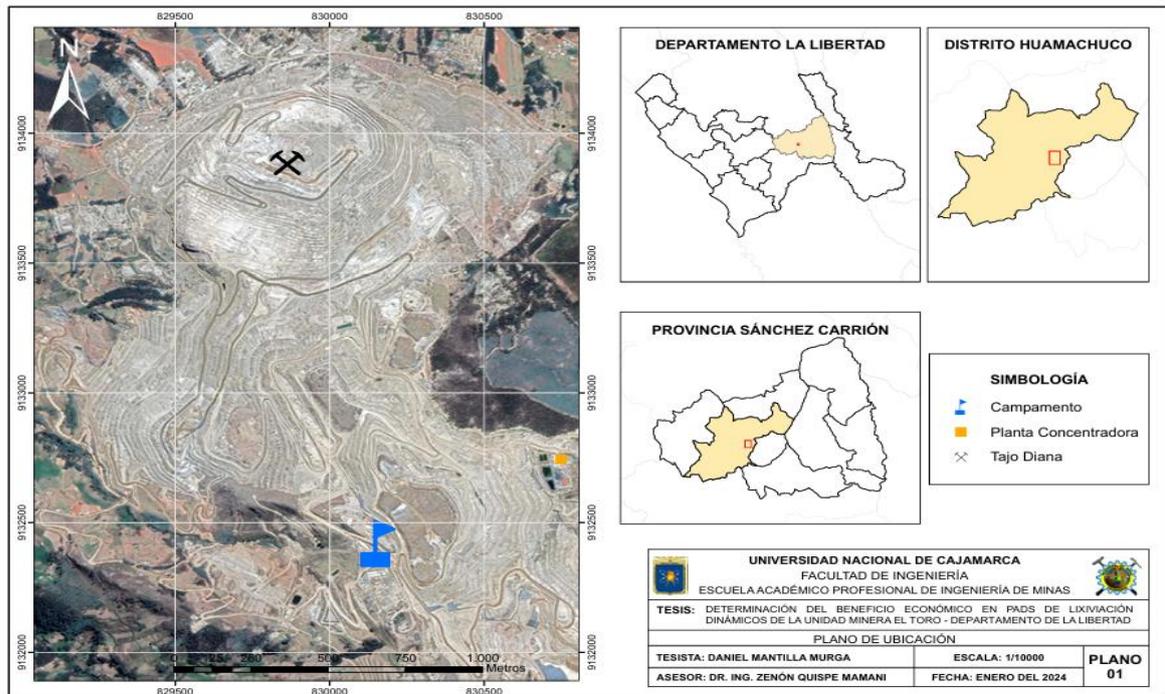


Figura 11 . Ubicación geográfica de la unidad minera el Toro.

3.2.11. La unida minera El Toro

El Toro, ubicado en Huamachuco, departamento de La Libertad. Los centros poblados y caseríos dentro del radio de influencia directa son: el caserío de Coigobamba, centro poblado menor de Shiracmaca, caserío El Toro y el anexo de Santa Cruz. La Unidad Minera el Toro cuenta con dos garitas de acceso: la primera por el centro poblado menor de Shiracmaca y la segunda garita se encuentra por el anexo de Santa Cruz. Esta Unidad Minera cuenta con un solo tajo, llamado Diana, tiene una altura de banco de 8 m, una sobre perforación de 0.5 m y un diámetro de taladro de $6 \frac{3}{4}''$, en las celdas dinámicas tenemos un overline 1m, 2 m de cama; que nos sirve para poder proteger la base de cualquier daño, y el apilamiento de mineral de una altura de 11 metros.

3.3. GEOLOGÍA

3.3.8. Geología local.

La unidad minera el Toro es un yacimiento de oro de alta sulfuración, emplazado en areniscas y cuarcitas de la Formación Chimú. La mineralización está asociada a intrusiones de rocas subvolcánicas de composición andesítica y dacítica, controladas por estructuras de dirección noroeste. La geología local se caracteriza por una compleja interacción de eventos

tectónicos y magmáticos, con fallas de alto y bajo ángulo que han favorecido la mineralización y la oxidación supérgena.

El yacimiento está limitado por una falla con rumbo N 47° W y buzamiento de 60° SW. En la parte central se observan:

- Areniscas y cuarcitas como matriz con clastos fuertemente argilitizados.
- Una zona de brecha con clastos angulosos y subangulosos.
- Vetillas en zonas plegadas y estructuradas durante periodos de tectónica compresiva.
- Cabalgamientos rellenos con sustancias iónicas de oro.

✓ **Alteraciones Hidrotermales**

El yacimiento ha sido afectado por un evento hidrotermal con cuarzo azucarado, craquelado, intensamente fracturado y con abundantes óxidos (jarosita, hematita, goethita). Esta zona se encuentra conformada como un anticlinal ligeramente volcado con rumbo NW-EW y buzamiento de 45° a 69° en el flanco este. Hacia el oeste se observa una columna de pórfido dacítico con textura porfírica, cuarzo en forma redondeada y abundante arcilla (caolín, alunita, sericita).

✓ **Contacto Geológico**

Más al oeste se encuentra nuevamente la secuencia de areniscas y cuarcitas con clastos argilitizados y una zona de brecha. Finalmente, se observa un contacto no definido de rocas con abundante cuarcita compacta y rocas de la Formación Santa con lutitas carbonosas en algunos tramos. Estos últimos se encuentran en estudio para determinar la discordancia entre las Formaciones Santa y Chimú. (Monroy, 2019).

Fallas de alto ángulo de tendencia SW-NW Generadas durante el arqueamiento y plegamiento de las unidades clásticas jurásico-cretáceo que conformaron el anticlinal del cerro El Toro, a lo largo de cuyo núcleo, habría ocurrido el emplazamiento del intrusivo dacítico, así como el ascenso posterior de fluidos hidrotermales alterantes y portadores de mineralización, conducidos por fracturas y craquelado de las cajas adyacentes a dichas fallas, formando cuerpos y canales de brechas.

3.3.9. Geología regional

La morfología de la región de La Libertad es el resultado de una compleja interacción entre procesos tectónicos y magmáticos. El macizo ígneo terciario, el campo volcánico Calipuy y la secuencia sedimentaria mesozoica han sido los principales actores en la configuración del relieve actual. El estudio de estos procesos geológicos es fundamental para comprender la distribución de la mineralización en la región.

La interpretación estructural preliminar indica fallas de naturaleza regional, las cuales han sido denominadas, como Shiracmarca la que se encuentra ubicada al Este del yacimiento con Rumbo N47°W y Buzamiento 69° al Oeste. Otra falla reconocida es la Falla Huamachuco ubicada al extremo Oeste del yacimiento con un Rumbo N39°W y Buzamiento 56° al Este. También se observa una falla transversal con movimiento dextral, denominada Falla Coigobamba con Rumbo B89°E y Buzamiento 78° Sur. Es importante tener en cuenta la intersección de estas fallas regionales pues en muchos casos dan origen a posibles yacimientos, así como también en los alrededores, pues forma zonas de debilidad cortical.

Los andes norperuanos presentan una notable y completa sedimentación cretácea acumulada formando una plataforma siliciclástica y carbonatada, con una subsidencia muy importante; la cual, durante el Cenozoico ha sido afectada por un estilo tectónico compresivo, que generó un sistema de pliegues y fallas con convergencia al este. Todo este sistema es recortado por numerosos stocks y domos sub-volcánicos porfiríticos de composición ácida, que siguen un rumbo andino (aproximadamente NW-SE), los que han servido como fuente de los fluidos mineralizantes para las diferentes áreas mineralizadas en la franja comprendida en la Formación Chimú.

3.3.10. Geología estructural

El depósito minero El Toro, es el resultado de múltiples eventos de actividad magmático-hidrotermal, estrechamente relacionados con procesos tectónicos que actuaron antes, durante y posterior al emplazamiento de la mineralización aurífera; cuyo marco estructural define cinco eventos tectónicos:

- Fallas de bajo ángulo transversales al eje del anticlinal y buzamiento al SE

Constituyen cabalgamiento imbricados (Over Thrust – O.T.) que limitan numerosas escamas y ventanas tectónicas caracterizadas por trituración de roca, foliación tectónica, bloques alóctonos de carbón, lutitas y areniscas laminares.

Fallas gravitacionales de alto ángulo Transversales al eje del anticlinal con hundimiento considerable del bloque techo (tipo echelón); fallas Dolores, Cecilia.

Fallas de moderado a alto ángulo con desplazamiento de rumbo con magnitudes superiores a 110 m, Fallas Marcy, Diana. La intensa deformación debida a la complejidad estructural ha favorecido la actividad supérgena, responsable de la intensa oxidación que destruyó gran parte de la mineralización hipógena.

Su mayor incidencia lo constituyen las fallas Liliana y Mercedes, que deforman el bloque central, conformado por las fallas Diana y Marcy.

Los yacimientos de Au-Ag y polimetálicos de la región están controlados por dos sistemas de lineamientos: NW-SE y NE-SW. Los lineamientos NE-SW parecen tener un mayor control sobre la mineralización económica, como se observa en el trend Salpo-Machacala-Quiruvilca (dentro del campo volcánico Calipuy) y La Arena-Virgen-María Angola-El Toro (en la franja sedimentaria mesozoica). (Monroy, 2019).

Dentro de esta franja de mineralización epitermal de minerales preciosos (Au) están asociados a zonas de cizallamiento comprensivo, los cuales tienen como roca huésped a secuencias siliciclásticas de la Formación Chimú (cretáceo inferior), las que han sido tectonizadas hacia el fin del Eoceno medio y mineralizadas durante el Mioceno. Algunos elementos estructurales (tales como las fallas transgresivas, los pliegues, etc.) que han controlado el entrapamiento de la mineralización son notorios dentro de nuestro yacimiento.

3.3.11. Litología y estratigrafía

3.3.11.3. Formación Chicama – Jurásico Superior

Lutitas gris oscuras a negras, estratificadas en capas, fuertemente foliadas, deleznales. Ocasionalmente presentan delgadas intercalaciones de areniscas de color gris a pardo. En la región, dentro de la formación Chicama, se han reconocido pequeñas estructuras con

mineralización aurífera, asociadas a apófisis y sills de composición dacítica y por lo general, poseen cantidades anómalas de elementos polimetálicos (Hg-As-Ag-Pb-Zn-Cu).

3.3.11.4. Formación Chimú – Cretáceo Inferior

La Formación Chimú presenta una base de areniscas, cuarcitas y lutitas, coronada por una gruesa capa de cuarcitas blancas. Esta formación yace concordantemente sobre la Formación Chicama. Es notable la presencia de mineralización de oro en las brechas de contacto de sus niveles inferiores e intermedios. Recientemente, el auge exploratorio ha revelado importantes yacimientos de oro dentro de la Formación Chimú, incluyendo La Arena (ubicado en la base), Virgen (un poco más alto en la secuencia, según Monroy, 2019), María Angola y la mina Santa Rosa (Comarsa).

3.3.11.5. Formación Santa – Cretáceo Inferior

Intercalación de lutitas, calizas margosas y areniscas gris oscuras. Sobreyace, en aparente concordancia, a la formación Chimú. Aflora limitadamente, conformando depresiones cubiertas por terrenos de color blanco y fangosos.

3.3.11.6. Formación Carhuaz – Cretáceo Inferior

Intercalación de lutitas y areniscas de color gris, rojizas a rosadas. En la parte superior se alternan algunos bancos de cuarcitas blancas. Yace en ligera discordancia sobre la formación Santa. Dada la impermeabilidad de sus horizontes Lutáceo-Arcilloso, su comportamiento es desfavorable para albergar mineralización. Sin embargo, al norte de Huamachuco (Hacienda Cahuadán), existen pequeños yacimientos de caolín explotados artesanalmente para cerámica.

3.3.11.7. Formación Farrat – Cretáceo Inferior

Está conformada por areniscas y cuarcitas blancas de grano medio a grueso (aproximadamente 500m). Sobreyace en aparente concordancia a la formación Carhuaz. Los horizontes clásticos de la formación Farrat, por su buena permeabilidad cuando se fracturan, constituyen una excelente roca receptora de mineralización aurífera diseminada, como en el prospecto El Toro.

3.3.11.8. Formación Inca, Chulec y Pariatambo – Cretáceo Medio

Consisten en una alternancia de areniscas, lutitas y calizas. Sobreyacen a la formación Farrat. No se conoce ocurrencia de mineralización en estas formaciones.

3.3.11.9. Volcánico Calipuy – Cretáceo superior al terciario inferior

La parte inferior está constituida por una gruesa secuencia de lavas riolíticas, riodacíticas y dacíticas, intercaladas con algunos horizontes en ambas zonas de bordes, ha sido posible reconocer estructuras sub-volcánicas dómicas asociadas a actividad hidrotermal remanente posterior, así como stocks de cuellos volcánicos, así como se muestra en la figura 5 (Monroy, 2019).

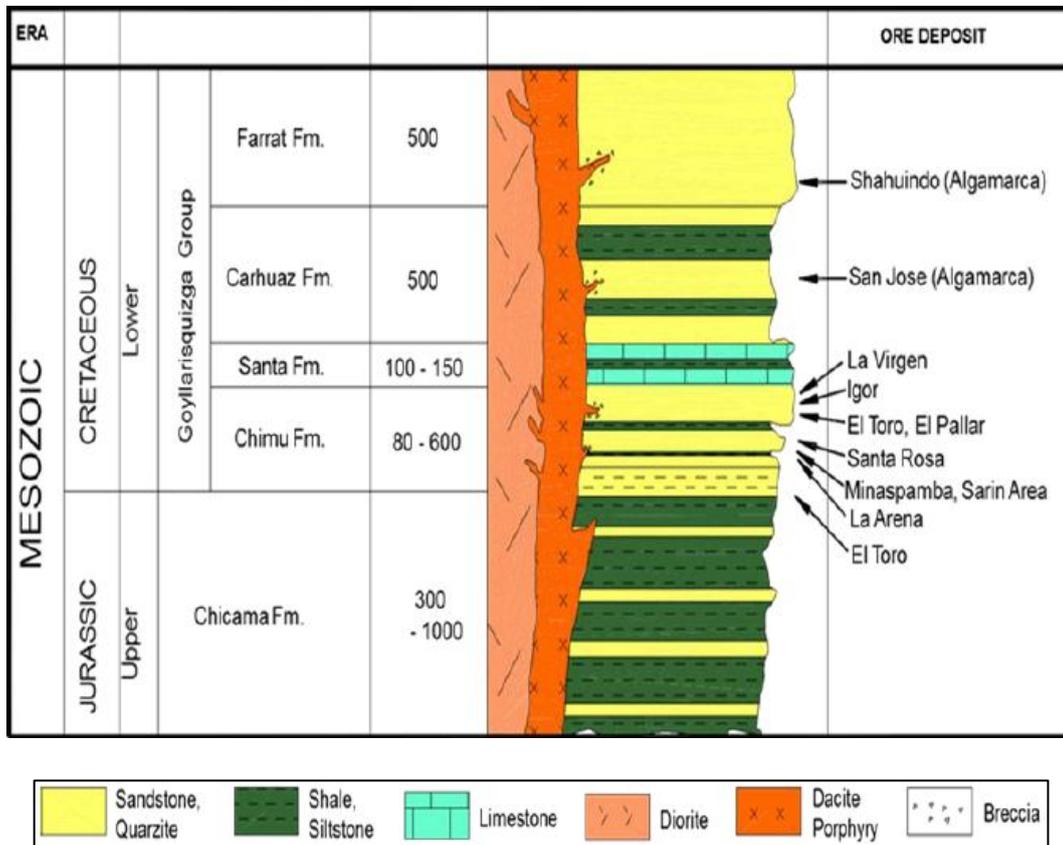


figura 12. Columna estratigráfica de depósitos de Au alojados en sedimentos. (Monroy,2019).

3.3.12. Hidrogeología

La revisión de aspectos hidrogeológicos ha sido enfocada principalmente al componente de tajo abierto y a la interacción que puede presentarse con el flujo subterráneo en la zona de interés. El nivel freático se encuentra por debajo de la cota de fondo del tajo (3244 m.s.n.m.) y que ésta se encuentra a 3187 m.s.n.m, por lo indicado se asume que no existe impacto alguno sobre los flujos subterráneos (Villar, 2021).

3.3.13. Clasificación litológica.

El yacimiento de la mina el Toro en su composición litológica está caracterizada por intrusiones de rocas subvolcánicas de composición dacítica/andesítica. Estas rocas están controladas por estructuras de dirección noroeste. litológico. Para un mejor control de la litología tenemos la figura 5 de la clasificación del mineral por su litología.

CUADRO DE CLASIFICACIÓN LITOLÓGICA				
Nº	Descripción	Abrev.	Código	Color
1	Arenizca cuarzosa	QSD	10	Verde
2	Brecha hidrotermal	HBX	20	Naranja
3	Brecha polimíctica	CBX	30	Amarillo
4	Brecha tectónica	BXC	40	Rojo
5	Andesita Sulfurada	ADS	50	Púrpura
6	Andesita Oxidada	ADO	60	Naranja
7	Carbón orgánico	COA	70	Grigio
8	Zonas de relleno	OVB	80	Grigio
9	Material coluvial	CRM	90	Rojo
10	Andesita Mixta	ADM	100	Cian
11	Relleno de mineros informales	MIW	110	Grigio

Figura 13. Clasificación de mineral por la litología (Unida Minera el Toro,2022)

En la figura 13, muestra el modelo litológico, donde se puede apreciar que en gran mayoría el yacimiento es de arenisca cuarzosa (QSD), existe una zona de intrusivos (color magenta) que corresponde a una litología de andesita sulfurada, asociado a una andesita oxidada (color amarillo) y zonas de brecha (color rojo).

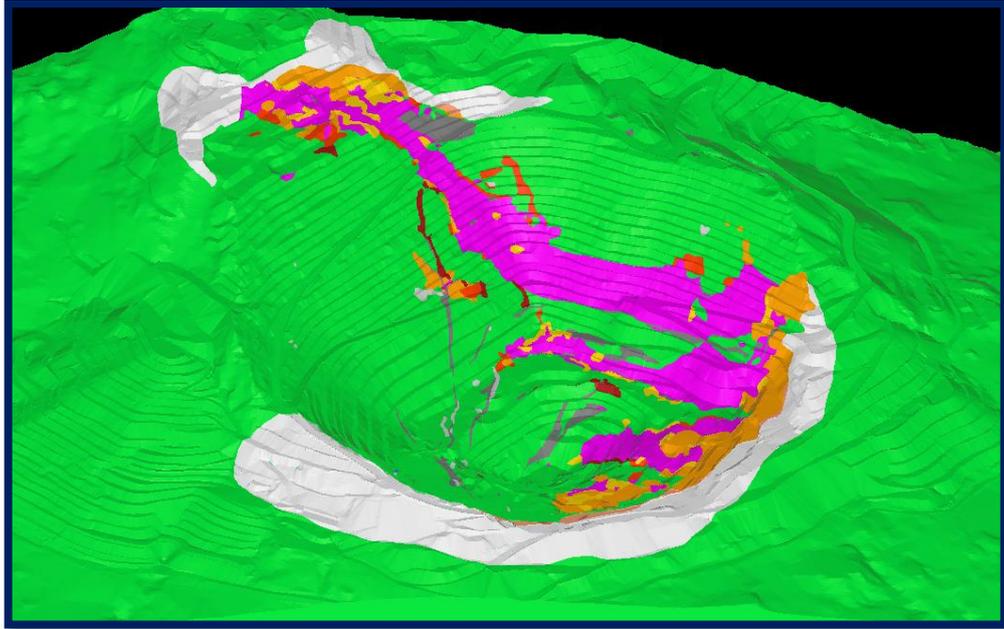


figura 14. Modelo litológico del modelo de bloques. (Unidad Minera el Toro,2022)

3.3.14. clasificación Mineralógica del yacimiento

- TCM (Contenido de Carbono Total/Materia Carbonosa)
- S2 (Azufre Sulfurado)
- Código Otype: Es un código numérico único para cada "Tipo de Mena" específico.

Litología	Codigo Lito	Color	TCM	S2	Ore Type	Codigo Otype	Observaciones
QSD	10	Green	<= 0.1	<= 0.6	QSD_1	11	Oxido
				> 0.6 y <= 2	QSD_2	12	Mixto
			> 0.1	>2	QSD_3	13	Sulfuroso
				-	QSD_4	14	Carbonoso
HBX	20	Red	<= 0.1	<= 0.6	HBX_1	21	Oxido
				> 0.6 y <= 2	HBX_2	22	Mixto
			> 0.1	>2	HBX_3	23	Sulfuroso
				-	HBX_4	24	Carbonoso
CBX	30	Orange	<= 0.1	<= 0.6	CBX_1	31	Oxido
				> 0.6 y <= 2	CBX_2	32	Mixto
			> 0.1	>2	CBX_3	33	Sulfuroso
				-	CBX_4	34	Carbonoso
BXC	40	Blue	<= 0.1	<= 0.6	BXC_1	41	Oxido
				> 0.6 y <= 2	BXC_2	42	Mixto
			> 0.1	>2	BXC_3	43	Sulfuroso
				-	BXC_4	44	Carbonoso
ADO	60	Orange	<= 0.1	<= 2	ADO_1	61	Mixto
			> 0.1	> 2	ADO_2	62	Sulfuroso
			> 0.1	-	ADO_3	63	Carbonoso
ADM	100	Cyan	<= 0.1	<= 2	ADM_1	101	Mixto
			> 0.1	> 2	ADM_2	102	Sulfuroso
			> 0.1	-	ADM_3	103	Carbonoso
ADS	50	Purple	-	-	ADS_1	51	Sulfuroso
COA	70	Grey	-	-	COA_1	71	Carbonoso
OVB	80	Black	-	-	OVB_1	81	Relleno
CRM	90	Red	-	-	CRM_1	91	Coluvial
MIW	110	Grey	-	-	MIW_1	111	Carbonoso

figura 15. Parámetros de clasificación de mineral por litología. (Unidad Minera el Toro,2022)

Tabla 3. Fases de minado de la unidad minera El Toro.

	Mineral Tn (Ktn)	Au Au (g/t) Rec(g/t)	Au Cont. (Koz)	Au Rec (Koz)	Desmorte Toneladas (Ktn)	Total, Toneladas (Ktn)	Ratio D:M	Recupera cion	
Fase 08A	3,043	0.46	0.39	44.982	37.840	3,684	6,727	1.21	84%
Fase 08B	6,973	0.29	0.22	65.986	50.091	17536.000	24,479	2.51	76%
Fase 09	8,450	0.35	0.26	95.166	71.489	32,018	40,468	3.79	75%
Fase 10A	10,619	0.42	0.34	144.494	114.423	31,91	42,529	3.00	79%
Fase 01E	12.748	0.45	0.32	183.945	131.148	20754.000	33,502	1.63	71%
Fase 10B	16,220	0.46	0.37	241.711	193.417	58379.000	74,599	3.60	80%
Fase 10C	15.378	0.43	0.34	213.492	167.986	65,035	80,414	4.23	79%
Fase 11	9,020	0.42	0.33	122.459	95.885	67073.000	76,093	7.44	78%
Total	82.452	0.42	0.33	1,112.236	862.219	296359.000	378,811	3.59	78%

Fuente: (Unidad Minera el Toro, 2022.)

En la figura 15 se presenta las diferentes fases de minado que están operativas dentro de la operación minera el Toro, clasificadas según su geología y litología

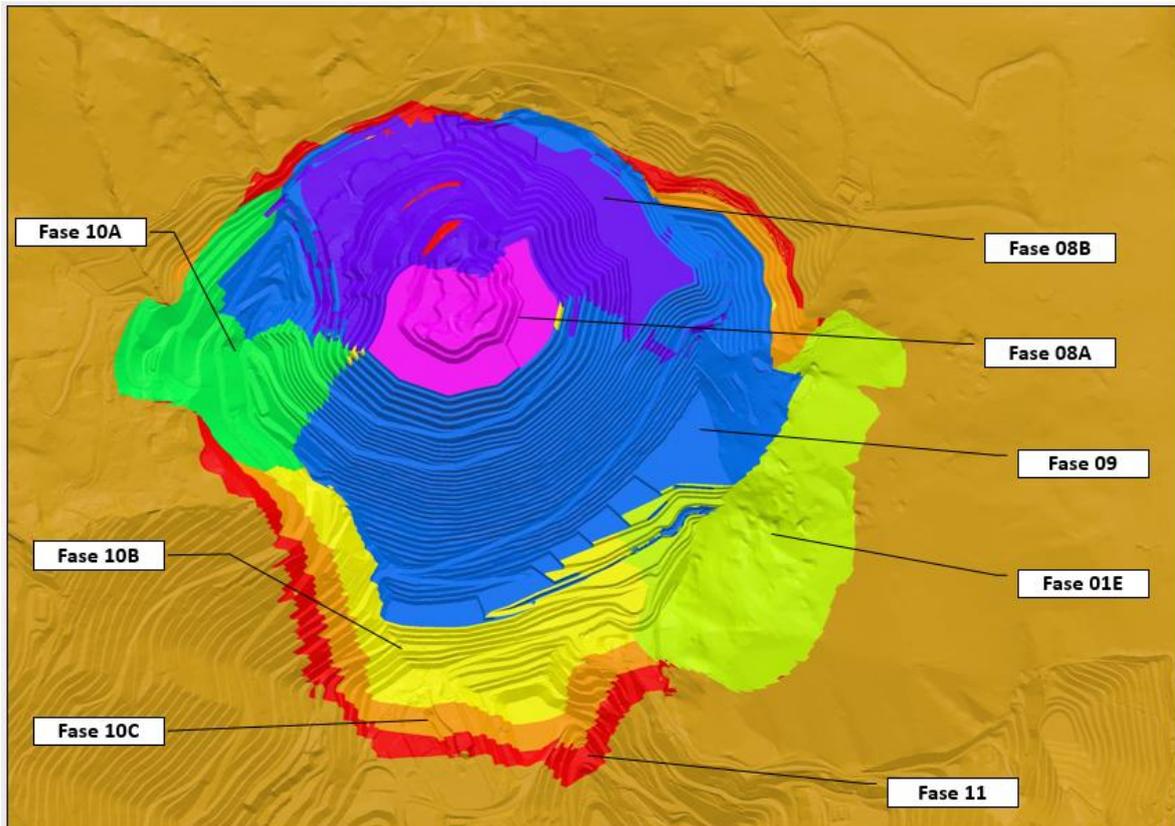


figura 16.Fases de minado operativos (Unidad Minera el Toro,2022.)

3.3.15. Operaciones unitarias

La Compañía Minera Los Andes Gold SAC, tiene los horarios de trabajo de 7:00 am – 7:00 pm, realizándose en 2 turnos (turno día y turno noche), con sistemas de trabajo de 14x7 y 5x2. Las operaciones unitarias realizada por el área de operaciones mina para la producción actual de mineral y desmonte se detallan a continuación.

3.3.15.3. Perforación

Parámetros de perforación

Los aceros de perforación que se utilizan en mayor proporción son barras Drillco (7 m, 11.4 cm de diámetro), martillo Drillco, broca de 16 y 18 botones esféricos (diámetro 15.36 cm), porta brocas, entre otros.

Tabla 4:Parámetros de perforación

Parámetros de perforación	
Ø perforación (Pulg)	Altura de Banco(m)
6 3/4"	8
4 1/2"	

Fuente. (Unidad minera el Toro,2022)

Tabla 5:Equipos de perforación:

MODELOS DE EQUIPOS DE PERFORACION			
Equipo de perforación	Modelo	Perfo máxima(m/min)	Perfo. óptima (m/min)
Atlas Copco	DM45E	45	25-35
Atlas Copco	ROCL8-01	46	25-36

Fuente. (Unidad minera el Toro,2022)



Figura 17: Perforadora DME45, perforación en banco (Mina el toro,2022)

3.3.15.4. Voladura

En voladura la verdadera potencia de un explosivo reside en la velocidad con la que se libera la energía, y los factores claves son el calor la reacción ,velocidad de detonación y el diámetro de la carga, el primer factor es el que nos va a determinar la cantidad de energía liberada durante la detonación, en cuanto a la velocidad de detonación mientras más rápida

sea, mayor es la potencia del explosivo, además de la influencia del diámetro de la carga ya que es un factor que influye en la dispersión de la energía.

Tabla 6:Parámetros de Voladura.

Parametros de Voladura		
Descripción	Valor	Unidades
Altura de banco	8	m
Diámetro de broca	6 3/4"	Pulg
Malla	Triangular	-
Espaciamiento	6	m
Burden	5.2	m
Sub-Drilling	1	m
Cámara de aire Piso	0	m
Altura de carga inicial	5.5	m
Taco inicial	3.5	m
Esponjamiento	0.2	m
Taco final	3.3	m
Factor de Carga	0.72	kg/m3
Factor de Potencia	0.28	kg/Ton

Fuente. (Unidad Minera el Toro.2022)

Es importante tener en cuenta que la dirección del desplazamiento del material pos-voladura es un proceso complejo que está influenciado por una variedad de factores, desde la calidad de explosivo hasta el tipo de roca que se ha fragmentar.

3.3.15.5. Carguío y transporte

En el contexto de pads dinámicos, la granulometría es crucial, ya que el mineral suele requerir un chancado a tamaños específicos (a menudo entre 100 y 250 mm para lixiviación en pilas, o incluso más fino para procesos dinámicos más intensivos), lo que influye en la eficiencia del carguío y la posterior percolación de la solución lixivante. La optimización del carguío busca maximizar el factor de llenado de los camiones y minimizar los tiempos de ciclo de la pala, asegurando una carga homogénea que facilite el transporte y la descarga.

La logística de carga y transporte de la unidad minera es compleja y requiere una cuidadosa planificación y ejecución para poder garantizar los requerimientos de mineral de planta y celdas dinámicas y para ello se emplea maquinarias pesadas a cargo de empresas contratistas.

El mineral que se obtiene de la voladura en la mina es cargado por cargadores frontales y se transporta en camiones volquetes de bajo tonelaje y depositados según sus destinos ya determinados. En la Tabla 6 muestra los equipos y costos por hora de trabajo.

Tabla 7: Modelos de equipos para carguío de mineral y empuje de material.

Equipo	Modelo	tipo equipo	Tarifa(\$/h)	Actividad
L120F_01TOR	L120F	Cargador Frontal	65	Empuje
WA430_02TOR	WA430	Cargador Frontal	65	Empuje
390FL_03SS	390FL	Excavadora	180	Carguío
950E_01CED	950E	Excavadora	185	Carguío
750DL_01CED	750DL	Excavadora	150	Carguío
950L_01VIP	950L	Cargador Frontal	68	Empuje
L260H_01CED	L260H	Cargador Frontal	116	Carguío
L150H_03ECO	L150H	Cargador Frontal	79	carguío
380DL_02SGC	380DL	Excavadora	109	carguío
420F_07ROM	420F	Retroexcavadora	41	empuje
380DL_05CED	380DL	Excavadora	109	carguío
L120F_04CED	L120F	Cargador Frontal	65	Empuje
D6TEX_04SS	D6TEX	Tractor de Oruga	85	Empuje
380DLC_01VIP	380DLC	Excavadora	109	carguío
D6TXL-05SS	D6TXL	Tractor de Oruga	85	Empuje

Fuente: (Unidad Minera El Toro,2022)

La Tabla 7 detallamos el equipo que se utiliza para el proceso de acarreo del mineral o material estéril, para ello estamos considerando los siguientes ID: la placa, actividad y tipo de equipo, asimismo la tarifa, capacidad en metros cúbicos de 15,20 y 26 respectivamente.

Tabla 8: Equipos para transporte de mineral y desmante.

Equipo	Placa	tipo equipo	Tarifa(\$/h)	Actividad	Capacidad(m³)
V_1112TOR	T9C-893	volquete	41	acarreo	15
V_1118TOR	T9W-853	volquete	41	acarreo	15
V_1300PSC	TOA-831	volquete	46	acarreo	20
V_1301PSC	TOA-844	volquete	46	acarreo	20
V_525CJ	T9C-927	volquete	46	acarreo	20
V_1106TOR	T9W-823	volquete	46	acarreo	20
V_1529MA		volquete	50	acarreo	26

Fuente: (Unidad Minera El Toro,2022)

La Tabla 8 detallamos los equipos usados para acarreo de material, considerando las tarifas por hora de trabajo.

Tabla 9: Modelos y cantidad de equipos para transporte de mineral y desmante.

Equipo	Placa	tipo equipo	Tarifa(\$/h)	Actividad	Capacidad(m³)
V_249COR	T0Z-914	volquete	50	acarreo	24
V_253COR	TAA-846	volquete	50	acarreo	24
V_254COR	TAA-847	volquete	50	acarreo	24
V_257COR	TAA-933	volquete	50	acarreo	24
V_258COR	TAA-943	volquete	50	acarreo	24
V_259COR	TAJ-850	volquete	50	acarreo	24
V_259COR	TAJ-850	volquete	50	acarreo	24
V_260COR	TAJ-875	volquete	50	acarreo	24
V_261COR	TAJ-866	volquete	50	acarreo	24
V_262COR	TAJ-911	volquete	50	acarreo	24
V_263COR	TAJ-897	volquete	50	acarreo	24
V_264COR	TAJ-868	volquete	50	acarreo	24
V_265COR	TAJ-847	volquete	50	acarreo	24
V_267COR	TAJ-867	volquete	50	acarreo	24
V_268COR	TAJ-910	volquete	50	acarreo	24
V_1103TOR	AWW-871	volquete	50	acarreo	24

Fuente: (Unidad Minera El Toro,2022)



Figura 18: Equipo de carguío y acarreo

3.3.15.6. Servicios auxiliares

Los servicios auxiliares en pads de lixiviación dinámica son elementos fundamentales que, si bien no participan directamente en la reacción química de disolución del metal, son absolutamente críticos para el funcionamiento eficiente, seguro y sostenible del proceso.

Estos sistemas de apoyo garantizan la operatividad continua, la optimización de los recursos y la minimización de riesgos. Su diseño e implementación adecuados son tan importantes como el diseño del propio pad o la formulación de la solución lixivante, ya que cualquier falla en ellos puede detener la operación o reducir drásticamente su rendimiento. Las actividades de estos equipos de manera general son:

- Preparación de áreas para carguío.
- Construcción, habilitación y mantención de caminos y accesos.
- Construcción de cunetas.
- Mantención de botaderos, remediación
- Limpieza en sectores específicos.
- Apoyo directo a operaciones (carguío, traslado de equipos)
- Servicios minas, Ingeniería y proyectos, voladura

La tabla 9 presenta información sobre diferentes equipos utilizados en el proyecto, incluyendo su tipo de equipo, tarifa dólares por hora (\$/h), actividad a realizar, y el tipo de costo asociado dentro de las operaciones la mina.

Tabla 10:Modelo de excavadoras y tarifa en mina.

Equipo	tipo equipo	Tarifa(\$/h)	Actividad	Tipo de costo
380EC-01JAM	Excavadora	109	Perfilado	Costo de producción
390FL_03SS	Excavadora	175	conformación de cama	Costo de producción
380DL_01ECO	Excavadora	109	desbroce	costo Operativo
380DLC_01ELO	Excavadora	109	Despliegue de Geomembrana	costo Operativo- Costo de producción
380DLC_01VIP	Excavadora	109	Blending	Inversiones

Fuente: (Unidad Minera El Toro,2022)

Tabla 11:Equipos de servicios auxiliares.

Equipo	Placa	tipo equipo	Tarifa(\$/h)	Actividad	Tipo de costo
L150H_14C ED	L150 H	Cargador Frontal	79	Bolonería	Costo de producción
L150H_03E CO	L150 H	Cargador Frontal	79	Zarandeo	Ingeniería y Proyectos
L120F_01T OR	L120 F	Cargador Frontal	65	Despliegue de Geomembrana	Costo de producción
L120F_01C ED	L120 F	Cargador Frontal	65	remolque	Costo de producción - Exploraciones

Fuente:(Unidad Minera El Toro,2022)

En la tabla 10 se presenta los modelos de los equipos de servicios auxiliares para el tipos de motoniveladoras, en las columnas tenemos actividad que realiza y el costo asociado a sus trabajos.

Tabla 12:Modelo de Motoniveladora y tarifa en mina.

Equipo	tipo equipo	Tarifa(\$/h)	Actividad	Tipo de costo
160M_01SS	Motoniveladora	93	Mantenimiento de vías	Costo de producción
12M_02ELO	Motoniveladora	80	plataformas	Costo de producción - Inversiones
140AWD	Motoniveladora	80	Mantenimiento de vías-Muros	costo Operativo-inversiones
SMG2-01DAE	Motoniveladora	80	taludes-plataformas	Costo de producción - Inversiones

Tabla 13:Modelo de Tractor Oruga y tarifa en mina.

Equipo	tipo equipo	Tarifa(\$/h)	Actividad	Tipo de costo
CS54B_02DAE	Rodillo	38	compactación de vías	costo Operativo-inversiones
D6T_01COR	Tractor de Oruga	83	Banquetas-Rampas	Inversiones
D7R_01SS	Tractor de Oruga	100	remoción	Costo de producción

Fuente: (Unidad Minera El Toro,2022)

En las tablas 11 y 12 mostramos los modelos de tractor oruga y modelos de cisternas para los servicios auxiliares, donde las columnas nos indican: Equipo, tipo de equipo, tarifa en dólares por hora(\$/h), actividad y el tipo de costo asociado por sus trabajos.

Tabla 14:Modelo de Cisternas y tarifa en mina.

Equipo	Placa	Tipo equipo	Tarifa(\$/h)	Actividad	Tipo de costo
CIST_04CRJ	4CRJ	Cisterna de Agua	36	Traslado de Agua	planta
CIST_01REY	TIRE	Cisterna de Agua	36	Materiales	Costo de producción
CIST_02STA	CIST	Cisterna de Agua	36	Riego De Vías	Costo de producción
CIST_04CRJ	CIST	Cisterna de Agua	36	riego de plataforma	Ingeniería y Proyectos

Fuente: (Unidad Minera El Toro,2022).



Figura 19:Equipos auxiliares (Monroy,2019)

3.3.16. Proceso de lixiviación

En el proyecto El Toro, el proceso de extracción de oro y plata comienza en el Leach Pad (pad de lixiviación). Esta plataforma está construida con una geomembrana de HDPE de 60 milésimas de pulgada sobre una superficie cuidadosamente preparada, donde se apilan múltiples capas de mineral. Para extraer el oro (Au) y la plata (Ag), el mineral se riega con una solución de cianuro de sodio (NaCN), utilizando un promedio de 1.03 metros cúbicos de solución por tonelada de mineral. Al percolar, esta solución disuelve el oro y la plata, transformándose en una solución rica lixiviada (SRL). Esta SRL se dirige a una poza de

almacenamiento para luego ser bombeada a la planta ADR (adsorción, desorción, regeneración y fundición), donde se completará la recuperación de los metales.

Las pozas de solución son depósitos diseñados para almacenar las diferentes soluciones del proceso y tienen las siguientes capacidades (Monroy, 2019).

En la tabla 14 mostramos las capacidades de las pozas para las solución rica, pobre y la poza de contingencia.

Tabla 15: Capacidad de pozas de almacenamiento de soluciones.

Nº	Poza (m3)	Descripción
1	20000	Poza de solución rica
2	20000	Poza de solución pobre
3	75000	Poza de contingencia

Fuente: (Unidad Minera El Toro,2022)

En la tabla 14 tenemos la Capacidad de Botadero por año con Planeamiento a corto y largo plazo, según la producción de mineral con fechas de inicio para la operación.

Tabla 16: Capacidad de Botadero por año, según la producción de mineral.

Botadero	Capacidad (Ktn)	Inicio	Fin
BNF07	14,584	ene-22	jun-22
BD04	46,538	mar-22	feb-26
BD03	12,027	mar-26	jul-24
BD05	242,900	ago-24	dic-33
BD_Inpit	5,900	ene-34	jul-35
Total	321,949	ene-24	jul-35

Fuente: (Unidad Minera El Toro,2022)

Tabla 17: Capacidad de pad por fase año y mes de inicio

PAD	Capacidad (Ktn)	Inicio	Fin
PAD03 F1	8,545	ene-22	jul-23
PAD03 F2	47,373	ago-23	jul-28
PAD03 F3	52,195	ago-28	jul-35
Total	108,113	ene-22	jul-35

Fuente: (Unidad Minera El Toro,2022)

3.3.16.3. Adsorción

La solución enriquecida, después de ser bombeada de la poza de solución rica, pasa a través de los circuitos de adsorción. Este circuito es conformado por 6 columnas de carbón activado, que tienen una capacidad de 2 toneladas de carbón seco por columna, para pasar un flujo ascendente de 160 m³/h de solución de lixiviación rica. (Monroy,2019)

En este proceso de adsorción, el carbón activado se encarga de atrapar los elementos valiosos que se encuentran en la solución, para luego pasar a la siguiente etapa de desorción. La solución pobre que saldrá de cada circuito de adsorción se descarga al tanque solución barren. En este tanque barren, se adicionará cianuro de sodio en solución, para reajustar la fuerza en la solución y luego será bombeada a las pilas de lixiviación, produciéndose de esta manera el circuito cerrado en forma permanente. (Monroy,2019)

3.3.16.4. Desorción

El carbón cargado con contenido de metales valiosos es transportado hacia el reactor de desorción. En este reactor se realiza el proceso de desorción, que consiste en lixiviar el carbón con solución a altas temperaturas compuesto con cianuro de sodio (NaCN), hidróxido de sodio (NaOH) y alcohol etílico, recirculando la solución alcalina a través del reactor de desorción, transfiriendo el oro hacia la solución que esta conducido a la celda de electrodeposición. (Monroy,2019)

3.3.16.5. Electrodeposición

La solución concentrada saliente del reactor de desorción pasa por las celdas electrolíticas y aquí mediante la circulación de una corriente eléctrica comienza a electro depositarse los iones de oro en los cátodos de lana de acero, en forma de precipitados. Este precipitado es filtrado y luego ingresado al horno retorta y luego a la fundición. (Monroy,2019)

3.3.16.6. Fundición

Para la fundición del precipitado se utiliza un horno de tipo basculante, implementado con se respectivo sistema de colada y con basculamiento manual. El cemento electrolítico seco, será mezclado con reactivos fundentes. Esta mezcla será cargada al crisol para ser fundida durante un tiempo de aproximadamente 2 horas. De esta manera se producirá las barras bullón como producto terminado del proceso de recuperación de oro. (Monroy,2019)

3.4. PROCEDIMIENTOS.

3.4.8. Primera etapa: Gabinete

En esta etapa se realizó la recopilación bibliográfica que consistió en la búsqueda inicial, revisión y análisis de estudios previamente hechos en pads o celdas dinámicas, así como también trabajos realizados con el mismo propósito de investigación. Se estableció el cronograma de actividades para las salidas a mina con el fin de realizar el registro de los datos y variables necesarias para esta investigación.

3.4.9. Segunda etapa: Campo

Consistió en recoger información general de la Compañía Minera, tonelaje de mineral extraído de los bancos de voladura, descarga en pads dinámicos, proceso de riego en pads de lixiviación y recuperación de mineral lixiviado.

3.4.10. Tercera etapa: Gabinete

En esta etapa final de gabinete se procedió a realizar el procesamiento y análisis de la información tomada en campo; el software Excel sirvió para organizar la información en tablas; ArcGis para la georreferenciación de las instalaciones mineras y los mapas temáticos. Así mismo se realizó el análisis y discusión de los resultados para luego elaborar las conclusiones, recomendaciones y redacción final de la tesis.

3.5. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.5.8. Tipo nivel, diseño y método de la investigación

El tipo de investigación será cuantitativa con un nivel descriptivo, correlacional y explicativo. El diseño será de aspecto no experimental y transversal; el método de investigación implicará el analítico-deductivo.

3.5.9. Población de estudio

Está ubicado en la unidad minera El Toro y comprende las celdas dinámicas

3.5.10. Muestra

Serán los pads dinámicos de lixiviación comprendidos en una unidad de tiempo.

3.5.11. Unidad de análisis

Ley de mineral, recuperación mineralógica, toneladas de material extraído y tiempo de lixiviado, producción de finos de Au, y Ag para la valorización del mineral, indicadores de rentabilidad.

3.6. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Variables independientes

- Recuperación Metalúrgico
- Producción de mineral
- Tiempo de lixiviado.

Variable dependiente

- Beneficio económico

3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La recolección de datos partió de georreferenciar el área destinada a la construcción de los pads dinámicos, se cuantificó las toneladas de mineral ingresados diariamente al pad, tiempo empleado durante la lixiviación y porcentaje de oro extraídas de los pads de lixiviación.

3.7.8. Técnicas

- **Análisis documental:** se ha hecho recopilación de información, libros, tesis, informes, estudios relacionados a pads dinámicos de lixiviación. También se ha obtenido investigaciones e informes de la Unidad Minera El Toro.
- **Observación directa:** fue el proceso en el cual se ha observado el seguimiento que se sigue para la obtención del oro mediante pads de lixiviación. Involucra desde la perforación, voladura, carguío y transporte, servicios auxiliares hasta los procesos de adsorción, desorción, electrodeposición y fundición.

3.7.9. Instrumentos y equipos

Para la elaboración de la presente investigación se ha tomado en cuenta la aplicación de técnicas de observación, descripción e interpretación a través de trabajos de campo y gabinete, así como el empleo de materiales y equipos, los que se describen a continuación:

- Libreta de campo para apuntes de datos referidos a la investigación.
- GPS para la toma de las coordenadas y georreferenciación.
- Imágenes satelitales del SAS Planet y Google Earth, para la ubicación y referenciación de la zona de estudio.
- Cámara digital para el registro fotográfico.
- Equipo de protección personal de manera obligatoria para el ingreso a las labores subterráneas.
- Laptop para el procesamiento de datos y redacción de la investigación.
- Calculadora para desarrollo y solución de variables numéricas.
- Software Excel para la cuantificación y gráficos de los datos de investigación; ArcGIS para la elaboración de planos utilizados en la investigación y hexagon mine plan para plan de producción y planeamiento de corto y largo plazo, visualización de reservas y modelamiento de datos.
- Laptop para el procesamiento de los datos obtenidos, así como la redacción de la investigación, desarrollo y culminación de la tesis.

3.8. Plan Producción De Mineral

Durante la etapa de crecimiento de la unidad minera El Toro, se observa un aumento sostenido en claves métricas como la producción de mineral, la ley de oro y el contenido de oro, así como también plata lo que se traduce en una mayor cantidad de oro y plata recuperada. Si bien el volumen de desmonte también se eleva, su crecimiento es inferior al del mineral, lo que contribuye a que la proporción de desbroce permanezca considerablemente estable.

Tabla 18: Plan de Minado general LOM 2022

	ene-22	feb-22	mar-22	abr-22	may-22	jun-22	jul-22	ago-22	sep-22	oct-22	nov-22	dic-22	2022
	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
Mineral													
Tonelaje (Kt)	574	619	602	629	738	814	815	731	745	830	728	612	8,437
Au (g/t)	0.42	0.40	0.41	0.40	0.35	0.33	0.33	0.35	0.34	0.32	0.35	0.40	0.36
Au Contenido (Koz)	7.673	7.906	7.941	8.027	8.385	8.749	8.749	8.295	8.262	8.432	8.228	7.798	98.447
Au Recuperado (Koz)	5.626	5.626	5.526	5.626	5.626	5.526	5.526	5.526	5.626	5.626	5.526	5.526	66.914
Desmonte													
Tonelaje (Kt)	2,417	2,084	2,389	2,266	2,254	2,081	2,177	2,261	2,151	2,161	2,168	2,380	26,889
Total, Minado													
Tonelaje (Kt)	2,992	2,704	2,992	2,896	2,992	2,896	2,992	2,992	2,896	2,992	2,896	2,992	35,326
Ratio de desbroce													
SR (w:o)	4.21	3.36	3.97	3.60	3.06	2.56	2.67	3.09	2.89	2.60	2.98	3.89	3.19

Fuente:(Unidad Minera el toro,2022)

Para la eficiencia de recuperación indica que aproximadamente el 88% del contenido de oro en el mineral será efectivamente extraído y convertido en producto final. La tasa de recuperación puede variar significativamente entre diferentes tipos de depósitos y procesos metalúrgicos. Para una ley de oro de 0.36g / t, esta tasa de recuperación es un parámetro importante para considerar en la economía del proyecto.

El ratio de desbroce es de 3.19, significa que, por cada tonelada de mineral extraído, se deben remover aproximadamente 3.19 toneladas de desmonte. Este ratio es un indicador clave de la eficiencia operativa y los costos de minado. Un ratio de desbroce más alto generalmente implica mayores costos de movimiento de material, ya que se necesita excavar y transportar más material estéril para acceder al mineral.

3.8.8. Mineral que se procesa para el periodo 2022

El grafico nos muestra los meses con mayor pico de aporte de producción tiene en el 2022

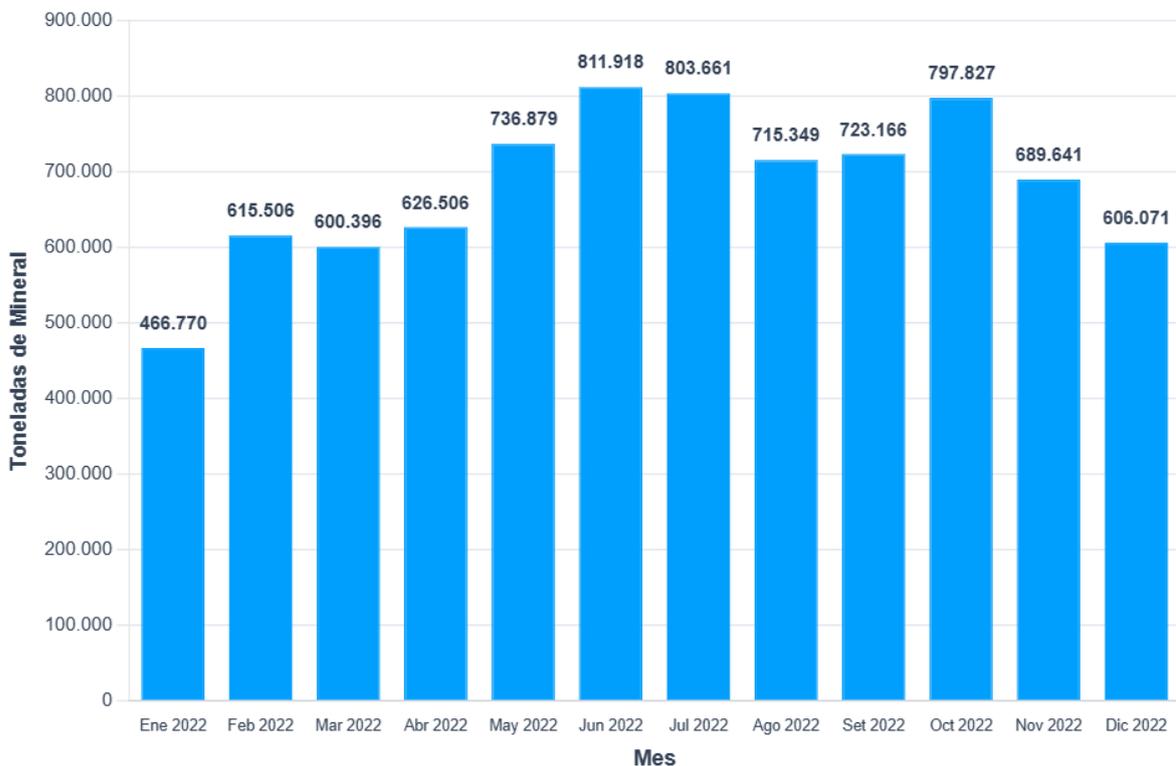


figura 20. Producción Mensual de Mineral (Toneladas) - Año 2022

Tabla 19.Mineral procesado para el periodo del año 2022.

	ene-22	feb-22	mar-22	abr-22	may-22	jun-22	jul-22	ago-22	sep-22	oct-22	nov-22	dic-22	2022
	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366
<i>Mineral Procesado</i>													
<i>ROM (kt)</i>	574	619	602	629	738	814	815	731	745	830	728	612	8,437
Au (g/t)	0.42	0.40	0.41	0.40	0.35	0.33	0.33	0.35	0.34	0.32	0.35	0.40	0.36
Ag (g/t)	0.73	0.75	0.69	0.63	1.04	1.66	2.03	1.46	1.08	1.05	1.03	1.32	1.16
Au Rec (g/t)	0.30	0.28	0.29	0.28	0.24	0.21	0.21	0.24	0.23	0.21	0.24	0.28	0.25
Rec. Au (%)	73.3%	71.2%	69.6%	70.1%	67.1%	63.2%	63.2%	66.6%	68.1%	66.7%	67.2%	70.9%	68.0%
<i>Contenido Au (koz)</i>	7.673	7.906	7.941	8.027	8.385	8.749	8.749	8.295	8.262	8.432	8.228	7.798	98.447
<i>Contenido Ag (koz)</i>	13.391	14.889	13.272	12.691	24.739	43.517	53.199	34.337	25.844	27.891	24.066	26.002	313.837
<i>Recuperables Au (koz)</i>	5.626	5.626	5.526	5.626	5.626	5.526	5.526	5.526	5.626	5.626	5.526	5.526	66.914
<i>Recuperables Ag (koz)</i>	1.473	1.638	1.460	1.396	2.721	4.787	5.852	3.777	2.843	3.068	2.647	2.860	34.522
<i>Recuperables 2da Lixiv Au (koz)</i>	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.100	1.100	1.100	1.000	1.000	1.000	13.500
<i>Total, Recuperables Au (koz)</i>	6.826	6.826	6.726	6.826	6.826	6.726	6.626	6.626	6.726	6.626	6.526	6.526	80.414
<i>Recuperación (%)</i>	89%	86%	85%	85%	81%	77%	76%	80%	81%	79%	79%	84%	82%

Fuente:(Unidad Minera el toro,2022)

Tabla 20. Producción de mineral por fase.

	Mineral (Toneladas)	PromPond-Total-Ley Au (g/ton)	Au Onz Producidas
Fase1	2.338.754	0.6617	43.680,14
Fase2	2.585.278	0.5723	41.861,94
Fase3	5.510.589	0.5027	78.162,77
Fase4	6.606.873	0.4492	83.908,41
Fase5	6.983.275	0.3808	75.010,59

Fuente: (Unidad mineral el Toro)

Tabla 21. Producción de mineral en mina

PRODUCCION MINA	Unidad	2022
Mineral	TM	7,628,578
Desmonte	TM	27,830,410
Strip Ratio	-	3.65
Total, Roca	TM	35,458,987
Ley	Au_gr/Tn	0.41
Onzas en PAD	Oz	102,392
Remanejo	Tn	7,632,411

Fuente: (Unidad mineral el Toro)

Tabla 22. Producción en Planta

PRODUCCION PLANTA	Unidad	2022
Oz Au_Primera Lixiviación	Oz	70,263.95
Oz Au_Segunda Lixiviación	Oz	12,442.10
Total, Oz_Au Vendidas	Oz	82,706
Oz Ag Vendidas	Oz	68,608

Fuente: (Unidad mineral el Toro,2022)

3.9. TIEMPO DE LIXIVIACIÓN

El tiempo de lixiviación comprende el tiempo que está disponible el material para regadío de solución lixivante o cianurada hasta la obtención del mayor porcentaje de contenido metálico.

La Tabla 23 indica la fecha de inicio y fin del riego con la solución lixivante, el ratio de solución, las toneladas de mineral por cada celda, las onzas de oro puestas en cada celda y el porcentaje de extracción que se obtiene en la poza pregnant.

En la tabla 23 existe una notable variabilidad en el porcentaje de extracción de oro entre las celdas. Esto sugiere que hay factores más allá de los días de riego y la relación de agua/mineral que influyen en la eficiencia, por lo que no es de mucha consideración estos factores.

Días de Riego vs. % Ext Au_Ejec: La magnitud es de 0.06, lo que indica una magnitud muy débil y casi insignificante. Esto sugiere que, según estos datos, la duración del riego no tiene un impacto lineal fuerte en el porcentaje de extracción de oro. Es decir, más días de riego no necesariamente se traducen en una mayor o menor eficiencia de extracción.

Al examinar la relación entre la cantidad de mineral procesado (TM_Mineral) y el porcentaje de oro extraído (% Ext Au_Ejec), se observa un coeficiente de correlación de -0.15. Este valor indica una correlación débil y negativa.

En estadística, los valores cercanos a cero indican que hay una relación muy tenue o casi inexistente entre las dos variables. No existe una tendencia fuerte que vincule directamente el aumento o la disminución de una con la otra.

El volumen de mineral procesado por sí solo no es un factor principal que influya de manera decisiva en la eficiencia de la extracción de oro en este proyecto. Si bien podría haber una ligera disminución, no es lo suficientemente robusta como para establecer una causalidad fuerte.

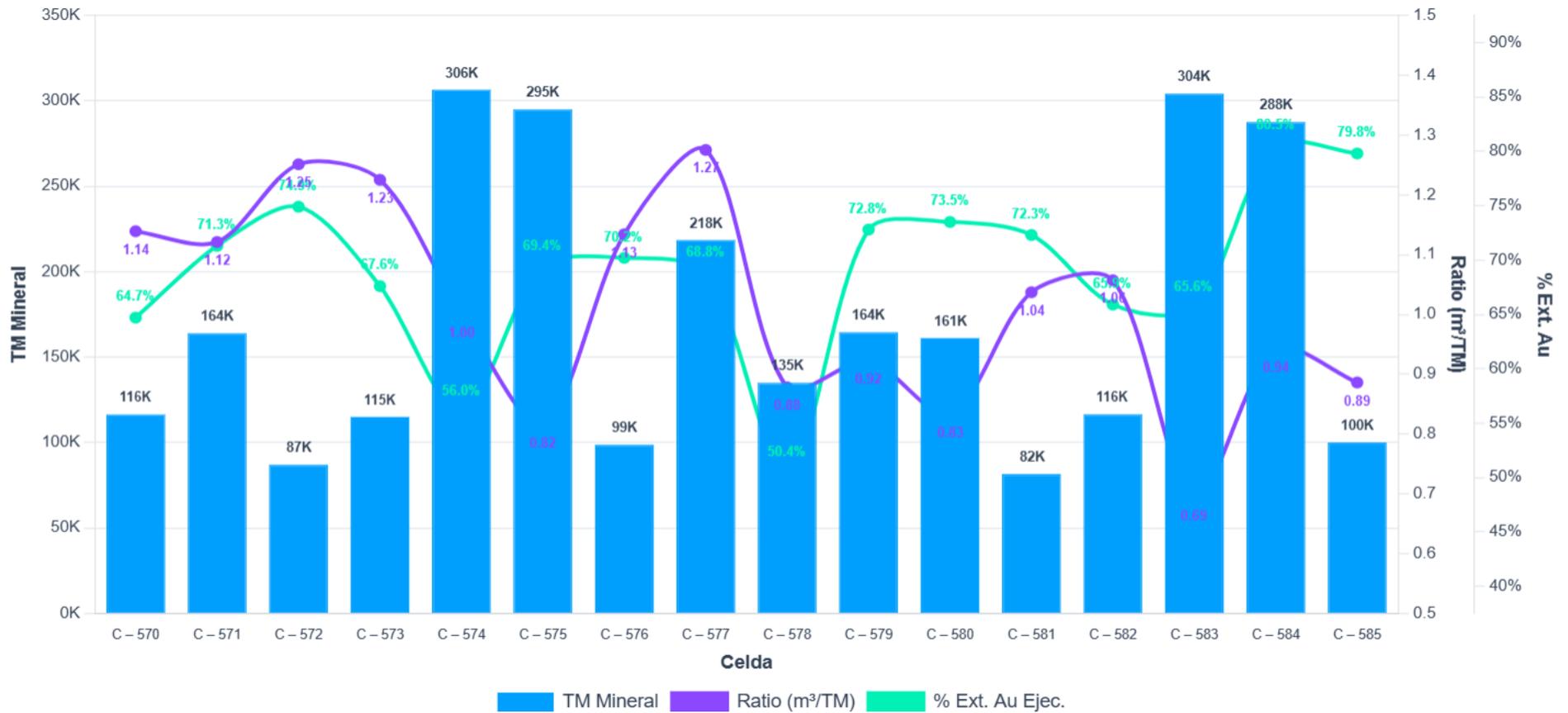


Figura 21. Análisis de Volumen, Ratio de Riego y Porcentaje de Extracción de Oro

Este gráfico visualiza el rendimiento de cada celda de lixiviación, mostrando las toneladas de mineral procesadas, el ratio de consumo de agua por tonelada (m³/TM) y el porcentaje de oro extraído, lo que permite identificar posibles correlaciones y eficiencias operativas.

Tabla 23. Tiempo de lixiviación en Celdas de Pad Dinámico.

CELDA	INICIO DE RIEGO	FIN DE RIEGO	DIAS DE RIEGO	RATIO (m ³ /TM)	TM_Mineral	Oz Au_Puestas	% Ext Au_Ejec
C – 570	18-feb	14-abr	55	1,139	116354,0	1327,1	64,7%
C – 571	25-feb	04-may	68	1,121	163902,4	1794,6	71,3%
C – 572	02-mar	08-may	67	1,251	86926,2	1434,8	74,9%
C – 573	07-mar	10-may	64	1,225	114919,4	1983,9	67,6%
C – 574	13-mar	20-may	68	1,000	306427,2	4472,1	56,0%
C – 575	28-mar	04-jun	68	0,816	294989,0	4289,5	69,4%
C – 576	12-abr	08-jun	57	1,134	98649,8	1516,9	70,2%
C – 577	15-abr	18-jun	64	1,275	218417,0	2806,3	68,8%
C – 578	29-abr	22-jun	54	0,878	134863,8	1649,6	50,4%
C – 579	06-may	30-jun	55	0,922	164457,8	1921,8	72,8%
C – 580	12-may	05-jul	54	0,832	161147,2	1712,8	73,5%
C – 581	16-may	08-jul	53	1,037	81506,0	970,7	72,3%
C – 582	21-may	14-jul	54	1,057	116469,0	1049,1	65,9%
C – 583	26-may	23-jul	58	0,693	304214,2	2922,6	65,6%
C – 584	05-jun	09-ago	65	0,942	287537,1	2911,0	80,5%
C – 585	16-jun	10-ago	55	0,886	100029,8	1117,5	79,8%

Fuente:(Unidad Minera el toro,2022)

3.10. RECUPERACIÓN MINERALÓGICA

3.10.8. leyes – Pad Dinámico en los circuitos

Las leyes son los valores del contenido de mineral de oro que pasan por los tres circuitos y se almacenan en la poza pregnant. Los valores que se muestran en la Tabla 21 corresponden a las leyes que llegan al pad de lixiviación desde los bancos de voladura en el tajo.

Tabla 24.Leyes de compuesto.

LEYES DE COMPOSITO																		
CIRCUITO 1					CIRCUITO 2						CIRCUITO 3							
C1	C2	C3	C4	C5	B1	C6	C7	C8	C9	C10	B2	C11	C12	C13	C14	C15	B3	
0.20	0.26	0.35	0.32	0.29	0.14	0.22	0.32	0.33	0.30	0.26	0.16	0.26	0.29	0.33	0.30	0.26	0.17	
0.29	0.30	0.25	0.26	0.31	0.15	0.31	0.32	0.26	0.28	0.27	0.14	0.32	0.29	0.26	0.29	0.29	0.17	
0.25	0.21	0.26	0.24	0.25	0.10	0.23	0.18	0.24	0.27	0.27	0.12	0.21	0.23	0.23	0.27	0.26	0.12	
0.27	0.27	0.28	0.21	0.18	0.14	0.25	0.25	0.26	0.22	0.22	0.13	0.25	0.29	0.26	0.23	0.21	0.12	
0.30	0.27	0.22	0.29	0.30	0.16	0.27	0.25	0.25	0.28	0.32	0.15	0.26	0.26	0.24	0.29	0.29	0.11	
0.25	0.29	0.30	0.34	0.30	0.14	0.28	0.28	0.33	0.33	0.28	0.17	0.30	0.36	0.27	0.22	0.24	0.13	
Promedio	0.262	0.268	0.276	0.276	0.271	0.138	0.262	0.268	0.278	0.278	0.270	0.145	0.266	0.287	0.266	0.268	0.260	0.138

Fuente:(Unidad Minera el toro,2022)

Tabla 25.Leyes de descarga en pozas de recepción.

LEYES DE DESCARGA																	
CIRCUITO 1					CIRCUITO 2					CIRCUITO 3							
C1	C2	C3	C4	C5	B1	C6	C7	C8	C9	C10	B2	C11	C12	C13	C14	C15	B3
0.240	0.194	0.249	0.330	0.288	0.134	0.237	0.193	0.258	0.328	0.287	0.130	0.209	0.273	0.309	0.278	0.250	0.151
0.275	0.284	0.276	0.237	0.269	0.138	0.259	0.313	0.285	0.240	0.248	0.131	0.282	0.316	0.282	0.253	0.278	0.142
0.289	0.248	0.217	0.231	0.247	0.091	0.278	0.249	0.189	0.255	0.303	0.124	0.244	0.202	0.272	0.244	0.295	0.133
0.194	0.246	0.289	0.249	0.212	0.139	0.240	0.290	0.249	0.212	0.174	0.123	0.305	0.275	0.239	0.208	0.172	0.117
0.297	0.264	0.207	0.250	0.261	0.136	0.261	0.234	0.201	0.230	0.302	0.127	0.241	0.213	0.207	0.252	0.284	0.093
0.230	0.177	0.380	0.344	0.284	0.160	0.283	0.300	0.299	0.292	0.290	0.162	0.286	0.390	0.288	0.231	0.194	0.119

Fuente:(*Unidad Minera el toro,2022*)

Tabla 26.Leyes de entrada y salida de cada circuito según el volumen de ingreso y salida

VOLUMEN		C1		C2		C3		C4		C5		
		IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	
8,134.66	5,810.47	0.24	0.21	0.29	0.24	0.32	0.29	0.29	0.26	0.26	0.21	
8,194.88	5,121.79	0.31	0.27	0.3	0.27	0.27	0.23	0.28	0.23	0.29	0.23	
8,269.52	5,906.79	0.22	0.19	0.22	0.18	0.24	0.2	0.28	0.24	0.27	0.22	
8,111.06	6,759.22	0.27	0.24	0.27	0.24	0.24	0.21	0.21	0.16	0.22	0.18	
8,083.38	4,752.83	0.24	0.21	0.25	0.18	0.23	0.2	0.28	0.22	0.28	0.24	
8,121.20	5,800.86	0.3	0.26	0.37	0.28	0.28	0.22	0.22	0.19	0.22	0.18	
8,099.70	5,785.50	0.23	0.18	0.29	0.25	0.31	0.27	0.31	0.27	0.27	0.23	
8,214.38	4,563.56	0.29	0.24	0.32	0.27	0.27	0.23	0.26	0.21	0.26	0.21	
8,348.80	6,261.59	0.25	0.21	0.21	0.17	0.22	0.18	0.25	0.21	0.28	0.25	
8,226.52	5,876.09	0.25	0.21	0.26	0.23	0.26	0.22	0.22	0.18	0.21	0.17	
8,112.46	5,070.28	0.28	0.26	0.26	0.22	0.25	0.19	0.26	0.22	0.3	0.26	
8,182.78	4,545.99	0.27	0.24	0.28	0.24	0.32	0.27	0.32	0.27	0.29	0.24	
7,694.64	5,496.17	0.21	0.18	0.24	0.2	0.32	0.29	0.32	0.29	0.29	0.21	
7,580.22	4,211.23	0.28	0.24	0.29	0.24	0.26	0.22	0.25	0.21	0.29	0.23	
7,664.26	4,790.18	0.27	0.22	0.22	0.18	0.24	0.17	0.23	0.19	0.27	0.24	
7,493.86	5,352.77	0.26	0.23	0.27	0.25	0.27	0.21	0.21	0.18	0.18	0.16	
7,546.18	4,716.38	0.28	0.25	0.25	0.19	0.22	0.18	0.27	0.23	0.28	0.25	
7,723.02	6,619.73	0.27	0.22	0.29	0.25	0.31	0.25	0.33	0.28	0.28	0.24	
Promedio	7,988.97	5,413.41	0.26	0.23	0.27	0.23	0.27	0.22	0.27	0.22	0.26	0.22

Fuente :(Unida minera el Toro)

La Tabla 25 muestra las leyes de entrada y salida en el pad dinámico correspondiente al Circuito 1, Circuito 2, Circuito 3 que llegan a la poza de recepción.

3.10.9. Flujos Volumétricos y Leyes – Pad Dinámico

Los flujos volumétricos representan la recepción de solución rica en la poza pregnant desde los pad estáticos de lixiviación. Los valores volumétricos se han registrado en la Tabla 26. Las leyes son los valores del contenido de mineral de oro que se recogen de la poza pregnant y pasan por las plantas de tratamiento para luego salir como barren que es una solución con contenido mínimo de oro, la cual se hace recircular nuevamente al pad para su segunda lixiviación.

Tabla 27. Solución pregnant, barren y eficiencia de recuperación.

Flujo PadD1	Flujo PadD2	Onzas Adsorbidas	Onzas Adsorbidas	Pregnant	Barren	Pregnant	Barren
(m ³ /h)	(m ³ /h)	Planta 1	Planta 2	ADR 1	ADR 1	ADR2	ADR 2
1,053,438	224,480	223,746	38,444	0.31	0.02	0.20	0.02
999,600	238,000	214,947	34,736	0.30	0.01	0.21	0.02
967,716	227,267	211,189	37,988	0.29	0.01	0.20	0.02
965,200	236,200	200,697	33,758	0.28	0.01	0.18	0.02
985,793	272,896	251,254	33,547	0.35	0.01	0.17	0.01
981,871	256,876	203,464	37,240	0.28	0.01	0.18	0.01

Fuente:(Unidad Minera el Toro,2022)

Tabla 28. Toneladas de Mineral, Desmonte y Ley de Oro Promedio por Fase

Fase	Mineral total (Ton)	Desmonte total (Ton)	Ley Au Promedio Ponderada (g/ton)
Fase1	2.338.754	671.53	0.6617
Fase2	2.585.278	1.045.844	0.5723
Fase3	5.510.589	2.694.871	0.5027
Fase4	6.606.873	6.682.941	0.4492
Fase5	6.983.275	9.869.925	0.3808

Fuente: (Unidad mineral el Toro)

3.10.10. Costos de producción para Mina y Procesos

Tabla 29. Fases y costos y flujos de caja.

Periodo	Inversión Inicial (CAPEX) (US\$)	Ingresos por Venta de Oro (US\$)	Costos de Minado (US\$)	Costos de procesamiento (US\$)	G&A (US\$)	Flujo de Caja Neto Operativo (US\$)	Flujo de Caja Neto Total (US\$)
0	-89.000.000	0	0	0	0	-89,000,000	-89.000.000
Fase1	0	79,985,849.56	18.627.762,04	16.371.278	5.249.856,01	39,736,953.51	43.517.372,80
Fase2	0	76,647,380.06	20.809.848,08	18.096.946	5.836.019,11	31,904,566.87	35.540.482,46
Fase3	0	143,150,776.00	44.668.609,54	38.574.123	12.486.409,88	47,421,633.58	54.150.388,66
Fase4	0	153,622,946.00	55.967.902,38	46.248.111	15.332.402,01	36,074,530.61	43.353.460,94
Fase5	0	137,262,490.00	61.113.401,50	48.882.925	16.499.448,98	10,766,714.52	17.349.618,60

Fuente: (Unidad Minera el Toro, 2022)

Tabla 30. Costos de producción fijos y variables

COSTO DE PRODUCCION	Unidad	2022
MINA	US\$	40,303,162
Acarreo	US\$	17,818,872
Carguío	US\$	5,049,049
Equipos Auxiliares	US\$	3,464,127
Gestión Mina	US\$	2,155,446
Perforación	US\$	1,893,831
Mantenimiento Mina	US\$	692,629
Voladura	US\$	9,229,209
PROCESOS	US\$	19,089,451
Adsorción, desorción, electrodeposición	US\$	2,676,134
Mantenimiento Procesos	US\$	956,971
Fundición	US\$	115,032
Laboratorio Metalúrgico	US\$	110,628
Laboratorio Químico	US\$	473,909
Lixiviación Remanejo	US\$	10,970,566
Reactivación	US\$	236,007
Gestión de Plantas	US\$	1,782,820
Tratamiento de Aguas	US\$	1,767,385

Fuente: (Unidad mineral el Toro, 2022)

3.10.11. Ingresos obtenidos por venta de Oro (Au), Plata (Ag)

Tabla 31. Ingresos por Venta de Oro y Ag

Descripción	Unidades	2022
Onzas Au Vendidas	Oz_Au	82,706.05
Onzas Ag Vendidas	Oz_Ag	68,637.87
Precio Oz-Au	US\$/oz	1,805.60
Precio Oz-Ag	US\$/oz	21.47
Valor Venta Au	US\$'000	149,333.64
Valor Venta Ag	US\$'000	1,473.50
Valor Venta Total	US\$'000	150,807.15

Fuente: (Unidad mineral el Toro)

3.10.12. Determinación de los indicadores de rentabilidad

3.10.12.3. Valor Actual Neto (VAN)

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n FC / (1 + i)^t$$

- I_0 = Inversión inicial (Flujo de Caja en Período 0)
- FC_t = Flujo de Caja Neto en el período t

- $i =$ Tasa de descuento (10% o 0.10)
- $t =$ Período

Fase 0: $-89,000,000 / (1+0.10)^0 = -89,000,000.00$

Fase 1: $39,736,953.51 / (1+0.10)^1 = 36,124,503.19$

Fase 2: $31,904,566.87 / (1+0.10)^2 = 26,367,410.64$

Fase 3: $47,421,633.58 / (1+0.10)^3 = 35,627,800.00$

Fase 4: $36,074,530.61 / (1+0.10)^4 = 24,630,000.00$

Fase 5: $10,766,714.52 / (1+0.10)^5 = 6,685,900.00$

Suma de los valores de cada fases para tener un VAN total:

$VAN = -89,000,000.00 + 36,124,503.19 + 26,367,410.64 + 35,627,800.00 + 24,630,000.00 + 6,685,900.00$

VAN = US\$ 40,435,613.83

3.10.12.4. Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR es la tasa de descuento que hace que el Valor Actual Neto (VAN) de los flujos de caja del proyecto sea igual a cero

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{Cft}{(1 + TIR)^t}$$

Donde Cft , es el flujo de caja en el período t , y TIR es la tasa interna de rendimiento

Tabla 32. Flujos de caja para cada fase de en el periodo 2022

Fases	Inver. Inicio (I ₀) = -89,000,000
Fase 1	39,736,953.51
Fase 2	31,904,566.87
Fase 3	31,904,566.87
Fase 4	36,074,530.61
Fase 5	10,766,714.52
TIR	25.43%

Al aplicar una función TIR con estos flujos de caja, obtenemos: TIR = 25.43%

3.10.12.5. Relación Beneficio/Costo (ACB)

$$ACB = \frac{\text{Valor Presente de Costos}}{\text{Valor Presente de Beneficios}}$$

Valor Presente de Beneficios (VPB): Es el valor actual de todos los ingresos generados por el proyecto, descontados al 10%.

$$VPB = 79,985,849.56 / (1+0.10)^1 + 76,647,380.06 / (1+0.10)^2 + 143,150,776.00 / (1+0.10)^3 + 153,622,946.00 / (1+0.10)^4 + 137,262,490.00 / (1+0.10)^5$$

$$VPB = 72,714,408.70 + 63,344,942.11 + 107,549,000.00 + 104,960,000.00 + 85,290,000.00$$

$$VPB = \text{US\$ } 433,858,350.81$$

Valor Presente de Costos (VPC): Es el valor actual de la inversión inicial y todos los costos operativos. La inversión inicial es US\$ 89,000,000. Los costos operativos son los mismos que en el cálculo original, por lo que su valor presente también es el mismo.

$$\text{Valor Presente de Costos Operativos (VPCO)} = \text{US\$ } 304,290,305.50$$

$$VPC = \text{US\$ } 89,000,000 \text{ (Inversión Inicial)} + \text{US\$ } 304,290,305.50 \text{ (VPCO)} = \text{US\$ } 393,290,305.50$$

Ahora, calculamos el ACB: $ACB = (393,290,305.50) / (433,858,350.81)$

Análisis costo Beneficio (ACB) = 1.10

Tabla 33. Indicadores de rentabilidad económica

Indicador	Valor Calculado (Precio Oro: US\$ 1,831.39/oz)	Criterio de Aceptación	Conclusión
VAN	US\$ 40,435,613.83	VAN > 0	Viable
TIR	25.43%	TIR > 10%	Viable
ACB	1.1	ACB > 1	Viable

3.10.12.6. Punto de equilibrio (PE)

$$\text{Costos fijos totales (CFT)} = \text{US\$ } 14,908,832$$

$$\text{Costos variables totales (CVT)} = \text{US\$ } 46,683,534$$

Determinación del Volumen de Producción Anual Representativo

Tabla 34. Onzas producidas por cada fase operativa

Fases	Onzas
Fase 1	43,680.14
Fase 2	41,861.94
Fase 3	78,162.77
Fase 4	83,908.41
Fase 5	75,010.59
Total	322,623.85

Producción Promedio Anual de Oro:

322,623.85 onzas/5 Fases=64,524.77 Onzas/año

Precio de Venta Unitario (PVU) = 1,831.39 \$/Onz

Dividimos los Costos Variables Totales Anuales por la Producción Promedio Anual de Oro.

Fórmula para CVU:

$$CVU = \frac{\text{Producción Promedio Anual de Oro}}{\text{Costos Variables Totales anual}}$$

CVU= (64,524.77 onzas/años) /(\$ 46,683,534)

$$CVU = \frac{46,683.34\$}{264,524.77 \text{ onz/año}}$$

CVU= 723.50 \$/Onz

Cálculo del Punto de Equilibrio en Unidades (Onzas de Oro)

$$PE(\text{unidades}) = \frac{\text{costo fijo Total}(CFT)}{\text{precio de venta Unitario}(PVU) - \text{costo variable unitario}(CVU)}$$

$$PE(\text{unidades}) = \frac{\$14,908.832}{1,831.39 \frac{\$}{onz} - 723.5 \$/onz}$$

PE (unidades)=13,457.89 Onz/año

Cálculo del Punto de Equilibrio en Valor Monetario (Ingresos por Ventas)

$$PE(\text{ventas}) = PE(\text{unidades}) \times \text{Precio de Venta Unitario (PVU)}$$

Punto de Equilibrio (ventas) = 13,457.89 onzas/año × 1,831.39 US\$ /oz

Punto de Equilibrio (ventas) = US\$ 24,647,000.00 por año (aproximadamente)

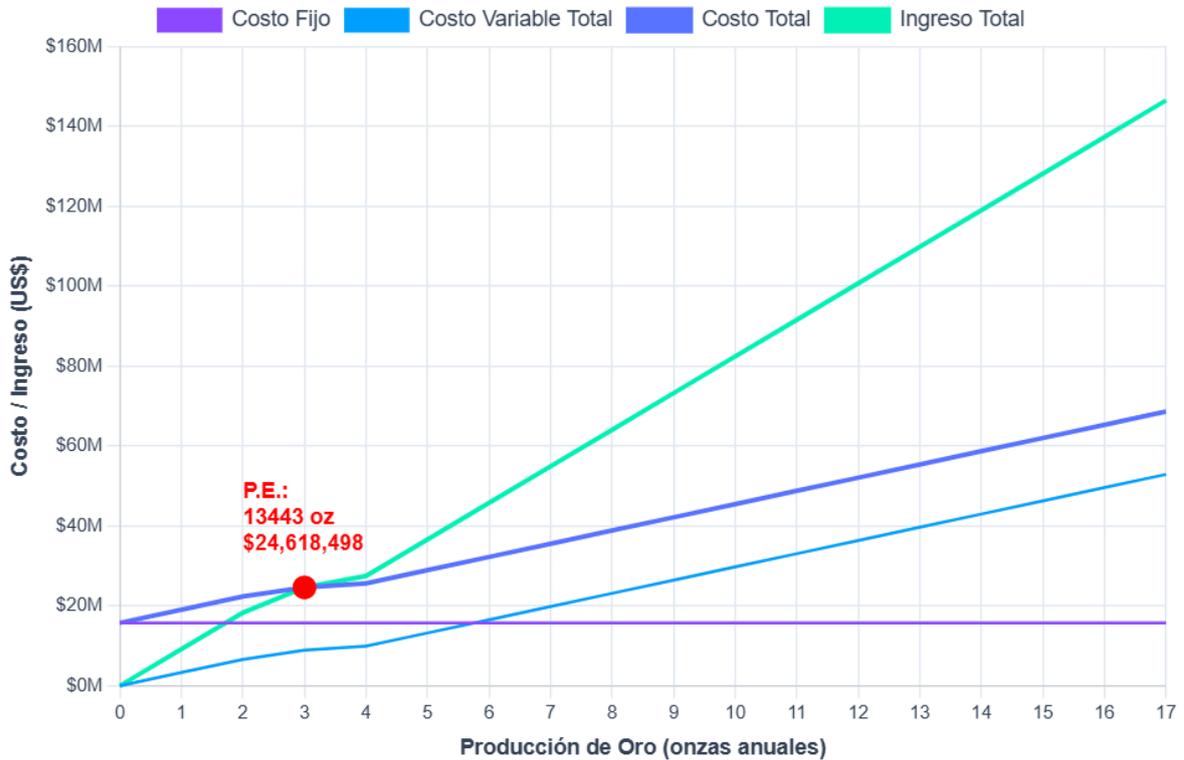


figura 22. Este gráfico muestra los costos e ingresos vs el volumen de producción de oro (onzas).

Este gráfico muestra los costos e ingresos anuales proyectados en función del volumen de producción de oro (onzas). El punto donde el Ingreso Total cruza el Costo Total es el Punto de Equilibrio. Para la mina, el punto de equilibrio se alcanza a las 13,443 onzas de oro anuales, lo que equivale a unos US\$ 24,628,000 en ingresos anuales.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

➤ Comparación de la Recuperación Metalúrgica (Pads Dinámicos vs. Estáticos)

Los resultados están basados en los porcentajes de recuperación de oro que se han registrado tanto de los circuitos provenientes de los pad estáticos como dinámicos. La Tabla 35 muestra la recuperación que se obtiene del pad estático mediante las dos variables que es la solución *pregnant*, ley que ingresa a las plantas de adsorción, y la solución *barren*, ley que sale de las plantas de adsorción.

Tabla 35. Recuperación de oro proveniente del pad estático.

	Pregnant	Barren	Recuperación
	0.3068	0.1366	55.46%
	0.3628	0.1456	59.92%
	0.2768	0.0968	65.62%
	0.2478	0.1024	58.69%
	0.2926	0.1170	59.97%
	0.3863	0.1478	61.77%
Promedio	0.3122	0.1244	60.24%

Tabla 33.

Tabla 36. Valores máximos y mínimos de la recuperación del oro pad estático.

Valor	Pregnant	Barren	Recuperación
Máximo	0,409	0,168	72,34%
Mínimo	0,206	0,059	52,18%
Promedio	0,315	0,125	60,29%

Se puede destacar el promedio de recuperación de oro en pads estáticos (60.29%), así como los valores máximos (72.34%) y mínimos (52.18%) de la solución *pregnant* y *barren*. Estos valores reflejan la eficiencia de extracción

➤ Recuperación de Oro en Pads Dinámicos:

Tabla 37. Recuperación de oro proveniente del pad dinámico.

	Pregnant	Barren	Pregnant	Barren	Recuperación	Recuperación
	ADR 1	ADR 1	ADR2	ADR 2	Planta 1 (%)	Planta 2(%)
	0.31	0.02	0.20	0.02	94.52	90.61
	0.30	0.01	0.21	0.02	95.17	89.06
	0.29	0.01	0.20	0.02	95.20	92.53
	0.28	0.01	0.18	0.02	94.80	91.73
	0.35	0.01	0.17	0.01	95.88	92.33
	0.29	0.01	0.18	0.01	95.11	92.79
Promedio	0.30	0.01	0.19	0.02	95.11	91.51

Tabla 38. Valores máximos y mínimos de la recuperación del oro.

Valor	Pregnant	Barren	Pregnant	Barren	Recuperación	Recuperación
	ADR 1	ADR 1	ADR2	ADR 2	Planta 1	Planta 2
Máximo	0,354	0,018	0,209	0,028	96,18%	93,75%
Mínimo	0,246	0,013	0,161	0,013	93,85%	86,60%
Promedio	0,303	0,015	0,190	0,016	95,11%	91,55%

Se puede destacar el promedio de recuperación de oro en pads dinámicos (95.11% para Planta 1 y 91.55% para Planta 2)

Se tiene que ley de mineral promedio en el mineral procesado (0.36 g/t de Au) y la recuperación de 0.25 g/t Au, lo que representa un 68% de recuperación total

Análisis del Tiempo de Lixiviación

En los pads dinámicos es considerablemente más rápido" debido a la menor altura de material, lo que permite una mayor rotación del material y una producción más ágil, con referencia se puede ver la tabla 20. Tener en cuenta que la ventaja es el ciclo de procesamiento general, no necesariamente el tiempo de riego individual por celda ya que estos valores pueden variar por otros factores.

➤ Evaluación de Costos y Rentabilidad

Tabla 39. Ventas de Mineral en Au y Ag

	Ventas
Oro (Au)	US\$ 149,333.64
Plata (Ag)	US\$ 1,473.50
Total	US\$150,807.15

Vale resaltar cómo la mayor eficiencia de recuperación de oro (14% adicional) en los pads dinámicos impacta directamente en la mejora de obtención de beneficio económico .

➤ **Composición y Detalle de Costos Operativos (OPEX):**

Para entender la estructura de costos de la mina, en el gráfico de dona de la figura 12 ilustra la proporción de cada categoría de costo operativo sobre el total de egresos durante las cinco fases operativas de la mina. El "Costo de Minado" (extracción de mineral y desmonte) representa la mayor parte, seguido por el "Costo de Procesamiento" y los "Gastos Generales y Administrativos" (G&A).

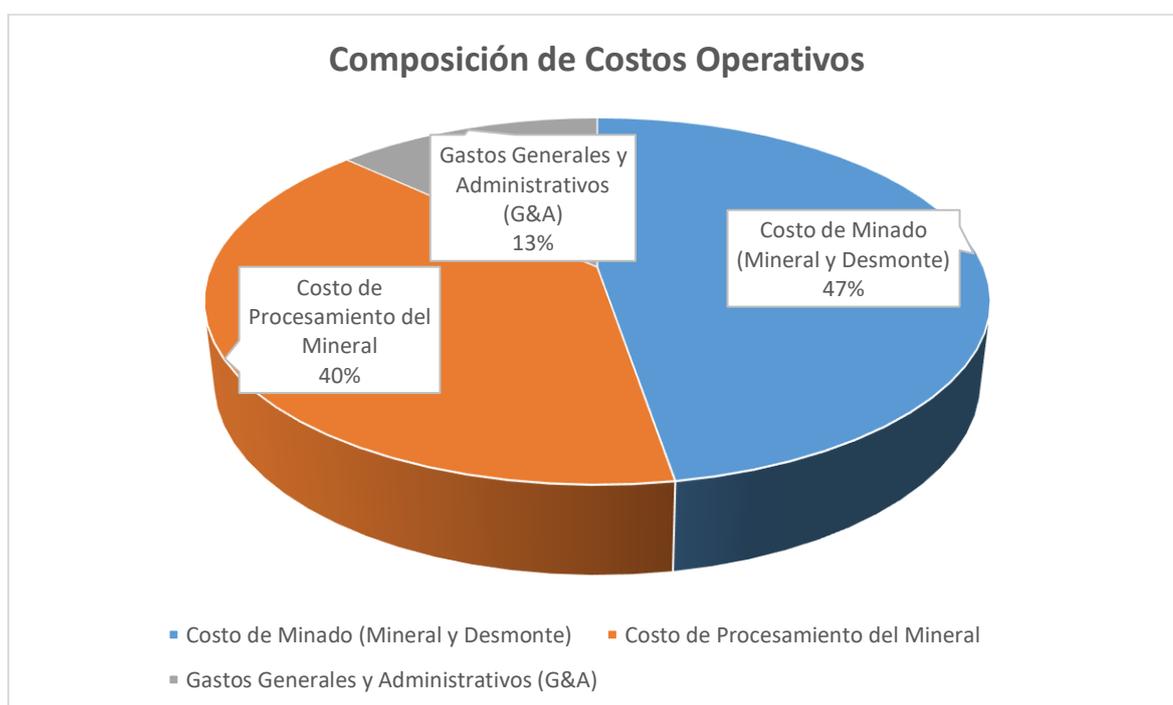


Figura 23. Proporción de costo operativo sobre el total de egresos en fases operativas

En la tabla 29, podemos destacar los costos de minado y de procesos, siendo dentro del último el costo de Remanejo que tiene un valor de \$10,970,566. Este es el costo adicional directo de los pads dinámicos, si bien los pads dinámicos conllevan costos adicionales por el Remanejo y transporte del material lixiviado, la mayor recuperación debe

compensar estos gastos. En la Tabla 35 podemos ver el análisis de costos unitarios de transporte y carguío, mostrando la eficiencia y el costo por tonelada.

Análisis de Rentabilidad Financiera (VAN, TIR, ACB):

Tabla 40. Resumen de los Indicadores de Rentabilidad Calculados (VAN, TIR, ACB)

Indicador	Valor Calculado (Precio Oro: US\$ 1,831.39/oz)	Criterio de Aceptación	Conclusión
VAN	US\$ 40,435,613.83	VAN > 0	Viable
TIR	25.43%	TIR > 10%	Viable
ACB	1.1	ACB > 1	Viable

En la tabla 39 el VAN positivo (US\$ 40,435,613.83) , indicando que el proyecto es financieramente viable y genera valor por encima de la rentabilidad mínima requerida, también resaltar que la TIR (25.43%) es significativamente mayor que la tasa de descuento (10%)" , lo que indica que la minas es altamente rentable y atractivo, además de ACB (1.1) , esto nos indica que por cada dólar invertido en costos, se generan aproximadamente US\$1.1 en beneficios actualizados, reforzando la viabilidad y eficiencia de la mina.

En la figura 22, podemos visualizar la rentabilidad operativa anual comparando los ingresos y costos por cada fase, esto refuerza en los valores de los análisis de indicadores financieros para el beneficio económico de la mina.

4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Tabla 41. Diferencias Clave entre Pads Estáticos y Dinámicos

Característica	Pad Estático	Pad Dinámico
Recuperación de Oro	72,34%	86,6% (14% más)
Tiempo de lixiviación	Más largo	Considerablemente más rápido (53-68 días por ciclo)
Beneficio Económico Neto (Indicadores de Rentabilidad)	Menor (inferido por menor recuperación)	Mayor (VAN > 0, TIR > 10%, ACB > 1)

Tabla 42. Recuperación de Oro en Pad Estático y Dinámico.

Pad	Recuperación
Estático	72,34%
Dinámico	86,60%

En las Tablas 40 y Tabla 41, se muestra que la mayor recuperación de oro y considerando el tiempo de lixiviación del Pad Dinámico es más rápido, entonces esto se refleja directamente en una mejora sustancial en el beneficio económico neto, evidenciado por un VAN positivo, una TIR elevada, un ratio ACB favorable y un PE muy por encima de la producción mínima requerida.

Estos resultados justifican plenamente la selección del Pad Dinámico como la tecnología preferente para la optimización de la rentabilidad y la sostenibilidad de la mina el Toro, asegurando que la inversión propuesta cumpla con los criterios de viabilidad económica y genere valor para los inversionistas.

4.4. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Los datos obtenidos de las plantas metalúrgicas permitieron tener una visión clara que los pads dinámicos permiten una mejor lixiviación de los minerales, además también tenemos que los indicadores de rentabilidad son favorables para dicho método; en tal sentido el beneficio económico será mucho mayor ya que el porcentaje de recuperación es mayor. La hipótesis inicial planteada fue que la determinación del beneficio económico en pads de lixiviación dinámicos viene relacionado al óptimo aprovechamiento de la ley como recuperación mineralógica, la cantidad de material económico que se descarga en los pads y

el tiempo al que está sometido dichas leyes en la pila de lixiviado. Mencionado todo lo anterior, se indica que la hipótesis ha sido contrastada y validada.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

La investigación concluye que los pads de lixiviación dinámica en la Unidad Minera El Toro son económicamente más rentables que los estáticos. Esto se demuestra por un Valor Actual Neto (VAN) de US\$ 40,435,613.83, una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 25,43%, y una relación Costo/Beneficio (ACB) de 1,1, con una ganancia neta de \$32,023,922. Estos resultados financieros destacan la viabilidad y el atractivo de los pads dinámicos.

Los pads de lixiviación dinámica demuestran una ventaja económica sostenida gracias a su diseño "on/off". Esto permite la reutilización de la misma área para múltiples ciclos de lixiviación, optimizando el uso del terreno. Aunque el tiempo de riego por celda no influye directamente en el porcentaje de extracción de oro, la lixiviación dinámica es más rápida en general que los métodos estáticos, lo que acelera la rotación del material y agiliza la producción.

Los pads dinámicos han demostrado una recuperación de oro significativamente mayor en comparación con los pads estáticos. Se alcanzó un promedio de recuperación del 86% en los pads dinámicos, superando el 72% de los pads estáticos, lo que representa un incremento del 14% en la recuperación mineralógica. Esta mayor recuperación de oro impacta directamente en la generación de ingresos.

El punto de equilibrio para la Unidad Minera El Toro, al implementar pads dinámicos, se encuentra en 13,457.89 onzas de oro anuales, lo que equivale a aproximadamente US\$ 24,647,000.00 en ingresos anuales. Este valor es significativamente inferior a la producción anual promedio esperada de 64,524.77 onzas., lo que refuerza la solidez financiera y la rentabilidad del proyecto.

6.2.RECOMENDACIONES

Para otros estudios posteriores se recomienda considerar las variables críticas del proceso de lixiviación dinámica, como el pH, el tamaño de partícula, la permeabilidad y la tasa de riego, para maximizar aún más la recuperación de metales y la eficiencia operativa.

Se recomienda a la empresa evaluar los indicadores de rentabilidad y los beneficios económicos ,frente a una automatización de los equipos de carguío y acarreo de la operación

Se recomienda a la empresa mantener un monitoreo constante del Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Análisis Costo-Beneficio (ACB) para asegurar que el proyecto se mantenga financieramente sólido frente a la volatilidad de los precios de los metales y las demandas de sostenibilidad en el mercado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Astudillo, SJ; Chávez, CE. 2019. Estabilización física en el área de expansión del Pad de Lixiviación-A en el distrito de Ucari, departamento de Apurímac. Tesis Lic. Lima, Perú, Universidad Ricardo Palma. 322 p.
- González de Vallejo, LI; Ferrer, M; Ortuño, L; Oteo, C. 2002. Ingeniería Geológica. Madrid, España. 744 p.
- Laura, ER. 2018. Optimización del sistema de riego en el pad de lixiviación de la unidad Cuajone – Southern Perú. Tesis Lic. Tacna, Perú, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. 104 p.
- Miranda, JA; Pérez, FJ. Evaluación técnica y económica de la propuesta de ampliación del pad de lixiviación para incrementar el tonelaje de mineral en una empresa minera en Cajamarca, 2020. Tesis Lic. Cajamarca Perú, Universidad Privada del Norte. 102 p.
- Monroy, L. 2019. Diseño de celdas dinámicas para la optimización de áreas de lixiviación en el tajo abierto El Toro de la Cía. Minera Los Andes Gold SAC. Tesis Lic. Huancayo, Perú, Universidad Nacional del Centro del Perú. 165 p.
- Valdivia, RJ. 2015. Implementación de Pad de lixiviación de mineral de baja ley Coripuno. Tesis Lic. Arequipa, Perú, Universidad Nacional de San Agustín. 67 p.
- Cabello, O E. 2021. Análisis real de dilución del mineral, mediante el proceso de reconciliación mensual a partir del modelo de bloques en vetas y cuerpos mineralizados. Tesis. Cusco, Perú, Universidad Nacional de San Antonio de Abad del Cusco.
- Quiñones S. DR. 2018. Estudio y caracterización de los procesos químicos superficiales durante la lixiviación de la plata de minerales por ESCA (XPS) y microscopía de polarización. Tesis, lima, Perú, Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Marcapura V -Chávez P.2017. “Influencia de nuevos procesos de lixiviación en la recuperación de Au en material fino. Tesis. Cajamarca, Perú, Universidad Privada del Norte.
- Martínez, R.A. 2020. Determinación de flota de equipos – documento de cátedra- Universidad Nacional de Catamarca. Argentina ,20 p.

D.A. Díaz, J.L. Alonso, E.E. Alonso .2022 Análisis de la estabilidad de taludes en pilas de lixiviación mediante el método de los elementos finitos.

Pedro A. González. Avances en la lixiviación de oro: una mirada hacia el futuro. 45-67 p

C.A. Díaz. 2022 "Optimización de la lixiviación de oro con cianuro utilizando un diseño experimental factorial".

Chris Gallant. 2025“Análisis Financiero y la certificación de Gestor de Riesgos Financieros (FRM)”

Nick Sundish. 2025 “Gestión financiera de una empresa”

Robert Kaestner .2025 “Cost-Benefit Analysis Spring”

Torres S. DM, 2024 Relación Entre El Rendimiento De Equipos De Carguío Y Su Producción Obtenida, Mediante Análisis De KPI’s En Una Mina Superficial Del Sur Del Perú-2022.

D.A. Díaz, J.L. Alonso, E.E. Alonso .2022 Análisis de la estabilidad de taludes en pilas de lixiviación mediante el método de los elementos finitos.

A. Muñoz, J.C. Santamarina, C. Oyarzún. 2023.Estabilidad de taludes en pilas de lixiviación: Un enfoque probabilístico

J.C. Santamarina, A. Muñoz, C. Oyarzún.2020, Implementación de un sistema de monitoreo de la estabilidad de taludes en pilas de lixiviación

Pedro A. González. Avances en la lixiviación de oro: una mirada hacia el futuro. 45-67 p

C.A. Díaz, 2022."Optimización de la lixiviación de oro con cianuro utilizando un diseño experimental factorial"

Eighth Edición, 2016. Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery,

Valenzuela, 2018. Pump Handbook. McGraw-Hill Education

CodelcoTech,2009. Lixiviación en pilas: Diseño, operación y control.

Méndez, 2023. "Modelado predictivo de la lixiviación en pila: Un enfoque para la optimización económica en minería de oro." Journal of Mining Engineering, (vol. 45, no. 2, pp. 112-125.)

Chen & Li, 2022. "Application of Real-time Monitoring Systems for Economic Optimization in Dynamic Heap Leaching." *International Journal of Mineral Processing*, (vol. 189, pp. 107-118.)

Mamani, 2023. "Análisis de la Influencia de Parámetros Operacionales en la Recuperación de Oro por Lixiviación en Pilas y su Impacto Económico." (Revista de Ingeniería de Minas del Perú, vol. 26, no. 1, pp. 45-58.)

L.Rojas,2025. Cómo diseñar y optimizar el proceso de lixiviación en pilas.

Kapusta, W. 2011. *Estimating Mine Operating Costs*. Society for Mining, Metallurgy & Exploration (SME).

Whittle Consulting. 2018, *Strategic Mine Planning and Optimisation*. Whittle Consulting.

Mining Journal,2022. *Driving Down Operating Costs in Gold Mining*

Schneider Electric,2021. *Energy Management in Mining*.

Caterpillar,2023. Maintenance and Repair Services for Mining.

Deloitte,2022. Tracking the trends 2022: The top 10 issues transforming the future of mining.

A. Muñoz, J.C. Santamarina, C. Oyarzún. 2023.Estabilidad de taludes en pilas de lixiviación:
Un enfoque probabilístico

J.C. Santamarina, A. Muñoz, C. Oyarzún.2020, Implementación de un sistema de monitoreo de la estabilidad de taludes en pilas de lixiviación

ANEXOS

Anexo 01. Figura 12: El siguiente gráfico de barras compara los ingresos generados por la venta de oro con los costos operativos totales

Anexo 02. Figura 14: Este gráfico de anillo, nos muestra el % que representa de los costos carguío y Transporte con las toneladas producidas

Anexo 03. Tabla 40: Tabla de costos unitarios y totales de equipos de carguío y transporte

Anexo 04. Figura 13: Muestra el gráfico de barras comparando el periodo, con las horas disponibles para ver el costo de operatividad.

Anexo 05. Plano de ubicación de la Unidad Minera el Toro.

Anexo 06. Plano Geológico de la Unida Minera el Toro.

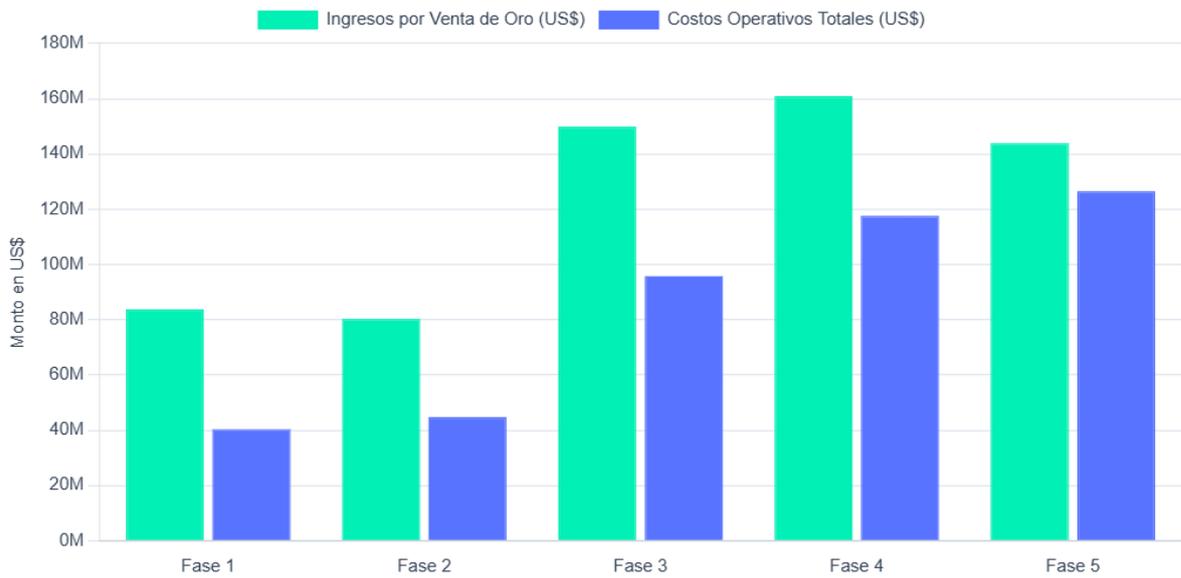


figura 24. Ingresos generados por la venta de oro vs costos operativos totales

Toneladas, C T transporte y C T Carguío

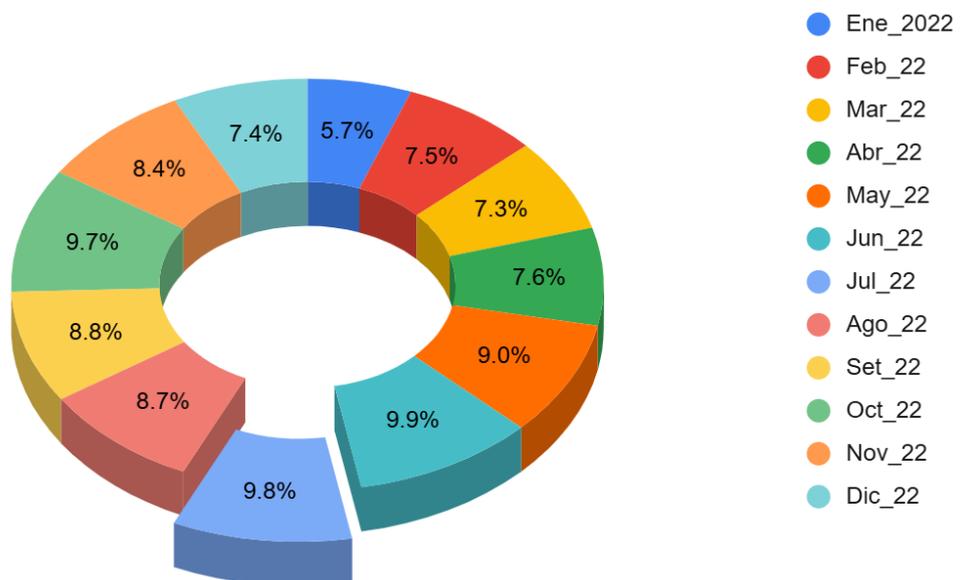


figura 25. Muestra el % que representa de los costos (Cc y Tt) con las toneladas producidas

Tabla 43. Tabla de costos unitarios y totales de equipos de carguío y transporte

Periodo	Origen	Destino	Toneladas	C.U Transporte	C.T transporte	Horas de camiones	Disponibilidad de la flota	Horas disponibles	C.U. Carguío	C.T Carguío
01_Ene_2022	DIN_07_SRC	P03F01_DST	466,770	0.372	\$173,458.33	3,854.63	75%	558.00	0.145	\$ 67,681.61
02_Feb_22	DIN_07_SRC	P03F01_DST	615,506	0.360	\$221,735.44	4,927.45	75%	522.00	0.145	\$ 89,248.41
03_Mar_22	DIN_07_SRC	P03F01_DST	600,396	0.312	\$187,498.35	4,166.63	75%	558.00	0.145	\$ 87,057.42
04_Abr_22	DIN_07_SRC	P03F01_DST	626,506	0.306	\$191,785.21	4,261.89	75%	540.00	0.145	\$ 90,843.42
05_May_22	DIN_07_SRC	P03F01_DST	736,879	0.306	\$225,572.29	5,012.72	75%	558.00	0.145	\$106,847.44
06_Jun_22	DIN_07_SRC	P03F01_DST	811,918	0.292	\$236,848.17	5,263.29	75%	540.00	0.145	\$117,728.16
07_Jul_22	DIN_07_SRC	P03F01_DST	803,661	0.292	\$234,439.32	5,209.76	75%	558.00	0.145	\$116,530.81
08_Ago_22	DIN_07_SRC	P03F01_DST	715,349	0.292	\$208,677.38	4,637.28	75%	558.00	0.145	\$103,725.54
09_Set_22	DIN_07_SRC	P03F01_DST	723,166	0.397	\$287,361.59	6,385.81	75%	540.00	0.145	\$104,859.06
10_Oct_22	DIN_07_SRC	P03F01_DST	797,827	0.356	\$284,311.05	6,318.02	75%	558.00	0.145	\$115,684.92
11_Nov_22	DIN_07_SRC	P03F01_DST	689,641	0.308	\$212,597.93	4,724.40	75%	540.00	0.145	\$ 99,997.90
12_Dic_22	DIN_07_SRC	P03F01_DST	606,071	0.296	\$179,584.32	3,990.76	75%	558.00	0.145	\$ 87,880.35
PROMEDIO			682,807	0.324	\$220,322.45	4,896.054	75%	549.00	0.145	\$ 99,007.09

Fuente :(Unidad minera el toro,2022)

C T transporte y Horas de camiones

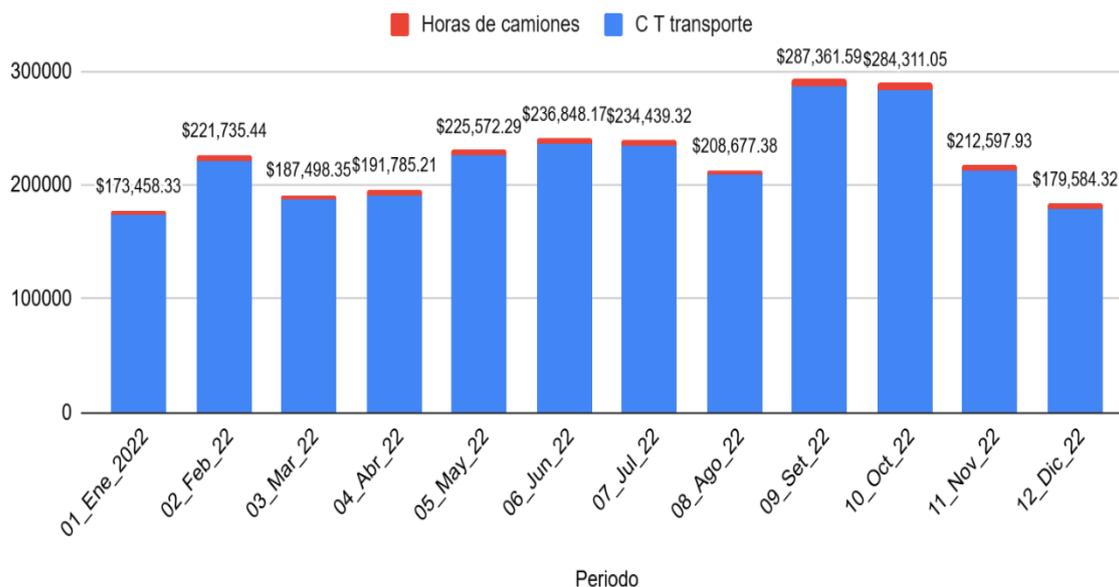


Figura 26. Periodo vs las horas disponibles para ver el costo de operatividad.

Tabla 44. Comparacion de los costos totales vs la producción total con la ganancia neta T

Costos Totales		Producción total	
Costos de Mina	\$80,604,325	Oro:	82,706 Onz
Costos de Procesamiento:	\$38,178,903	Plata:	68,638 Onz
Costo Total de Producción:	\$118,783,228	Ingresos totales	\$150,807,150
Ganancia Neta T		\$32,023,922	

CONDICIONES DE PERCOLABILIDAD		
QSO	Arenisca Cuarzosa	Muy Buena
HBO	Brecha Hidrotermal	Buena
CBO	Brecha de Contacto	Regular
ADO	Andesita Oxidada	Mala
ADM	Andesita Mixta	Mala
ADS	Andesita Sulfurada	Mala

Figura 27: Cindiciones de cálda de percolación según clasificación geológica.

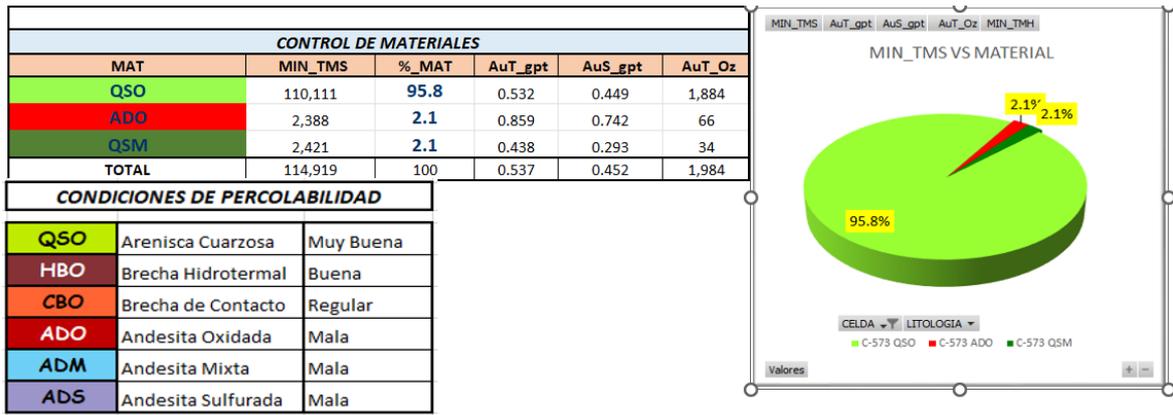
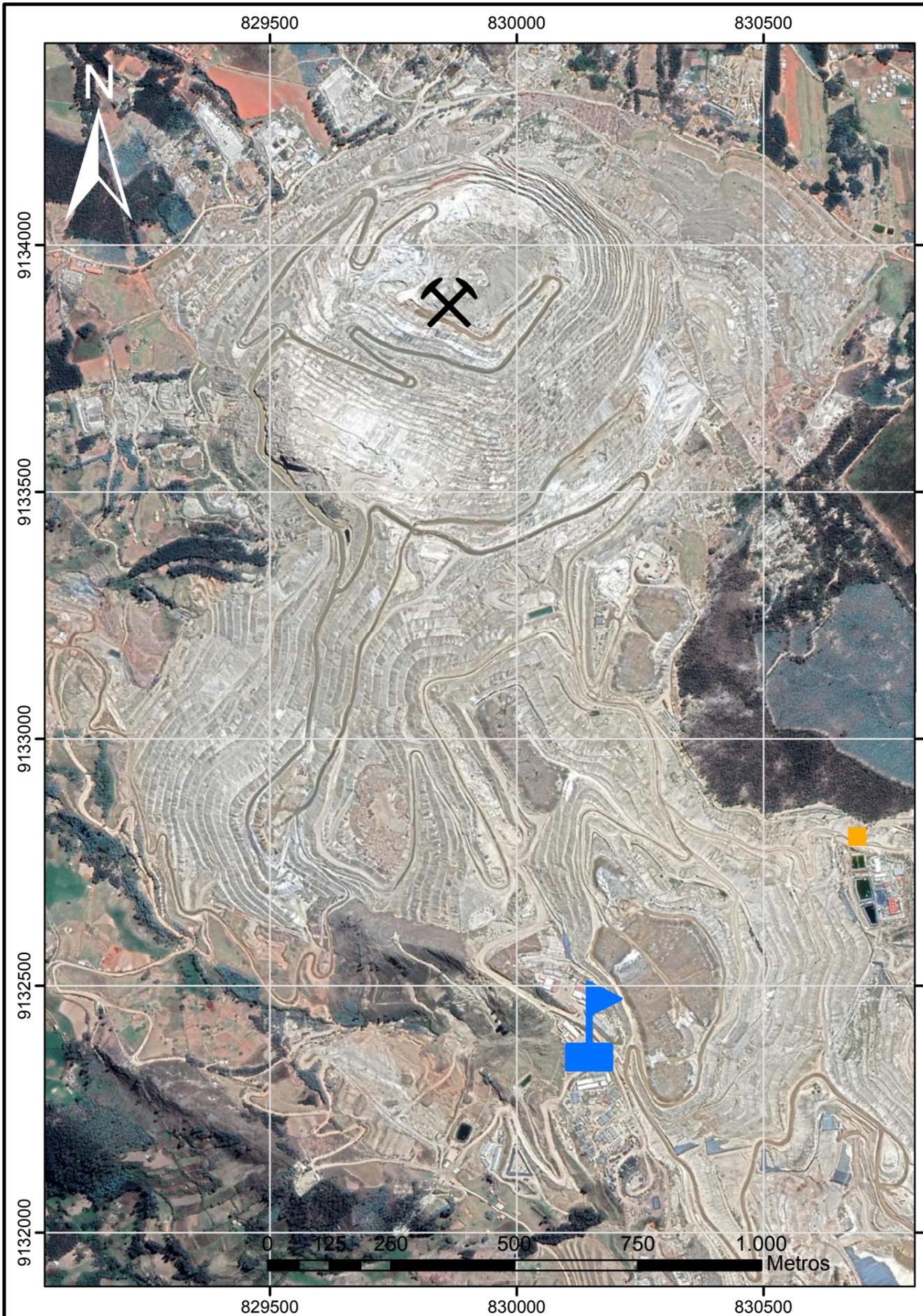


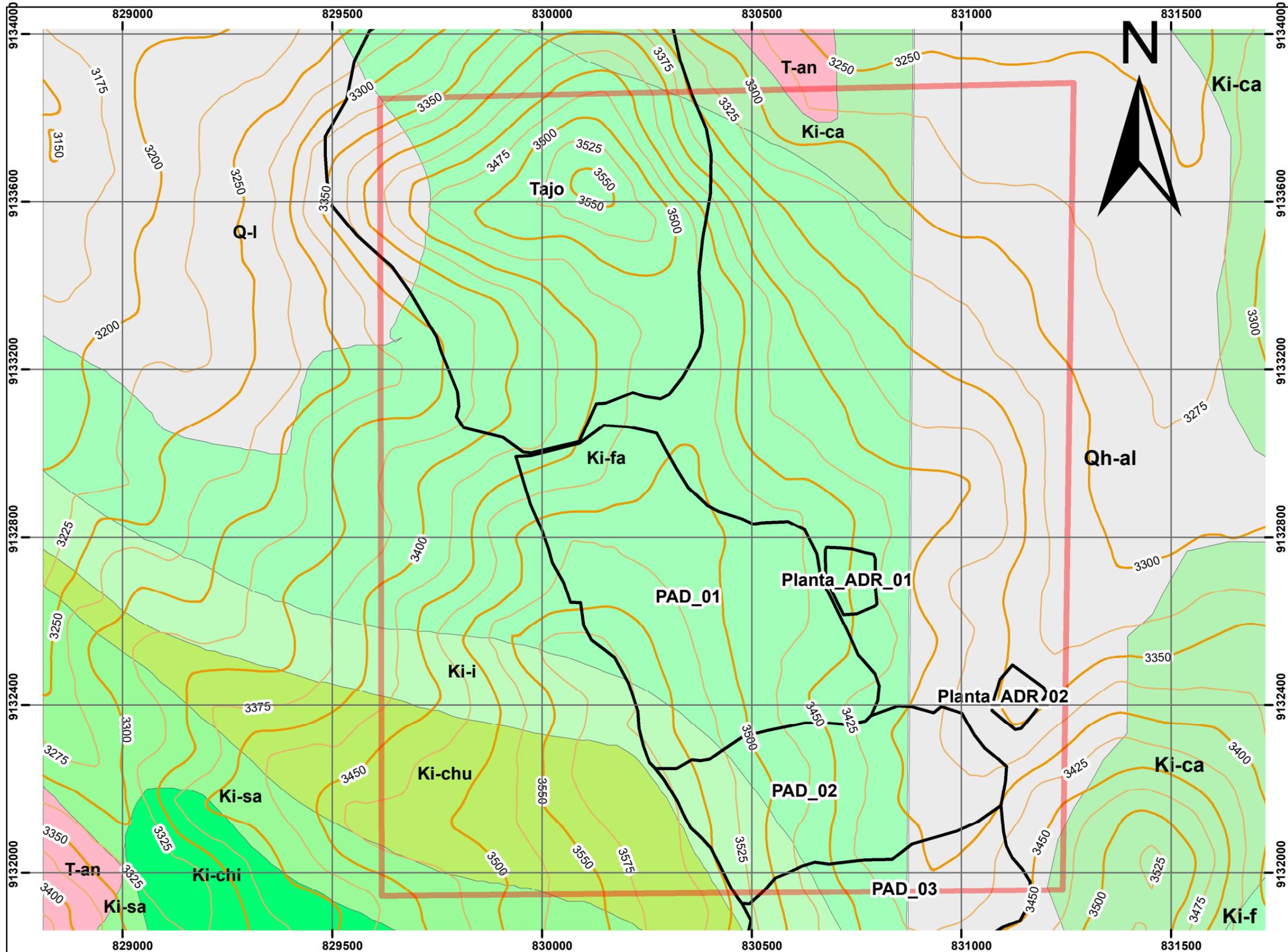
Figura 28: Influencia de la litología en el proceso de recuperación



SIMBOLOGÍA

-  Campamento
-  Planta Concentradora
-  Tajo Diana

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS		
TESIS: DETERMINACIÓN DEL BENEFICIO ECONÓMICO EN PADS DE LIXIVIACIÓN DINÁMICOS DE LA UNIDAD MINERA EL TORO - DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD		
PLANO DE UBICACIÓN		
TESISTA: DANIEL MANTILLA MURGA	ESCALA: 1/10000	PLANO 01
ASESOR: DR. ING. CRISPÍN ZENÓN QUISPE MAMANI		



LEYENDA

- COMPONENTES
- PAD_01
 - PAD_02
 - PAD_03
 - Planta_ADR_02
 - Planta_ADR_01
 - Planta_de_neutralización
 - Tajo

FORMACIONES GEOLÓGICAS

- Ki-ca
- Ki-chi
- Ki-chu
- Ki-fa
- Ki-i
- Ki-sa
- Q-I
- T-an

SIMBOLOGÍA

- Curvas Mayores
- Curvas Menores
- Área de estudio



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Profesional de Ingeniería de Minas		
	TESIS : "DETERMINACIÓN DEL BENEFICIO ECONÓMICO EN PADS DE LIXIVIACIÓN DINÁMICOS DE LA UNIDAD MINERA EL TORO -DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD"		
PLANO GEOLÓGICO			
TESISTA : DANIEL MANTILLA MURGA ASESOR : DR. ING CRISPÍN ZENÓN QUISPE MAMANI		ESCALA : 1/10 000	PLANO 02