

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS:

**OPTIMIZACIÓN DEL ACARREO UTILIZANDO EL MÉTODO DE DERRIBO
PARA AUMENTAR LA PRODUCCIÓN DE MATERIA PRIMA TRITURADA**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO DE MINAS

AUTOR:

BACH. ABANTO MARÍN JOSÉ EDINSON

ASESOR:

M. CS. ING. GONZALES YANA ROBERTO SEVERINO

CAJAMARCA – PERÚ

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. **Investigador:** JOSÉ EDINSON ABANTO MARÍN
DNI: 48314079
Escuela Profesional: ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS
2. **Asesor:** M. Cs. Ing. Gonzales Yana Roberto Severino
Facultad: Ingeniería
3. **Grado académico o título profesional**
☐ Bachiller ☒ Título profesional ☐ Segunda especialidad
☐ Maestro ☐ Doctor
4. **Tipo de Investigación:**
☒ Tesis ☐ Trabajo de investigación ☐ Trabajo de suficiencia profesional
☐ Trabajo académico
5. **Título de Trabajo de Investigación:**
OPTIMIZACIÓN DEL ACARREO UTILIZANDO EL MÉTODO DE DERRIBO PARA AUMENTAR LA PRODUCCIÓN DE MATERIA PRIMA TRITURADA
Fecha de evaluación: 05/11/2025
6. **Software antiplagio:** ☒ TURNITIN ☐ URKUND (OURIGINAL) (*)
7. **Porcentaje de Informe de Similitud:** 6%
8. **Código Documento:** Oide:3117: 523338861
9. **Resultado de la Evaluación de Similitud:**
☒ APROBADO ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 05/11/2025

 <hr style="width: 100%;"/> <p>FIRMA DEL ASESOR <i>Roberto Severino Gonzales Yana</i></p>	 <div style="display: inline-block; vertical-align: top; margin-left: 10px;"><p>Firmado digitalmente por: BAZAN DIAZ Laura Sofia FAU 20148258801 soft Motivo: En señal de conformidad Fecha: 05/11/2025 12:22:54-0500</p></div> <hr style="width: 100%;"/> <p>UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI</p>
--	---



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

ACTA N° 0006-2026

TITULO : OPTIMIZACIÓN DEL ACARREO UTILIZANDO EL MÉTODO DE DERRIBO PARA AUMENTAR LA PRODUCCIÓN DE MATERIA PRIMA TRITURADA.

ASESOR : M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Art. 35 del Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, da a conocer que, a los **treinta días del mes de enero de 2026**, siendo las ocho horas (08:00 a.m.) en Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica (Ambiente 4J - 210), se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Vocal : Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Secretario : M.Cs. Ing. Victor Ausberto Arapa Vilca

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada **OPTIMIZACIÓN DEL ACARREO UTILIZANDO EL MÉTODO DE DERRIBO PARA AUMENTAR LA PRODUCCIÓN DE MATERIA PRIMA TRITURADA**, presentado por el Bachiller en Ingeniería de Minas **JOSÉ EDINSON ABANTO MARÍN**, asesorado por el M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana, 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 PTS CATORCE (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 ca. horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Presidente

Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Vocal

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

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

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a Dios, cuya guía y fortaleza han sido fundamentales en este viaje; a mis docentes, por su dedicación y por inspirarme a amar el aprendizaje; y a mi asesor, por su valioso apoyo y confianza. Este logro es el resultado del esfuerzo y la creencia de todos ustedes en mí, y no habría sido posible sin su ayuda.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, quienes han sido mi mayor apoyo en cada paso de mi camino. Su amor incondicional, paciencia y sacrificios han sido la base de mis logros. A mis padres, por enseñarme la importancia del esfuerzo y la perseverancia, y a mis hermanas, por siempre motivarme a seguir adelante. Este logro es tan suyo como mío.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE IMÁGENES	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II	3
MARCO TEÓRICO	3
2.1. ANTECEDENTES	3
2.1.1. Internacionales	3
2.1.2. Nacionales	4
2.1.3. Locales	5
2.2. BASES TEÓRICAS	6
2.2.1. Acarreo en minería de cantera	6
2.2.2. Método de derribo	7
2.2.3. Diseño de voladura para optimización del acarreo	7
2.2.4. Impacto de la fragmentación en la trituración primaria	8
2.2.5. Factores geotécnicos en el método de derribo	8
2.2.6. Reducción de costos operativos mediante el derribo	8
2.2.7. Seguridad en el manejo del material derribado	9

	Pág.
2.2.8. Optimización del tiempo de ciclo en la operación minera	9
2.2.9. Uso de tecnología para la modelación del derribo	9
2.2.10. Impacto ambiental del acarreo y voladura.....	10
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	10
CAPÍTULO III	12
MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
3.1. Ubicación geográfica	12
3.1.1. Accesibilidad	14
3.2. Metodología de la investigación	14
3.2.1. Método, tipo, nivel y diseño de la investigación	14
3.2.2. Población	15
3.2.3. Muestra	15
3.2.4. Unidad de análisis.....	15
3.2.5. Identificación de variables.....	15
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	16
3.3.1. Técnicas de recolección de datos.....	16
3.3.2. Técnicas de análisis de datos	16
3.4. Procedimiento	17
3.4.1. Evaluación inicial del proceso.....	17
3.4.2. Aplicación del método de derribo	18
3.4.4. Monitoreo de la productividad	18
3.4.5. Ajustes y mejora continua	19
3.5. Geología.....	19
3.5.1. Generalidades	19

	Pág.
3.5.2. Unidades litoestratigráficas	20
3.5.2.1. Formación Puente (Js – pu).....	20
3.5.2.2. Formación Cachios (Js-ca).....	20
3.5.2.3. Formación Labra (JKi-la).....	21
3.5.2.4. Formación Gramadal (Ki-gr)	21
3.5.2.5. Formación Hualhuani (Ki-hu).....	21
3.5.2.6. Formación Arcuquina (Ks-ar)	22
3.5.2.7. Formación Chilcane (Ks-chi)	22
3.5.2.8. Formación Huanca (Ti-h).....	22
3.5.2.9. Grupo Tacaza (Tm-t).....	23
3.5.2.10. Volcánicos Sencca (Ts-vse)	23
3.5.2.11. Volcánicos Chila (Qp-vchi)	23
3.5.2.12. Formación Murco (Ki-mu).....	24
3.5.2.13. Volcánicos Barroso (Qp-vba).....	24
3.5.2.14. Depósitos cuaternarios	25
3.5.2.15. Depósitos piroclásticos (Qr-pi)	25
3.5.2.16. Depósitos aluviales (Qr-al).....	25
3.5.3. Geología estructural.....	26
3.5.4. Unidades geomorfológicas	27
3.5.4.1. Valle del río Yura.....	27
3.5.4.2. Quebradas.....	28
3.5.4.3. Penillanura de Arequipa	28
3.5.4.4. Arco volcánico del barroso	28
3.6. Descripción de los componentes que conforman el proyecto.....	29

	Pág.
3.7. Descripción de las actividades de explotación	31
3.7.1. Perforación y voladura en la cantera Yura S.A.	31
3.7.2. Carguío y acarreo de desbroce a botaderos	33
3.7.3. Carguío y acarreo de caliza y yeso a chancadoras	33
3.7.4. Trituración o chancado primario	34
3.7.5. Carguío y transporte de material a planta industrial.....	34
3.7.6. Trituración secundaria de caliza y/o yeso.....	35
3.7.7. Listado de maquinaria y equipos.....	36
CAPÍTULO IV	37
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	37
4.1. Análisis de las variables operacionales.....	37
4.2. Descripción de las pruebas experimentales	37
4.1. Presentación y análisis de los resultados	54
4.1.1. Estadística aplicada para la demostración de la optimización.....	54
4.1.1.1. Análisis inferencial.....	54
4.1.1.2. Supuesto de Continuidad.....	54
4.1.1.3. Supuesto de Normalidad	54
4.1.1.4. Prueba de hipótesis.....	56
4.1.1.5. Pruebas de validación del modelo experimental	59
4.1.1.6. Resultados de acuerdo a los Objetivos	64
CAPÍTULO V	69
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
5.1. CONCLUSIONES	69
5.2. RECOMENDACIONES.....	70

	Pág.
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
ANEXOS	76

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Coordenadas UTM de la zona de estudio.....	12
Tabla 2: Vía de accesos al proyecto	14
Tabla 3: Operacionalización de variables.....	15
Tabla 4: Unidades de Geología	26
Tabla 5: Ubicación de los componentes en las canteras.....	30
Tabla 6: Equipos, maquinarias y vehículos en las canteras	36
Tabla 7: Parámetros del segundo trimestre.....	37
Tabla 8: Parámetros del tercer trimestre.....	38
Tabla 9: Parámetros abril 2023.....	38
Tabla 10: Parámetros mayo 2023	39
Tabla 11: Parámetros junio 2023.....	40
Tabla 12: Parámetros julio 2023.....	41
Tabla 13: Parámetros agosto 2023	42
Tabla 14: Parámetros septiembre 2023	43
Tabla 15: Prueba de normalidad.....	55
Tabla 16: Prueba estadística T de Wilcoxon	57
Tabla 17: Validación del modelo experimental.....	59
Tabla 18: Comparación de Producción Promedio (T/H).....	66
Tabla 19: Comparación de Fragmentación Promedio (P80 en pulgadas)	66
Tabla 20: Comparación de Consumo Energético Promedio (kW/h).....	66
Tabla 21: Comparación de Factor de Potencia (kg/T).....	67
Tabla 22: Comparación del Costo Unitario de Trituración (\$/T).....	67

ÍNDICE DE IMÁGENES

	Pág.
Imagen 1: Plano de ubicación	13
Imagen 2: Perforación mecánica.....	32
Imagen 3: Carguío de caliza.....	33
Imagen 4: Nivel 850 - Ludmirca.....	78
Imagen 5: Nivel 860 - Ludmirca.....	78
Imagen 6: Nivel 880 - Ludmirca.....	79
Imagen 7: Nivel 900 – Ojule (Acumulado N960)	79
Imagen 8: Nivel 910 - Ludmirca.....	80

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Producción.....	44
Figura 2: Consumo de energía.....	46
Figura 3: Fragmentación	48
Figura 4: Factor de Potencia.....	50
Figura 5: Costo de trituración.....	52

RESUMEN

La investigación titulada “Optimización del acarreo utilizando el método de derribo para aumentar la producción de materia prima triturada”. Tiene como objetivo optimizar la fragmentación de la voladura y producción de caliza triturada aplicando el método de derribo; el método de la investigación es cuantitativo y el nivel de investigación fue comparativo, debido a que se compararon los datos de producción del segundo y tercer trimestre del 2023; el diseño de la investigación fue el diseño longitudinal, este nos permitió comparar ambas variables. Para evidenciar el incremento en la producción y la optimización del proceso se aplicó la prueba estadística no paramétrica de Wilcoxon para muestras relacionadas, considerando un nivel de confianza del 95 % y un margen de error del 5 %. Los resultados muestran un incremento de la producción de 1,450 T/H en el segundo trimestre a 1,601 T/H en el tercer trimestre del 2023. Este aumento fue consecuencia directa de la implementación del método de derribo, el cual consistió en facilitar el desprendimiento del material previamente fracturado mediante voladura, utilizando maquinaria pesada en lugar de emplear un nuevo ciclo de perforación-voladura. Este método permitió disminuir los tiempos muertos, reducir los costos operativos, evitar sobrefragmentaciones, y mejorar la continuidad del acarreo hacia la planta de chancado. El resultado estadístico obtenido ($p = 0.000$) indica una diferencia significativa entre ambos periodos analizados, validando así que la aplicación del método de derribo contribuyó de manera efectiva a la optimización de la producción de caliza triturada en la cantera.

Palabras claves: Voladura, Fragmentación (P80), Método de derribo y optimización del acarreo

ABTRACT

The research entitled “Optimization of Haulage Using the Takedown Method to Increase Crushed Raw Material Production” aims to optimize blast fragmentation and crushed limestone production through the application of the ripping method. The research approach is quantitative, and the level of research was comparative, as production data from the second and third quarters of 2023 were compared. The research design was longitudinal, which allowed the comparison of both variables over time. To demonstrate the increase in production and therefore the optimization of the process the non-parametric Wilcoxon signed-rank test for related samples was applied, considering a 95% confidence level and a 5% margin of error. The results show an increase in production from 1,450 T/H in the second quarter to 1,601 T/H in the third quarter of 2023. This increase was a direct consequence of implementing the ripping method, which consisted of facilitating the detachment of previously blasted material using heavy machinery (such as backhoes or front loaders) instead of performing a new drilling and blasting cycle. This method reduced idle time, lowered operating costs, prevented over-fragmentation, and improved the continuity of haulage toward the crushing plant. The statistical result obtained ($p = 0.000$) indicates a significant difference between the two periods analyzed, thus validating that the application of the ripping method effectively contributed to the optimization of crushed limestone production at the quarry.

Keywords: Blasting, Fragmentation (P80), Demolition Method and Haul Optimizatio

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la minería, la optimización de los procesos de acarreo constituye un desafío clave para mejorar la productividad y reducir los costos operativos. Las operaciones mineras, especialmente aquellas que involucran la extracción de grandes volúmenes de material, requieren soluciones eficientes que permitan un transporte continuo y seguro hacia las plantas de procesamiento. En este contexto, la implementación del método de derribo ha demostrado ser una técnica eficaz para aumentar la productividad, al facilitar el movimiento rápido y controlado de materiales desde las áreas de extracción hasta los puntos de acopio o trituración primaria.

Por lo tanto, se plantea la siguiente pregunta: ¿Cómo influye la optimización del acarreo utilizando el método de derribo para aumentar la producción de materia prima triturada? Para lo cual se tiene la siguiente hipótesis: Se puede lograr la optimización del acarreo utilizando el método de derribo para aumentar la producción de materia prima triturada.

La investigación se justifica porque la optimización del acarreo en canteras es esencial para mejorar la eficiencia operativa y reducir costos. Sin embargo, existen interrupciones y tiempos muertos que afectan la productividad. El método de derribo permite movilizar material previamente volado sin recurrir a nuevas voladuras. Esta estrategia mejora la continuidad del proceso y el rendimiento de la planta. Por ello, su aplicación representa una solución efectiva y sostenible en operaciones extractivas.

El alcance de la investigación se aplicará directamente a la cantera estudiada. Además, no se obtuvo la data completa de todas las voladuras durante el segundo trimestre del 2023.

El objetivo general de este estudio es optimizar el acarreo utilizando el método de derribo para aumentar la producción de materia prima triturada. Para ello, se establecen tres objetivos específicos: determinar cómo influye la búsqueda de una alternativa al método actual de carguío y acarreo, analizar cómo influye el contraste en la producción de caliza triturada antes y después de aplicar el método de derribo y evaluar la relación estadística de la producción de caliza triturada producto del acarreo mediante el método de derribo, comparando los resultados antes y después de su aplicación en la cantera.

La investigación está comprendida por los siguientes capítulos: Capítulo I, se presenta el planteamiento del problema, hipótesis, justificación, alcance y objetivos planteados. El Capítulo II, inicia mostrando los antecedentes teóricos de la presente investigación y continúa con las bases teóricas fundamentando los principios de perforación y voladura de rocas, finalmente se presenta la definición de términos básicos. El Capítulo III, materiales y métodos donde comprende, ubicación geográfica, el procedimiento, tratamiento y análisis de datos y presentación de resultados en las pruebas realizadas en la zona de investigación, así como la población, muestra y algunas técnicas de recolección de datos. El Capítulo IV, se realiza el análisis y discusión de resultados, mostrando los datos obtenidos con las pruebas de voladura; por consiguiente, contrastándose los resultados con la hipótesis. El Capítulo V, presenta las conclusiones y recomendaciones que se ha llegado en todo el estudio de investigación, y finalmente se encuentran las referencias bibliográficas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Internacionales

Garcés y Castrillón (2017), desarrollaron un modelo basado en inteligencia artificial (J48) para reducir los tiempos muertos en procesos de carguío y acarreo. Su estudio descriptivo y no experimental, centrado en los tiempos de cambio de guardia, mostró como resultado una disminución significativa de los tiempos improductivos al automatizar la asignación de personal. Concluyeron que la tecnología inteligente mejora la toma de decisiones en tiempo real. Este antecedente aporta a la presente investigación al demostrar que la digitalización de procesos puede optimizar la eficiencia del acarreo.

Rojas (2022), propuso una metodología para optimizar la planificación minera (Revisión B) considerando la incertidumbre operacional. Su investigación experimental y cuantitativa utilizó modelos matemáticos y simulaciones con datos reales. Los resultados evidenciaron que incorporar la variabilidad permite generar planes más robustos y eficientes, reduciendo riesgos. Concluyó que integrar enfoques predictivos fortalece la sostenibilidad técnica y económica. Este estudio respalda la importancia de planificar estratégicamente procesos como el acarreo, considerando condiciones cambiantes.

De La Cruz Sandoval (2021), analizó cómo modernizar las operaciones de carguío y acarreo para incrementar la producción de yeso en minería no metálica. Mediante un estudio correlacional y observacional, evaluó tiempos de operación y levantamientos topográficos. Los resultados permitieron alcanzar una producción diaria de 180 toneladas con un costo de S/.9.28 por tonelada. Concluyó que una buena planificación del terreno y análisis técnico-

geológico mejora la productividad sin elevar costos. Este antecedente evidencia que optimizar el sistema de acarreo desde el diseño puede mejorar el rendimiento en canteras.

2.1.2. Nacionales

Vargas (2019), analizó la optimización de las operaciones de carguío y transporte en la Unidad Minera Tacaza, con el objetivo de reducir los tiempos del ciclo operativo que afectaban la productividad. Mediante un estudio descriptivo y análisis de datos operativos, identificó demoras en el carguío, congestión en rutas y descoordinación entre equipos. Los resultados mostraron una mejora del ciclo global en más del 15%, reduciendo el tiempo de carguío de 2.48 a 1.97 minutos y el transporte de 14.65 a 12.23 minutos. Concluyó que una gestión eficiente del acarreo permite mejorar significativamente el rendimiento sin requerir mayor inversión en equipos. Este antecedente respalda la presente investigación al demostrar que el rediseño de procesos logísticos impacta directamente en la productividad minera.

Torres (2019) investigó la eficiencia del sistema de carguío y transporte en la Cía. Minera Antapaccay, con el fin de incrementar la producción sin aumentar los costos. A través de un estudio descriptivo basado en datos operacionales de flota, identificó cuellos de botella y problemas de coordinación entre turnos. Los resultados evidenciaron mejoras en la productividad diaria mediante la redistribución de tareas, ajustes en la asignación de volquetes y control de tiempos ociosos. Concluyó que una gestión eficiente de los recursos existentes y una logística optimizada son claves para una producción sostenible. Este estudio aporta a la presente investigación al confirmar que el rendimiento del acarreo puede mejorar aplicando estrategias organizacionales sin necesidad de ampliar la flota.

Murillo (2022) evaluó el proceso de extracción artesanal de caliza en la concesión minera Conchoc, enfocándose en el método de corte y derribo a cielo abierto. Utilizó

observación directa, entrevistas y evaluación ambiental para identificar deficiencias como el diseño inadecuado, falta de planificación operativa y escasa capacitación. Los resultados demostraron que estas falencias reducen la productividad y afectan la sostenibilidad del proyecto. Concluyó que es necesario modernizar el proceso de explotación, rediseñar el método de derribo y capacitar técnicamente al personal. Este antecedente contribuye a la presente tesis al evidenciar que la implementación efectiva del método de derribo requiere una base técnica integral para alcanzar resultados positivos en producción y sostenibilidad.

2.1.3. Locales

Arámbulo y Rojas (2023), determinaron el tamaño óptimo de la flota de carguío y acarreo para el inicio de operaciones en la mina Cerro Aura, a fin de optimizar el uso de recursos y reducir costos unitarios. Mediante un estudio cuantitativo y descriptivo, basado en simulaciones operativas y criterios económicos, evaluaron distintos escenarios técnicos para el arranque del proyecto. Los resultados permitieron establecer un dimensionamiento eficiente que equilibró los ciclos de carguío y transporte, minimizando los costos por tonelada. Concluyeron que una planificación adecuada de la flota desde las etapas iniciales garantiza la eficiencia operativa y la viabilidad económica del proyecto. Este antecedente contribuye a la presente investigación al demostrar que una correcta distribución y planificación del acarreo es clave para mejorar la productividad minera.

Champi (2015), investigó cómo la mejora en el sistema de abastecimiento de combustible puede reducir demoras operativas durante el acarreo en la Unidad Operativa Cuajone. A través de un estudio no experimental y correlacional, analizó el rendimiento de la flota en turnos diurnos y nocturnos tras implementar el sistema VR-300 Gpm. Los resultados evidenciaron una reducción significativa en los tiempos muertos y una mejora notable en la productividad al reorganizar cuadrillas y optimizar la logística de

reabastecimiento. Concluyó que incluso pequeños ajustes en procesos auxiliares pueden tener un gran impacto en el rendimiento del acarreo. Este antecedente aporta a la investigación al resaltar la importancia de optimizar no solo el transporte directo, sino también los procesos de soporte que lo rodean.

Caballa (2022), evaluó el impacto de un sistema electrónico en la mejora de la producción de material extraído en una operación de minería no metálica. Mediante un estudio cuantitativo, longitudinal y comparativo, analizó datos de extracción de los años 2001 y 2020, centrado en los meses de julio y agosto. Los resultados mostraron un incremento en la producción de 1,577,952 a 1,731,142 toneladas, atribuido al uso del sistema Monday, que permitió asignaciones dinámicas desde dispositivos electrónicos. Concluyó que la tecnología aplicada a la gestión del acarreo permite reducir tiempos muertos y mejorar el rendimiento operativo. Este antecedente es valioso para la presente investigación, ya que evidencia que la automatización en tareas logísticas contribuye directamente al aumento de la productividad.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Acarreo en minería de cantera

El acarreo constituye una de las etapas más críticas y costosas dentro de la minería a cielo abierto, representando hasta el 60% de los costos operativos en algunas operaciones. Su eficiencia depende de múltiples factores, como la distancia desde el frente de minado hasta la trituradora, el tipo de maquinaria empleada, las condiciones topográficas y el estado de las vías. Un acarreo deficiente puede generar cuellos de botella en el proceso productivo, mientras que una gestión optimizada mejora los tiempos de ciclo, reduce el consumo de combustible y eleva la productividad general. Por ello, adoptar estrategias como el método de derribo puede ser determinante para reducir la necesidad de transporte mediante volquetes

o camiones, incrementando la eficiencia y reduciendo los costos asociados (Instituto Geológico y Minero de España, 1991).

2.2.2. Método de derribo

El método de derribo consiste en utilizar la energía de la voladura para desplazar el material hacia zonas de fácil carguío, eliminando o disminuyendo la necesidad de transporte con maquinaria pesada. Esta técnica ha demostrado ser eficaz para reducir los costos asociados al acarreo, ya que permite acercar el material al área de chancado o acumulación sin recurrir a recorridos extensos. Su aplicación es especialmente relevante en operaciones donde las cotas de los bancos permiten el aprovechamiento de la energía de voladura para el movimiento gravitacional del material. Asimismo, al disminuir el número de viajes de acarreo, se reduce el desgaste de los equipos y la generación de emisiones contaminantes (López, 1994).

2.2.3. Diseño de voladura para optimización del acarreo

Un diseño adecuado de la voladura puede tener un impacto significativo en la eficiencia del acarreo. Variables como el burden, el espaciamiento, la columna de carga y el tipo de explosivo utilizado inciden directamente en la dirección, extensión y efectividad del derribo. Al optimizar estos parámetros se puede lograr una fragmentación más adecuada y un derribo direccionado que acerque el material a la zona de carguío o chancado, reduciendo distancias y tiempos de transporte. El modelo Kuz-Ram y otras herramientas empíricas han permitido estimar el tamaño de fragmentación en función de parámetros de voladura, apoyando decisiones técnicas para un diseño eficiente. (Cunningham, 1983; López, 1994)

2.2.4. Impacto de la fragmentación en la trituración primaria

La eficiencia del chancado primario depende en gran medida del tamaño de la fragmentación del material volado. Una voladura que genere fragmentos homogéneos y con menor proporción de sobre tamaños mejora el rendimiento del equipo de trituración, reduce el consumo energético y disminuye el desgaste de componentes críticos como mandíbulas y revestimientos. Por el contrario, una fragmentación deficiente incrementa los costos de mantenimiento, disminuye la capacidad efectiva del chancado y puede incluso generar interrupciones en la línea de producción. En este contexto, el método de derribo contribuye al control de la granulometría al facilitar una distribución más uniforme del material (Cunningham, 1983).

2.2.5. Factores geotécnicos en el método de derribo

La efectividad del método de derribo está condicionada por las características geotécnicas del macizo rocoso, como la resistencia uniaxial, la presencia de fracturas naturales, la orientación de las discontinuidades y la litología. Un adecuado análisis geomecánico permite predecir el comportamiento del material tras la voladura, estimar la direccionalidad del derribo y planificar adecuadamente el diseño de bancos y taludes. Ignorar estas variables puede conducir a resultados impredecibles en la fragmentación y en la movilidad del material, generando riesgos operacionales o pérdidas de eficiencia (Bieniawski, 1978).

2.2.6. Reducción de costos operativos mediante el derribo

Uno de los beneficios más evidentes del método de derribo es la disminución de costos operativos. Al reducir el número de viajes requeridos para transportar el material, se minimizan el consumo de combustible, las horas de operación de maquinaria y el

mantenimiento de vías. Además, se requiere menos personal para operar equipos de acarreo, y se disminuye la exposición a riesgos operacionales en zonas de tránsito. Estos ahorros no solo impactan positivamente en los indicadores económicos, sino que también favorecen una operación más sostenible y eficiente (López, 1994).

2.2.7. Seguridad en el manejo del material derribado

La implementación del método de derribo debe ir acompañada de un riguroso control de seguridad, ya que el material desplazado puede generar acumulaciones inestables que representen un riesgo de deslizamiento o atrapamiento para los operadores. Es fundamental contar con monitoreo geotécnico y establecer zonas de exclusión y protocolos de ingreso. La normativa vigente en seguridad minera, como la Ley 29783 y estándares internacionales como ISO 14001, exigen medidas preventivas para garantizar operaciones seguras en todas las etapas del proceso productivo (ISO 14001, 2004; Ley N° 29783, 2011).

2.2.8. Optimización del tiempo de ciclo en la operación minera

El tiempo de ciclo en el acarreo definido por el tiempo desde que un equipo inicia su carga hasta que retorna a su punto de origen es un indicador clave de productividad. El método de derribo, al reducir distancias y concentrar el material en zonas accesibles, acorta significativamente estos tiempos. Esto permite incrementar el número de viajes por jornada y mejora el aprovechamiento del equipo, elevando la producción sin necesidad de incrementar la cantidad de maquinaria en operación (Instituto Geológico y Minero de España, 1991).

2.2.9. Uso de tecnología para la modelación del derribo

El uso de herramientas tecnológicas, como los softwares de diseño de voladura (Blast Design, JKSimBlast) o modelos geotécnicos en 3D, permite simular el comportamiento del

material durante y después del disparo. Estas simulaciones ayudan a predecir la dirección del derribo, estimar la granulometría y evaluar el impacto en el sistema de acarreo. El uso de estas tecnologías no solo mejora la precisión del diseño, sino que reduce los errores operativos y mejora la planificación de la producción (Sáez Muñoz, 2014).

2.2.10. Impacto ambiental del acarreo y voladura

El acarreo tradicional genera impactos ambientales significativos, como emisiones de gases contaminantes, polvo en suspensión, ruido y desgaste de caminos. Al reducir la necesidad de transporte mediante el método de derribo, se disminuyen estos efectos, promoviendo una operación más amigable con el entorno. Asimismo, una fragmentación más controlada reduce la cantidad de vibraciones y proyecciones, minimizando el impacto ambiental de la voladura (ISO 14001, 2004).

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Optimización: Aplicación de estrategias técnicas y operativas que permiten mejorar el desempeño de los procesos, reduciendo costos y tiempos, y aumentando la eficiencia en la producción (Rojas, 2022).

Acarreo: Es el proceso de transporte del material fragmentado desde el frente de minado hasta su destino final, como botaderos, zonas de acopio o plantas de chancado. (Instituto Geológico y Minero de España, 1991).

Método de derribo: Consiste en emplear la energía de la voladura para desplazar el material hacia zonas de carguío, minimizando así la distancia de transporte y el uso de equipos de acarreo, lo cual incrementa la eficiencia operativa (López Jiménez, 1994).

Producción: Corresponde al volumen de material procesado en una operación minera, ya sea mineral de interés económico o material estéril que debe ser removido (Aramburú & Rojas, 2023).

Materia prima triturada: Material rocoso que, tras su extracción, ha pasado por un proceso de chancado o trituración para obtener granulometrías adecuadas para su posterior uso industrial (Murillo, 2022).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

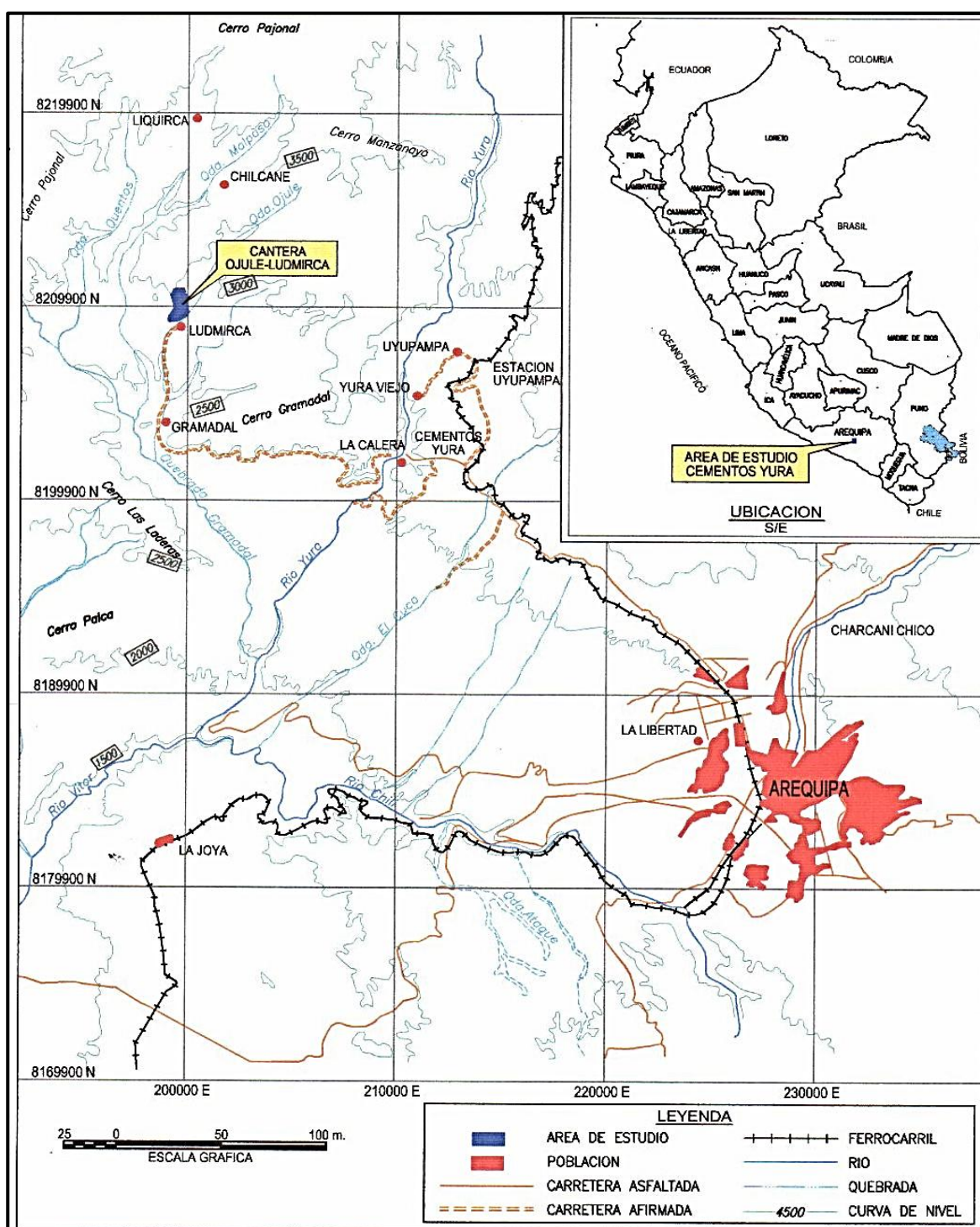
3.1. Ubicación geográfica

La presente investigación se desarrollará en las instalaciones de Yura S.A., ubicadas dentro de la Concesión Minera Acumulación Chili N° 1, en la provincia y departamento de Arequipa, a unos 53 km del centro de la ciudad y a 28 km del poblado de Yura donde se encuentra la Planta Industrial. El área de estudio se encuentra a una altitud que varía entre los 2,600 y 3,010 m.s.n.m., y abarca una superficie aproximada de 100 hectáreas.

Tabla 1: Coordenadas UTM de la zona de estudio

Punto	Norte	Este
1	8219236	195573
2	8203955	215053
3	8195119	212948
4	8205653	192493

Imagen 1: Plano de ubicación



Fuente: Yura S.A. (2023)

3.1.1. Accesibilidad

El acceso al proyecto se realiza partiendo de la ciudad de Lima hacia Arequipa mediante transporte aéreo, con una duración aproximada de una hora. Desde la ciudad de Arequipa, el recorrido continúa por vía terrestre hasta el distrito de Yura a través de una carretera asfaltada de 25 km, y posteriormente se avanza en dirección noroeste por una vía afirmada de 27 km, alcanzando finalmente la zona del proyecto tras un tiempo total de viaje cercano a las dos horas desde Arequipa.

Tabla 2: Vía de accesos al proyecto

Tramo	Distancia (Km)	Tipo	Distancia acumulada (Km)
Lima - Arequipa	-	Aéreo	-
Arequipa – Distrito de Yura	25	Asfaltada	25
Distrito de Yura – Zona del proyecto	27	Afirmada	52

3.2. Metodología de la investigación

3.2.1. Método, tipo, nivel y diseño de la investigación

El método de investigación empleado en la presente tesis será de enfoque cuantitativo, ya que se utilizarán datos numéricos que permitirán realizar análisis descriptivos e inferenciales para comprobar la hipótesis. El tipo de investigación corresponde a la aplicada, dado que su propósito principal es generar nuevos conocimientos útiles en un contexto real. Asimismo, el nivel de investigación será correlacional, puesto que se establecerá la relación entre los datos de caliza volada obtenidos en el segundo y tercer trimestre del año 2023. En cuanto al diseño, la investigación será de carácter longitudinal, al comparar los resultados de ambos periodos con el fin de identificar el incremento en la

fragmentación de la caliza volada. Finalmente, la investigación es de tipo experimental, ya que se manipulará la variable independiente mediante la aplicación del método de derribo y se observará su efecto sobre la variable dependiente.

3.2.2. Población

La población a estudiar viene dada por la producción de caliza

3.2.3. Muestra

El estudio se centrará en la investigación, se enfocará en la voladura, de esta forma la muestra será no probabilística.

3.2.4. Unidad de análisis

Viene dado por la fragmentación de la caliza.

3.2.5. Identificación de variables

Tabla 3: Operacionalización de variables

Variable	Indicadores	Sub indicador
Variable independiente:		Reducción de tiempos en el acarreo de caliza.
Disponibilidad de Equipos y utilización	Tiempos no operativos	
Aplicación método de derribo	Tiempos operativos	Incremento de tiempos en las actividades de acarreo de caliza.
Variable dependiente:		
Caliza triturada	Toneladas trituradas de caliza segundo y tercer trimestre 2023	Cantidad de caliza triturada

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.3.1. Técnicas de recolección de datos

Para la variable independiente

Fuentes para recolección de información: la información que se recolectará será de fuentes internas de la cantera, se contará con los datos de producción de caliza triturada y P80 del segundo trimestre del año 2023.

Para la variable dependiente

Técnicas para recolección de información: se implementará el método del derribo, se usará como técnica la revisión documentaria de los registros de producción de la caliza triturada y P80 del tercer trimestre del año 2023.

3.3.2. Técnicas de análisis de datos

Una de las principales técnicas de investigación en el proyecto de optimización del acarreo utilizando el método de derribo es la observación directa. A través de esta técnica, se pueden registrar y analizar los procesos de derribo, acarreo y producción en la cantera en tiempo real, evaluando las variables operativas y de seguridad. La observación permite identificar posibles cuellos de botella, mejorar la eficiencia de la voladura y optimizar los desplazamientos de los materiales hacia la trituradora primaria. Además, puede complementarse con registros fotográficos o video para documentar los cambios en el rendimiento a lo largo del tiempo.

Para poder encontrar la relación de los datos de producción de la caliza triturada antes y después de implementar el método del derribo en la cantera, se ejecutarán a través del

software SPSS versión 26 el cual servirá como herramienta para el respectivo análisis, como prueba estadística se usará la prueba T de Wilcoxon para muestras relacionadas.

3.3.3. Instrumentos de la investigación

- **Sistemas de Monitoreo GPS:** Para rastrear y analizar el movimiento de los equipos de acarreo, optimizando rutas y tiempos de viaje.
- **Cámaras de Videovigilancia:** Para observar y documentar en tiempo real los procesos de derribo y acarreo, permitiendo una evaluación continua.
- **Sensores de Carga en los Equipos de Acarreo:** Para medir la cantidad de material transportado, asegurando la correcta utilización de los equipos y la optimización del acarreo.
- **Software de Gestión de Flotas:** Para monitorear y gestionar el rendimiento de los equipos de acarreo, proporcionando datos sobre tiempos de ciclo, eficiencia y consumo de combustible.
- **Sistemas de Medición de Voladura:** Para medir los efectos de las voladuras en términos de fragmentación y desplazamiento del material, facilitando el análisis del impacto en la producción.
- **Instrumentos de Análisis de Productividad:** Herramientas estadísticas y software especializado para analizar la productividad en tiempo real, evaluando el rendimiento de los procesos de derribo y acarreo.

3.4. Procedimiento

3.4.1. Evaluación inicial del proceso

Analizar el sistema de acarreo actual, incluyendo los equipos empleados, las rutas utilizadas y los tiempos de ciclo. Detectar posibles cuellos de botella que afecten la eficiencia

del transporte de la materia prima hacia la trituradora. Revisar las especificaciones de los equipos de acarreo y la capacidad de la trituradora para identificar oportunidades de mejora.

3.4.2. Aplicación del método de derribo

- **Derribo del material:** Implementar el método de derribo utilizando maquinaria pesada como bulldozers, volquetes y cargadores frontales para desplazar grandes volúmenes de material hacia zonas más cercanas a la trituradora.
- **Reducción de distancias:** Aprovechar el derribo para minimizar la distancia de acarreo. Al acercar el material a la trituradora, se reducen los tiempos de ciclo de los camiones, incrementando la cantidad de viajes por turno.
- **Optimización de rutas:** Rediseñar las rutas de transporte para eliminar trayectos innecesarios y favorecer un flujo más directo y eficiente.

3.4.3. Asignación de equipos y recursos

Distribuir eficientemente los equipos de acarreo (camiones o volquetes) y maquinaria de derribo, asegurando un equilibrio adecuado entre ambos para evitar cuellos de botella en las áreas de acumulación. Establecer el número óptimo de camiones y operadores por turno para mantener un flujo continuo de material hacia la trituradora.

3.4.4. Monitoreo de la productividad

Implementar sistemas de monitoreo en tiempo real, para medir los tiempos de ciclo, volúmenes transportados y la eficiencia del derribo. Definir indicadores clave de rendimiento (KPI), como toneladas transportadas por hora, consumo de combustible y tiempo de ciclo, para evaluar el impacto de las mejoras en el proceso.

3.4.5. Ajustes y mejora continua

Realizar ajustes en la planificación del derribo y el acarreo en función de los datos recolectados sobre el rendimiento. Optimizar la capacitación del personal y mejorar la comunicación entre los operadores para reducir tiempos muertos y retrasos.

3.4.6. Evaluación de resultados

Comparar los resultados de producción antes y después de implementar el método de derribo, analizando el aumento de la producción de la caliza triturada en la chancadora primaria. Evaluar la disminución de costos operativos y el incremento de la productividad. Este procedimiento optimiza el acarreo mediante la reducción de distancias y tiempos de ciclo, aumentando la eficiencia y productividad del proceso de trituración de materia prima.

3.5. Geología

3.5.1. Generalidades

El área del proyecto se localiza en el sur del Perú, específicamente al noroeste de la ciudad de Arequipa. Esta zona forma parte de un entorno geográfico caracterizado por la presencia de unidades geomorfológicas relevantes como las Etribaciones del Altiplano y la Penillanura de Arequipa, lo que le otorga particularidades tanto topográficas como geodinámicas.

Desde el punto de vista geológico, el área está conformada principalmente por rocas volcánicas del Terciario, pertenecientes al grupo Tacaza (Tm-t) y a la unidad volcánica Sencca (Tp-vse). Estas formaciones se encuentran parcialmente cubiertas por depósitos cuaternarios recientes, entre los que se identifican depósitos aluviales (Qal), deluviales (Q-de), coluviales (Qco), proluviales (Q-pr) y tecnógenos (Q-te), los cuales reflejan procesos geomorfológicos activos y pasados que han modelado el paisaje actual.

3.5.2. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas están representadas por el grupo Yura, las formaciones Murco, Arcuquina, Chilcane y Milo, los volcánicos Sencca y el grupo Barroso (Área de geología Yura, 2023)

3.5.2.1. Formación Puente (Js – pu)

Esta unidad perteneciente al grupo Yura representa a las rocas más antiguas del área de estudio; se compone litológicamente de areniscas cuarcíticas de grano muy fino, de colores amarillentos, pardos y verdosos, que intemperizan a colores pardo oxidado claro, rojo oxidado y rojo grisáceo; además presentan pequeñas intercalaciones de lutitas negras, carbonáceas y duras. Sus afloramientos se localizan al oeste del área de la planta y de las líneas de transmisión, sus espesores varían alrededor de los 600 m; se le asigna una edad comprendida en el Jurásico superior (Área de geología Yura, 2023)

3.5.2.2. Formación Cachios (Js-ca)

Esta formación también pertenece al grupo Yura; se compone litológicamente de lutitas negras y gris oscuras, tufáceas en algunas zonas y carbonáceas en otras; con intercalaciones menores de lutitas y siltitas grises a beiges, de grano fino en capas medianas, fuertemente lenticulares. Cabe señalar que sus escasos afloramientos se ubican al oeste del área de la planta y de las líneas de transmisión, pudiendo sus espesores llegar a los 600 m; se le considera de una edad comprendida en el Jurásico superior (Área de geología Yura, 2023)

3.5.2.3.Formación Labra (JKi-la)

Esta unidad también pertenece al grupo Yura; se constituye de una litología bastante variable con predominancia de areniscas cuarcíticas y cuarcitas sobre las lutitas y limolitas, y que a su vez por ser más duras destacan en la topografía. En cuanto a sus afloramientos, estos se localizan al noroeste del área de la planta y de las líneas de transmisión, y al sur del área de las canteras; sus espesores se encuentran alrededor de los 1000 m; se le asigna una edad comprendida entre el Jurásico superior y el Cretáceo inferior (Área de geología Yura, 2023)

3.5.2.4.Formación Gramadal (Ki-gr)

Esta formación también pertenece al grupo Yura; se constituye en la parte inferior de calizas arrecifales de color marrón a gris oscuro; en la parte media presenta bancos gruesos de arenisca cuarcíticas de color blanquecino, y en la parte superior, areniscas verdes oscuras y lutitas. Cabe señalar que sus escasos afloramientos se ubican en la zona oeste del sector de la planta y en la zona sur del sector de las canteras, pudiendo sus espesores alcanzar los 100 m; se le atribuye una edad dentro del Cretácico inferior (Área de geología Yura, 2023)

3.5.2.5.Formación Hualhuani (Ki-hu)

Esta unidad también pertenece al grupo Yura; está compuesta litológicamente en su base por areniscas blanquecinas de grano fino, y en la parte superior muestra cuarcitas duras y compactas de grano fino a medio, teniendo una tonalidad gris amarillenta con manchas amarillo-rojizas. Por último, sus escasos afloramientos se localizan al oeste del área de la planta y de las líneas de transmisión, y al sur del área de las canteras; estando sus espesores alrededor de los 50 m; se le considera de una edad comprendida en el Cretácico inferior (Área de geología Yura, 2023)

3.5.2.6. Formación Arcuquina (Ks-ar)

Esta unidad se constituye de calizas gris azulinas de aspecto masivo; los estratos de caliza se caracterizan por presentar venillas entrecruzadas de calcita; a su vez, las calizas están recrystalizadas y marmolizadas con manchas verdosas de óxidos de cobre; además, esta formación presenta fauna fosilífera. Por último, sus afloramientos se localizan al norte y centro del área de las canteras y sus espesores varían alrededor de los 2000 m; a esta formación se le atribuye una edad perteneciente al Cretácico superior (Área de geología Yura, 2023)

3.5.2.7. Formación Chilcane (Ks-chi)

Esta formación está constituida de una intercalación de lutitas verdes con lodolitas rojas con una ligera estratificación; presenta también segmentos con yeso fibroso, sacaroideo y raras veces cristalizado. Finalmente, sus escasos afloramientos se encuentran al norte del área de las canteras; pudiendo sus espesores llegar a los 1400 m; se le considera dentro del Cretácico superior (Área de geología Yura, 2023)

3.5.2.8. Formación Huanca (Ti-h)

Esta unidad se constituye de areniscas arcóscas marrón rojizas de grano mediano a grueso, elementos de cuarzo angulares a subangulares; tiene poca compacidad y presentan una ligera estratificación cruzada; los estratos de areniscas contienen lentes e intercalaciones de conglomerados, los cuales gradualmente aumentan hasta predominar en la parte superior de esta formación. Finalmente, sus afloramientos se encuentran en la zona norte del sector de las canteras, pudiendo sus espesores llegar a los 1400 m; se le considera de una edad correspondiente al Terciario inferior (Área de geología Yura, 2023)

3.5.2.9. Grupo Tacaza (Tm-t)

Este grupo está representado por una secuencia inferior constituida por paquetes de aglomerados o brechas tobáceas en una matriz de ceniza fina poco consolidada. Sus clastos son de tamaño variado, de forma subredondeada y angulosa, así como de composición dacítica, con intercalación de lavas andesítico-basálticas que se pierden lenticularmente y forman por disyunción estructuras piramidales en apilamiento. En la parte superior presenta una secuencia de lavas andesíticas en capas medianas, las cuales han sido intruidas por diques félsicos, especialmente de cuarzo. Por otro lado, sus afloramientos se localizan al oeste del área de la planta y de las líneas de transmisión, y en varias zonas del área de las canteras; variando sus espesores alrededor de los 800 m; se le considera de una edad correspondiente al Terciario medio (Área de geología Yura, 2023)

3.5.2.10. Volcánicos Sencca (Ts-vse)

Esta unidad se constituye de tufos de naturaleza riolítica y riodacítica, aunque con niveles de composición dacítica intercalados con tufos brechoides lenticulares. Posee una apreciable compactación y dureza, aunque existen lugares donde muestran poca consistencia, en donde el material se encuentra compactado; sus tonalidades son generalmente blanquecinas, con variaciones a blanco amarillento y amarillo grisáceo. Por último, sus afloramientos se localizan al oeste y centro del área de la planta y de las líneas de transmisión; variando sus espesores alrededor de los 60 m; se le asigna una edad dentro del Terciario superior (Área de geología Yura, 2023)

3.5.2.11. Volcánicos Chila (Qp-vchi)

Esta unidad representa la parte inferior del grupo Barroso; se constituye litológicamente por una alternancia de tufos y lavas, con predominio de los primeros; estos

tufos son predominantemente de color gris plomizo, de composición ácida y grano fino, observándose plagioclasas y cuarzo biotitas, alterando a un pardo-rojizo por oxidación de minerales ferruginosos, y encima se aprecian coladas de lava dacítico-andesítica de escaso grosor. Finalmente, sus afloramientos se localizan al norte del área de las canteras; y al este y centro del área de la planta y de las líneas de transmisión; sus espesores varían alrededor de los 100 m; se le atribuye una edad Pleistocénica (Área de geología Yura, 2023)

3.5.2.12. Formación Murco (Ki-mu)

Esta formación se constituye en la parte inferior de lutitas abigarradas con estratificación laminar; en la parte media presenta areniscas friables de tonalidad blanca a pardo amarillenta; en tanto que en la superior muestra lutitas púrpuras con intercalaciones de yeso y caliza. Finalmente, sus afloramientos se ubican al oeste del área de la planta y de las líneas de transmisión, y al sur del área de las canteras; variando sus espesores alrededor de los 350 m; se le asigna una edad correspondiente al Cretácico inferior (Área de geología Yura, 2023)

3.5.2.13. Volcánicos Barroso (Qp-vba)

Esta unidad representa la parte superior del grupo Barroso; está compuesta de una serie de lavas oscuras mayormente andesíticas variando en algunos casos a basálticas y constituyendo la cúspide de la cadena occidental; posee una composición andesítica variando a veces a basalto y en otras a dacitas con tonalidades de gris oscuro a negro; su textura varía de microcristalina a vítrea, y se observa cristales de plagioclasas y otros de formas alargadas, como augita y hornblenda. Finalmente, sus afloramientos se encuentran en el centro del área de la planta y de las líneas de transmisión, pudiendo sus espesores llegar a los 2000 m; a esta unidad se le considera dentro del Pleistoceno (Área de geología Yura, 2023)

3.5.2.14. Depósitos cuaternarios

Los depósitos cuaternarios del área de estudio son principalmente de origen piroclástico y aluvial reciente (Área de geología Yura, 2023)

3.5.2.15. Depósitos piroclásticos (Qr-pi)

Estos depósitos están compuestos por capas de lapilli de color amarillo y blanquecino, que contienen pequeños fragmentos de pómez, lavas y algunas escorias y bombas, cementados por ceniza arenosa y poco consolidada; estas capas se intercalan con otras más delgadas de arena de grano grueso y de color gris oscuro. Estos depósitos se observan únicamente en la zona este de la planta y se les asigna una edad Holocénica (Área de geología Yura, 2023)

3.5.2.16. Depósitos aluviales (Qr-al)

Están constituidos por la acumulación de cantos redondeados y subredondeados en matriz areno-limosa; el material que lo constituye es polimíctico y los tamaños pueden variar desde arcillas hasta gravas moderadamente clasificadas. Estos depósitos se encuentran en varias zonas del área de estudio y se les atribuye una edad correspondiente al Holoceno (Área de geología Yura, 2023)

Tabla 4: Unidades de Geología

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS		SÍMBOLO	ROCAS ÍGNEAS	SÍMBOLO
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Dep. Aluviales		Qr-al		
			Dep. Piroclásticos		Qr-pi		
		PLEISTOCENO	Gpo. Barroso	Volc. Barroso	Qp-vba		
				Volc. Chila	Qp-vchi		
	TERCIARIO	SUPERIOR	Volc. Sencca		Ts-vse		
		MEDIO	Gpo. Tacaza		Tm-t		
		INFERIOR	Form. Huanca		Ti-h		
MESOZOICO	CRETÁCEO	SUPERIOR	Form. Chilcane		Ks-chi	Diorita	Kti-di
			Form. Arcuquina		Ks-ar		
		INFERIOR	Form. Murco		Ki-mu		
			Gpo. Yura	Form. Hualhuani	Ki-hu		
				Form. Gramadal	Ki-gr		
				Form. Labra	JKi-la		
	JURÁCICO	SUPERIOR		Form. Cachios	js-ca		
				Form. Puente	Js-pu		

Fuente: Yura S.A. (2023)

3.5.3. Geología estructural

En el área de estudio, los rasgos estructurales predominantes son las fallas y pliegues, principalmente, en las rocas mesozoicas como el grupo Yura, las formaciones Arcuquina y Chilcane; la alineación general de dichas estructuras es NO-SE, las mismas que tienen un arqueamiento progresivo hacia el Oeste; de igual forma conforme se avanza hacia el Sur cambian bruscamente a una dirección E-O.

Las deformaciones presentes corresponden al ciclo andino; este ciclo comprende etapas de sedimentación, deformación, levantamientos y, finalmente, de peneplanización y erosión. Durante este ciclo andino, las unidades litológicas en la región y el área de estudio

fueron afectadas por las fases: peruana, inca y quechua 1, 2 y 3; durante estas fases se han generado plegamientos, fallamientos y sobrescurrimientos y volcanismo.

Cabe señalar que la formación Arcuquina, a lo largo de sus afloramientos, presenta un anticlinal y un sinclinal que sigue un rumbo N 45° O y continúan hacia el Norte; el anticlinal es asimétrico con un plano axial buzando hasta 30° al NE; el flanco NE presenta una inclinación variable, pero siempre mayor que la del SO; el sinclinal es paralelo al anticlinal y ambos tienen una longitud de 24,5 km. En la parte sur de los pliegues se observa deformaciones ocasionadas por fallas transversales y por pequeños pliegues a lo largo de su eje, los cuales son apretados y simétricos.

Por último, el área presenta también fallas normales e inversas, las primeras son de alto ángulo con una dirección predominante N 45° E y tienen un desplazamiento vertical de varias centenas de metros; las segundas tienen un rumbo N° 45 O en promedio con buzamientos entre 35° y 45° en la parte Norte, y entre 65° y 90° en la parte Sur (Área de geología Yura, 2023)

3.5.4. Unidades geomorfológicas

Las unidades geomorfológicas que pueden encontrarse en el área de estudio son: el valle del río Yura, quebradas, penillanura de Arequipa y arco volcánico del Barroso (Área de geología Yura, 2023)

3.5.4.1. Valle del río Yura

Es una depresión del terreno, producto de la erosión fluvial que sigue la dirección de una estructura o falla geológica. Localmente presenta secciones transversales en cuyo fondo del valle tiene anchos variables, con laderas de contornos ondulados y pendientes variadas. Las laderas de valle del río Yura, presentan fuerte pendiente, y por sectores son moderados.

Las cimas de los afloramientos llegan a altitudes de entre 3000 y 4400 m.s.n.m. (Área de geología Yura, 2023)

3.5.4.2. Quebradas

Las quebradas son importantes debido a que por ellas drenan las aguas pluviales temporalmente hacia los valles. Algunas de estas quebradas cruzan parte del área de estudio y, generalmente, tienen secciones transversales con pendientes muy variables; y el fondo de las mismas contiene depósitos cuaternarios y permiten drenar las aguas hacia los ríos (Área de geología Yura, 2023)

3.5.4.3. Penillanura de Arequipa

Es una superficie suavemente ondulada de forma triangular comprendida entre las localidades de Arequipa, Yura y la confluencia de los ríos Chili y Yura; además está rodeada de cerros altos que forman parte de la cordillera de laderas y del arco de Barroso; se encuentra formada por los tufos de los volcánicos Sencca, los cuales ocuparon una depresión originada posiblemente por erosión (Área de geología Yura, 2023)

3.5.4.4. Arco volcánico del barroso

Es una cadena de montañas agrestes de origen volcánico siguiendo un alineamiento circular con concavidad hacia el océano Pacífico; los aparatos volcánicos se elevan con respecto al nivel de mar desde los 2800 msnm, y presentan un sistema de drenaje de diseño radial. La erosión glaciaria parece no haber modificado el relieve, quedando los indicios, como casquetes de hielo, circundando las partes más elevadas (Área de geología Yura, 2023)

3.6. Descripción de los componentes que conforman el proyecto

A continuación, se mencionan los principales componentes que conforman las instalaciones de Yura S.A.:

- Cantera de caliza (Ludmirca y Ojule), yeso (Bonanza), pizarra y puzolana
- Planta industrial
- Líneas de transmisión eléctrica.

La explotación de las canteras de caliza (Ludmirca y Ojule), la cantera de yeso, y la trituración primaria de estos minerales no metálicos, se desarrolla al noroeste de la ciudad de Arequipa, aprox. a 53 km de distancia, desde el centro de la ciudad, y a 28 km del poblado de Yura, donde se ubica la planta industrial. Territorialmente se ubica en la región y provincia de Arequipa, en el distrito de Yura.

La planta industrial se ubica en el distrito de Yura, provincia de Arequipa, departamento de Arequipa. Así mismo, la cantera de pizarra se localiza aproximadamente en línea recta a 0,8 km al noroeste de la planta industrial de Yura S.A. y al margen derecho del río Yura; mientras que la cantera de puzolana se ubica a 0.6 km al sur de la planta industrial. Las actuales instalaciones de Yura S.A. comprenden también, tres (3) líneas de transmisión, las cuales tienen el objetivo de llevar el suministro eléctrico a las instalaciones de la planta industrial de Yura S.A. y a las canteras, previamente mencionadas. La línea de transmisión en 138 kV permite dotar de suministro eléctrico con un voltaje de 138 kV a la planta industrial de Yura S.A., a partir de la energía proveniente del Sistema Interconectado Nacional-SEIN, desde la S.E. Santuario de 138 kV. La línea atraviesa los distritos de Alto Selva Alegre, Yanahuara, Cayma, Cerro Colorado y Yura, todos ubicados en la provincia de Arequipa, departamento de Arequipa, cruzando en su extremo Este la Reserva Nacional Salinas Aguada Blanca y su Zona de Amortiguamiento.

De igual forma, la línea de Subtransmisión 30 KV S.E. Yura — S.E. Cantera de Caliza, lleva el suministro de energía eléctrica de la sub-estación eléctrica Yura 138/33 Kv, que se encuentra ubicada a 100 metros de las instalaciones de la planta industrial de Yura S.A., hacia las canteras en forma permanente y confiable, en las áreas comprendidas dentro de su concesión ubicada en el distrito de Yura, Provincia y Departamento de Arequipa.

La vía de acceso principal hacia la planta industrial es la Carretera Interprovincial Arequipa – Juliaca. De igual forma, las vías de acceso interiores y hacia las canteras, se encuentran ya habilitadas.

Tabla 5: Ubicación de los componentes en las canteras

ITEM	TIPO DE COMPONENTE	ETAPA DEL PROCESO	COMPONENTES	COORDENADAS UTM DATUM WGS 84 ZONA 19S		AREA m2
				ESTE	NORTE	
1	COMPONENTES PRINCIPALES	EXPLOTACION Y EXTRACCION	CANtera LUDMIRCA	199 491	8 209 568	2 000 500
2			CANtera OJULE	200 665	8 210 158	366 500
3			CANtera DE YESO (BONANZA)	201 419	8 211 596	763 200
6		TRITURACION	PLANTA DE CHANCADO N°1 – CHANCADORA PRIMARIA ALLIS CHALMERS	199 135	8 209 232	18 233
7			PLANTA DE CHANCADO N°2 – CHANCADORA PRIMARIA THYSSEN KRUPP	199 107	8 208 842	12 587
8	COMPONENTES AUXILIARES		GALERIA FILTRANTE N° 5 – OJULE	200 956	8 211 242	75
9			GALERIA FILTRANTE N° 6 – LUDMIRCA	199 303	8 208 520	75
10			RESERVORIO DE AGUA AREAS VERDES	198 834	8 209 042	8
11			RESERVORIO DE AGUA POTABLE	198 840	8 209 044	14
12			RESERVORIO DE AGUA CAMPAMENTO BONANZA	200 599	8 209 977	28
13			RESERVORIO DE AGUA DEL PROCESO	199 263	8 209 049	9
14			DEPÓSITO (EX ALMACÉN DE GASOLINA)	198 869	8 209 057	9
15			BOTADERO SABANCAYA	199 182	8 210 190	32 966
16			ALMACEN TEMPORAL DE RESIDUOS	199 248	8 208 600	4 444
17			GRUPO ELECTROGENO CATERPILLAR	198 831	8 209 038	20
18			BALANZAS ELECTRONICAS CANTERAS	198 841	8 208 534	460
19			ALMACEN DE ANFO	200 015	8 210 304	149
20			ALMACEN DE NITRATO	200 029	8 210 304	87
21			POLVORIN 1	200 058	8 210 292	34
22			POLVORIN 2	199 985	8 210 168	20
23			POLVORIN 3	199 988	8 210 189	24
24			OFICINAS CANTERAS	198 857	8 209 003	620
25			OFICINA DE SEGURIDAD PATRIMONIAL	198 903	8 209 031	10
26			TALLER DE MANTENIMIENTO	198 815	8 208 907	783
27			CAMPAMENTO BONANZA	200 486	8 210 016	10 676
28			SUBESTACION ELECTRICA CANTERAS	199 044	8 208 551	126
29			GRIFO D2B	198 902	8 209 017	105
30			BIODIGESTOR	196 924	8 208 982	8
31			VIAS Y ACCESOS	—	—	—

Fuente: Yura S.A. (2023)

3.7. Descripción de las actividades de explotación

La principal materia prima para la fabricación de clínker es la caliza, la cual es extraída de las canteras Ludmirca y Ojule. En menor medida se realiza la explotación de las canteras de yeso, pizarra y puzolana, por ser materiales aditivos para la fabricación del cemento.

En las canteras de caliza y yeso, ubicadas al noroeste de la planta industrial, el proceso de explotación de los minerales no metálicos se realiza a cielo abierto (tajo).

La extracción de caliza y yeso abarca procesos y operaciones de perforación, voladura, acarreo y chancado del mineral no metálico.

Por otro lado, los materiales como la pizarra y puzolana se extraen de las canteras ubicadas cerca de la planta industrial mediante el método de corte y apilado; y posteriormente, son trasladadas a la planta industrial para los procesos de trituración y molienda, según corresponda.

Para la realización de estos procesos y operaciones, Yura S.A. cuenta con las certificaciones ambientales que justifican sus operaciones. De igual forma, los procesos y operaciones cuentan con la infraestructura e instalaciones de apoyo necesarias para las actividades arriba descritas.

A continuación, se detallan las etapas operativas de la explotación de los minerales no metálicos en las canteras de caliza y yeso.

3.7.1. Perforación y voladura

La explotación de las canteras se ejecuta mediante el método de Tajo Abierto, por lo que las operaciones se inician con la perforación mecánica. Para la perforación, se utilizan taladros

desde 3,5” hasta 5” de diámetro. Luego se procede con la voladura; para ello, se utiliza explosivo ANFO (nitrato de amonio + petróleo), el explosivo más utilizado en la minería a cielo abierto. Se procede a colocar booster o dinamita y se utiliza el cordón detonante para el amarre de todas las líneas troncales; de igual forma, para las líneas descendentes, se dispone de FANEL (fulminante antiestático no eléctrico) o cordón detonante. Posteriormente, se inicia el disparo, logrando así fragmentar la caliza, el yeso y el desbroce, conformando bancos escalonados. El desbroce fragmentado es cargado y acarreado hacia el botadero, utilizando cargadores frontales y volquetes, de acuerdo con la distancia.

Para fragmentar la caliza, desbroce y yeso en los bancos se usa la voladura convencional con un factor de carga (explosivos) entre 0,18 y 0,25 kg/TM. Así mismo, en la preparación del ANFO se utiliza un (01) gal de biodiesel B5 por cada saco de 50 kg de nitrato de amonio.

Para la producción actual, normalmente se realizan seis (6) disparos al mes; cada proyecto de voladura es de aproximadamente 200 taladros, los cuales utilizan un promedio de 70 kg de explosivo (ANFO) por taladro. Para abastecer la máxima capacidad de la trituradora (capacidad práctica), que es de 2000 TMH, se requiere realizar entre 9 y 10 disparos al mes y aproximadamente 63,96 gal/día de biodiesel B5.

Imagen 2: Perforación mecánica



3.7.2. Carguío y acarreo de desbroce a botaderos

El material de desbroce es cargado y acarreado hacia el botadero, para lo cual se necesitan cargadores frontales y volquetes de acuerdo con la distancia. Si el material se encuentra amarrado por cuestiones geológicas, se utiliza un tractor para poder aflojar el material y no tenga dificultad de ingresar el equipo de carguío.

3.7.3. Carguío y acarreo de caliza y yeso a chancadoras

La caliza fragmentada es extraída de los frentes de minado con cargadores frontales o excavadores. Para el acarreo se utilizan volquetes de 50-55 TM, los cuales conducen el material al área de echaderos y/o canchas respectivas para la acumulación temporal del mismo.

La caliza derribada a niveles inferiores es finalmente cargada y acarreada hacia la chancadora primaria, y para lo cual se utiliza cargadores frontales y volquetes.

Por otro lado, el yeso volado es cargado y acarreado a la chancadora Allis Challmers, ubicada cerca de las canteras, o a la chancadora de la planta industrial. El material chancado es depositado en canchas para su posterior traslado a planta según requerimiento.

Imagen 3: Carguío de caliza



3.7.4. Trituración o chancado primario

Para la trituración de caliza se tiene una chancadora de impacto, marca Thyssen Krupp 24" x 36", de 1600 TMH como capacidad nominal y 2000 TMH de capacidad práctica. Esta chancadora cuenta con un GeoScan, para la lectura en línea de la calidad del material triturado en una frecuencia establecida. El suministro de energía se realiza directamente con energía eléctrica.

Por su parte, la trituradora cónica de marca Allis Chalmers de 36" x 55", de 800 TMH de capacidad aprox. instalada, se utiliza para triturar yeso, y solo triturará caliza en los casos que se requiera cuando no esté en operación la chancadora Thyssen Krupp. Para mitigar la generación de material particulado al ambiente, se cuenta con unos aspersores de agua que humedecen el material que ingresa a la chancadora. Funciona con grupo electrógeno o con energía eléctrica de la LT de 30 kV.

Posteriormente, en la faja de apilamiento se hará una acumulación del material chancado sobre el túnel de descarga o despacho. En ambas chancadoras se cuenta con pila de material chancado.

3.7.5. Carguío y transporte de material a planta industrial

En cada túnel de despacho ingresan los dumpers, y a través de compuertas automatizadas se realiza el despacho de la caliza. Los dumpers son pesados antes y después de cargar el mineral, en un sistema de pesaje que comprende dos balanzas ubicadas al ingreso de la cantera. Cuando los dumpers están vacíos, se pesan una vez al mes y cuando se encuentran cargados del material, se pesan todas las veces.

Por otro lado, el yeso volado o triturado en cantera es cargado en el dumper o volquete. Al igual que la caliza, el material es pesado antes de ser trasladado a la planta industrial.

El transporte del material a planta industrial es realizado por una vía afirmada que tiene un ancho de 7 m, es de doble carril y su longitud total de recorrido es de aproximadamente 24,6 Km.

3.7.6. Trituración secundaria de caliza y/o yeso

Para el proceso de chancado se utiliza las chancadoras fijas (Krupp y O&K) o las chancadoras portátiles (KPI y Terex). Este proceso se realiza en la planta cuando en la cantera el material no ha sido triturado o se ha triturado en la chancadora Allis Chalmers.

La chancadora O&K procesa caliza o algún otro material que se trabaje en pocas cantidades (yeso o pizarra). La chancadora Krupp solo tritura yeso común. En las chancadoras portátiles se triturará pizarra extraída, yeso extraído y preparado, caliza de 4", u otro material que se requiera.

La alimentación de caliza a las chancadoras fijas puede ser directamente de los dumpers que vienen de las canteras, del patio lineal o de volquetes que transportan el material desde las canchas Oasis. La caliza triturada de 4" a un promedio menor de 2" es llevada por fajas transportadoras al apilador circular (pre-homogeneizador PHB) y de allí, por fajas, hacia las tolvas de alimentación al molino de crudos.

Cuando se requiera, se utilizarán las chancadoras portátiles; las que no tendrán una ubicación fija.

3.7.7. Listado de maquinaria y equipos

A continuación, se presenta la maquinaria pesada, los equipos y vehículos de carga que actualmente se encuentran en operación en las canteras:

Tabla 6: Equipos, maquinarias y vehículos en las canteras

Actividad	Equipo	N° de Equipos
Trituración	Chancadoras Allis Challmers y Thyssen Krupp	2
	Grupo Electrónico (chancadora Allis Chalmers)	1
Perforación	Perforadoras a orugas	2
	Perforadora Neumática-Hidráulica	1
	Perforadora Neumática a Orugas	1
Voladura	Camión de Explosivos	1
Derribo	Tractor de orugas	2
Carguío y acarreo	Cargador frontal	5
	Excavadoras	3
	Camión de volteo posterior (volquetes)	7
Pesado de camiones	Balanzas electrónicas	2
Mantenimiento de vías	Motoniveladora CAT	1
	Retroexcavadora	1
Riego de vías	Cisterna	2
Supervisión	Camionetas	3

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis de las variables operacionales

Durante la elaboración del presente trabajo de investigación se tomó como referencia el segundo y tercer trimestre de operación de la cantera de Yura, considerando las voladuras de abril, mayo y junio (escenario anterior) y julio, agosto y septiembre del 2023 como (escenario después).

4.2. Descripción de las pruebas experimentales

Se realizará implementando el método de derribo para aumentar la producción de caliza triturada en la chancadora primaria con las voladuras del tercer trimestre, con lo cual ayudará al aumento del rendimiento de la trituración con una disminución de su consumo de energía por hora al tener menor esfuerzo en triturar el material voladura debido a la menor fragmentación. Ajustar los parámetros de voladura y de la chancadora basándose en los resultados obtenidos para maximizar la producción.

Tabla 7: Parámetros del segundo trimestre

Mes	T/H	Kw/H	kg/T	\$/T	P80
Mes 1	1447	16.6	0.407	3.15	23
Mes 2	1445	16.6	0.408	3.13	22
Mes 3	1458	16.6	0.408	3.14	22
Total	1,450	16.6	0.408	3.14	22

Nota. Parámetros de producción, consumo de energía, fragmentación, factor de potencia y costo de voladura de los meses de abril, mayo y junio del 2023.

Tabla 8: Parámetros del tercer trimestre

Mes	T/H	Kw/H	kg/T	\$/T	P80
Mes 1	1604	15.4	0.267	3.02	13
Mes 2	1604	15.5	0.272	3.01	14
Mes 3	1596	15.5	0.277	3.04	14
Total	15	15.4	15.429	15.43	15

Nota. Parámetros de producción, consumo de energía, fragmentación, factor de potencia y costo de voladura de los meses de julio, agosto y septiembre del 2023.

Tabla 9: Parámetros abril 2023

Mes	Fecha	T/H	KW/H	P80	KG/T	\$/T
Abril	1/04/2023	1,480	16.3	25.0	0.412	3.32
Abril	2/04/2023	1,472	16.6	24.0	0.401	3.14
Abril	3/04/2023	1,437	16.8	21.0	0.410	3.23
Abril	4/04/2023	1,425	16.6	23.0	0.408	3.16
Abril	5/04/2023	1,405	16.5	25.0	0.403	3.30
Abril	6/04/2023	1,463	16.3	25.0	0.403	3.01
Abril	7/04/2023	1,406	16.1	24.0	0.402	3.06
Abril	8/04/2023	1,448	16.7	20.0	0.404	3.06
Abril	9/04/2023	1,429	16.4	24.0	0.409	3.12
Abril	10/04/2023	1,499	16.2	20.0	0.404	3.06
Abril	11/04/2023	1,446	17.1	25.0	0.401	3.09
Abril	12/04/2023	1,478	17.1	24.0	0.406	3.11
Abril	13/04/2023	1,468	16.6	22.0	0.407	3.32
Abril	14/04/2023	1,432	16.1	20.0	0.402	3.12
Abril	15/04/2023	1,459	16.5	24.0	0.407	3.20
Abril	16/04/2023	1,479	16.1	21.0	0.409	3.04
Abril	17/04/2023	1,439	16.1	23.0	0.410	3.12
Abril	18/04/2023	1,439	16.2	22.0	0.412	3.09
Abril	19/04/2023	1,405	16.6	20.0	0.411	3.31
Abril	20/04/2023	1,446	16.5	21.0	0.412	3.11
Abril	21/04/2023	1,416	16.3	22.0	0.412	3.06
Abril	22/04/2023	1,452	16.4	25.0	0.413	3.20
Abril	23/04/2023	1,481	16.9	23.0	0.401	3.08
Abril	24/04/2023	1,482	16.9	25.0	0.412	3.13
Abril	25/04/2023	1,493	16.8	23.0	0.405	3.19
Abril	26/04/2023	1,409	16.4	21.0	0.401	3.10
Abril	27/04/2023	1,442	17.0	25.0	0.413	3.24
Abril	28/04/2023	1,409	17.0	23.0	0.413	3.18
Abril	29/04/2023	1,418	17.0	23.0	0.404	3.31
Abril	30/04/2023	1,466	17.1	22.0	0.409	3.18
PROMEDIO		1,447	16.6	22.8	0.407	3.15

Nota. Parámetros de producción, consumo de energía, fragmentación, factor de potencia y costo de voladura de abril del 2023.

Tabla 10: Parámetros mayo 2023

Mes	Fecha	T/H	KW/H	P80	KG/T	\$/T
Mayo	1/05/2023	1,427	16.1	22.0	0.412	3.07
Mayo	2/05/2023	1,451	16.3	23.0	0.412	3.12
Mayo	3/05/2023	1,432	16.1	25.0	0.410	3.11
Mayo	4/05/2023	1,442	16.1	23.0	0.412	3.11
Mayo	5/05/2023	1,431	17.0	22.0	0.405	3.03
Mayo	6/05/2023	1,437	16.9	20.0	0.408	3.27
Mayo	7/05/2023	1,427	17.1	21.0	0.407	3.10
Mayo	8/05/2023	1,436	16.9	20.0	0.409	3.10
Mayo	9/05/2023	1,483	16.4	20.0	0.411	3.16
Mayo	10/05/2023	1,436	16.6	24.0	0.412	3.15
Mayo	11/05/2023	1,493	17.1	24.0	0.405	3.05
Mayo	12/05/2023	1,430	17.0	22.0	0.410	2.99
Mayo	13/05/2023	1,445	16.7	23.0	0.402	3.00
Mayo	14/05/2023	1,420	17.1	20.0	0.407	3.11
Mayo	15/05/2023	1,412	16.9	22.0	0.413	3.09
Mayo	16/05/2023	1,464	16.8	21.0	0.410	3.20
Mayo	17/05/2023	1,470	16.3	21.0	0.410	3.28
Mayo	18/05/2023	1,452	16.1	20.0	0.411	3.21
Mayo	19/05/2023	1,456	17.1	21.0	0.411	3.18
Mayo	20/05/2023	1,437	16.4	23.0	0.404	3.12
Mayo	21/05/2023	1,414	16.1	20.0	0.401	2.96
Mayo	22/05/2023	1,439	16.2	25.0	0.400	3.07
Mayo	23/05/2023	1,414	16.2	23.0	0.404	3.21
Mayo	24/05/2023	1,464	16.3	23.0	0.400	3.24
Mayo	25/05/2023	1,449	16.8	21.0	0.411	3.21
Mayo	26/05/2023	1,470	16.3	23.0	0.406	3.20
Mayo	27/05/2023	1,465	16.5	21.0	0.407	3.05
Mayo	28/05/2023	1,428	16.4	23.0	0.409	3.00
Mayo	29/05/2023	1,424	16.5	25.0	0.411	3.18
Mayo	30/05/2023	1,472	17.1	21.0	0.408	3.14
Mayo	31/05/2023	1,489	16.5	21.0	0.413	3.29
PROMEDIO		1,445	16.6	22.0	0.408	3.13

Nota. Parámetros de producción, consumo de energía, fragmentación, factor de potencia y costo de voladura de mayo del 2023.

Tabla 11: Parámetros junio 2023

Mes	Fecha	T/H	KW/H	P80	KG/T	\$/T
Junio	1/06/2023	1,490	16.4	21.0	0.409	3.13
Junio	2/06/2023	1,441	16.7	21.0	0.402	2.96
Junio	3/06/2023	1,461	16.3	22.0	0.410	2.99
Junio	4/06/2023	1,445	16.5	23.0	0.401	3.12
Junio	5/06/2023	1,409	16.7	24.0	0.412	3.28
Junio	6/06/2023	1,433	16.9	21.0	0.411	3.05
Junio	7/06/2023	1,483	16.1	22.0	0.412	3.10
Junio	8/06/2023	1,443	16.3	25.0	0.410	3.05
Junio	9/06/2023	1,468	16.4	22.0	0.412	3.25
Junio	10/06/2023	1,494	16.8	20.0	0.409	3.14
Junio	11/06/2023	1,405	16.7	20.0	0.406	3.25
Junio	12/06/2023	1,497	16.9	23.0	0.410	3.15
Junio	13/06/2023	1,459	16.1	24.0	0.406	3.25
Junio	14/06/2023	1,495	16.6	21.0	0.408	3.31
Junio	15/06/2023	1,428	17.0	20.0	0.405	3.18
Junio	16/06/2023	1,453	16.2	24.0	0.408	3.15
Junio	17/06/2023	1,450	16.2	21.0	0.410	2.98
Junio	18/06/2023	1,441	17.1	20.0	0.403	3.28
Junio	19/06/2023	1,486	16.7	23.0	0.408	3.27
Junio	20/06/2023	1,413	16.9	25.0	0.405	3.13
Junio	21/06/2023	1,492	17.0	20.0	0.412	3.24
Junio	22/06/2023	1,437	16.8	25.0	0.405	3.20
Junio	23/06/2023	1,439	16.8	21.0	0.404	3.01
Junio	24/06/2023	1,486	16.3	22.0	0.411	3.08
Junio	25/06/2023	1,498	16.9	23.0	0.403	3.19
Junio	26/06/2023	1,479	16.7	24.0	0.410	3.28
Junio	27/06/2023	1,465	16.5	23.0	0.407	3.18
Junio	28/06/2023	1,408	16.4	20.0	0.405	2.97
Junio	29/06/2023	1,494	16.5	22.0	0.408	3.07
Junio	30/06/2023	1,448	16.5	21.0	0.405	2.98
PROMEDIO		1,458	16.6	22.1	0.408	3.14

Nota. Parámetros de producción, consumo de energía, fragmentación, factor de potencia y costo de voladura de junio del 2023.

Tabla 12: Parámetros julio 2023

Mes	Fecha	T/H	KW/H	P80	KG/T	\$/T
Julio	1/07/2023	1,616	15.9	13.0	0.252	2.89
Julio	2/07/2023	1,611	15.2	12.0	0.281	2.87
Julio	3/07/2023	1,573	15.5	13.0	0.285	3.23
Julio	4/07/2023	1,609	16.0	13.0	0.259	2.87
Julio	5/07/2023	1,648	15.9	12.0	0.261	2.87
Julio	6/07/2023	1,640	15.9	12.0	0.268	2.80
Julio	7/07/2023	1,602	16.0	13.0	0.282	2.87
Julio	8/07/2023	1,640	15.3	13.0	0.260	3.09
Julio	9/07/2023	1,634	15.4	12.0	0.289	2.94
Julio	10/07/2023	1,556	15.4	13.0	0.258	3.17
Julio	11/07/2023	1,645	15.1	13.0	0.254	2.84
Julio	12/07/2023	1,590	15.7	12.0	0.252	2.86
Julio	13/07/2023	1,568	15.0	12.0	0.272	3.18
Julio	14/07/2023	1,579	15.1	14.0	0.263	3.16
Julio	15/07/2023	1,598	15.6	13.0	0.274	3.10
Julio	16/07/2023	1,588	15.0	15.0	0.269	3.16
Julio	17/07/2023	1,620	15.5	12.0	0.269	2.92
Julio	18/07/2023	1,584	15.1	15.0	0.264	2.83
Julio	19/07/2023	1,571	15.1	12.0	0.264	3.19
Julio	20/07/2023	1,582	15.1	13.0	0.278	3.08
Julio	21/07/2023	1,629	15.0	13.0	0.251	2.90
Julio	22/07/2023	1,630	15.4	12.0	0.255	3.01
Julio	23/07/2023	1,570	15.4	13.0	0.262	3.15
Julio	24/07/2023	1,582	15.0	13.0	0.263	3.05
Julio	25/07/2023	1,629	15.0	15.0	0.261	3.25
Julio	26/07/2023	1,594	15.8	13.0	0.286	2.95
Julio	27/07/2023	1,564	15.9	12.0	0.255	3.26
Julio	28/07/2023	1,613	15.1	12.0	0.276	3.08
Julio	29/07/2023	1,630	16.0	12.0	0.288	3.14
Julio	30/07/2023	1,650	15.5	13.0	0.278	2.92
Julio	31/07/2023	1,588	15.4	12.0	0.261	2.99
PROMEDIO		1,604	15.4	12.8	0.267	3.02

Nota. Parámetros de producción, consumo de energía, fragmentación, factor de potencia y costo de voladura de julio del 2023.

Tabla 13: Parámetros agosto 2023

Mes	Fecha	T/H	KW/H	P80	KG/T	\$/T
Agosto	1/08/2023	1,637	15.6	15.0	0.288	2.91
Agosto	2/08/2023	1,605	15.9	15.0	0.272	3.15
Agosto	3/08/2023	1,552	16.0	14.0	0.258	3.00
Agosto	4/08/2023	1,611	15.7	15.0	0.284	3.14
Agosto	5/08/2023	1,557	15.6	14.0	0.265	3.06
Agosto	6/08/2023	1,637	15.1	12.0	0.268	2.96
Agosto	7/08/2023	1,636	15.7	14.0	0.278	3.02
Agosto	8/08/2023	1,621	15.6	13.0	0.260	2.96
Agosto	9/08/2023	1,579	15.6	12.0	0.278	3.08
Agosto	10/08/2023	1,631	15.5	15.0	0.286	2.94
Agosto	11/08/2023	1,634	15.4	15.0	0.279	2.95
Agosto	12/08/2023	1,592	15.6	13.0	0.279	3.14
Agosto	13/08/2023	1,581	15.1	13.0	0.278	2.85
Agosto	14/08/2023	1,568	16.0	12.0	0.267	2.96
Agosto	15/08/2023	1,611	15.0	14.0	0.272	2.88
Agosto	16/08/2023	1,626	15.8	14.0	0.268	2.90
Agosto	17/08/2023	1,557	15.7	15.0	0.260	2.88
Agosto	18/08/2023	1,607	15.3	12.0	0.272	2.87
Agosto	19/08/2023	1,559	15.6	13.0	0.271	3.20
Agosto	20/08/2023	1,600	15.0	12.0	0.266	3.17
Agosto	21/08/2023	1,632	15.3	12.0	0.271	3.26
Agosto	22/08/2023	1,635	15.1	14.0	0.270	2.87
Agosto	23/08/2023	1,632	15.4	15.0	0.286	2.88
Agosto	24/08/2023	1,632	15.6	15.0	0.280	3.08
Agosto	25/08/2023	1,606	15.7	13.0	0.264	3.06
Agosto	26/08/2023	1,624	15.4	12.0	0.260	3.07
Agosto	27/08/2023	1,601	15.6	15.0	0.251	3.17
Agosto	28/08/2023	1,593	15.1	14.0	0.284	3.05
Agosto	29/08/2023	1,578	15.6	12.0	0.251	2.98
Agosto	30/08/2023	1,641	15.3	15.0	0.288	3.11
Agosto	31/08/2023	1,558	15.6	12.0	0.283	2.86
PROMEDIO		1,604	15.5	13.6	0.272	3.01

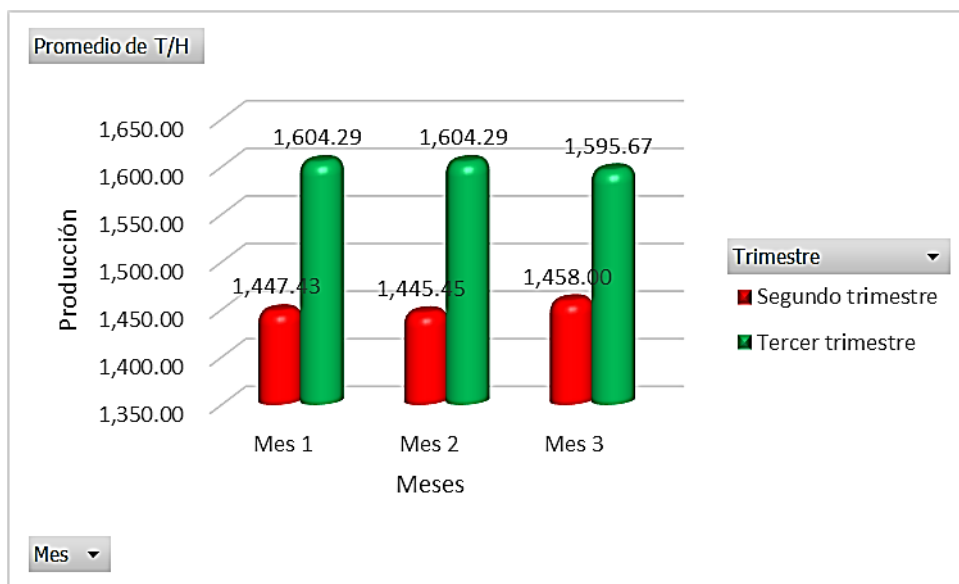
Nota. Parámetros de producción, consumo de energía, fragmentación, factor de potencia y costo de voladura de agosto del 2023.

Tabla 14: Parámetros septiembre 2023

Mes	Fecha	T/H	KW/H	P80	KG/T	\$/T
Septiembre	1/09/2023	1,626	15.6	15.0	0.255	3.06
Septiembre	2/09/2023	1,596	15.7	13.0	0.274	3.10
Septiembre	3/09/2023	1,618	15.6	15.0	0.290	3.22
Septiembre	4/09/2023	1,590	15.6	12.0	0.289	2.98
Septiembre	5/09/2023	1,577	15.2	13.0	0.283	3.16
Septiembre	6/09/2023	1,599	15.5	13.0	0.253	3.17
Septiembre	7/09/2023	1,575	16.0	15.0	0.278	2.93
Septiembre	8/09/2023	1,650	15.7	15.0	0.288	2.89
Septiembre	9/09/2023	1,626	15.3	15.0	0.274	2.97
Septiembre	10/09/2023	1,575	15.0	15.0	0.266	3.17
Septiembre	11/09/2023	1,552	15.9	13.0	0.264	3.17
Septiembre	12/09/2023	1,555	15.2	15.0	0.284	3.07
Septiembre	13/09/2023	1,639	15.2	12.0	0.285	2.91
Septiembre	14/09/2023	1,630	16.0	12.0	0.262	2.98
Septiembre	15/09/2023	1,564	16.0	14.0	0.268	2.82
Septiembre	16/09/2023	1,611	15.3	12.0	0.286	3.11
Septiembre	17/09/2023	1,602	15.7	13.0	0.288	2.89
Septiembre	18/09/2023	1,634	15.1	14.0	0.282	2.86
Septiembre	19/09/2023	1,563	15.2	12.0	0.278	3.07
Septiembre	20/09/2023	1,552	15.4	13.0	0.277	3.12
Septiembre	21/09/2023	1,619	15.2	12.0	0.264	2.86
Septiembre	22/09/2023	1,561	15.0	12.0	0.286	3.27
Septiembre	23/09/2023	1,558	15.1	13.0	0.287	3.05
Septiembre	24/09/2023	1,566	15.7	12.0	0.264	3.21
Septiembre	25/09/2023	1,555	15.6	14.0	0.290	2.98
Septiembre	26/09/2023	1,615	15.9	15.0	0.277	3.03
Septiembre	27/09/2023	1,620	15.5	13.0	0.257	3.05
Septiembre	28/09/2023	1,589	15.9	14.0	0.273	2.93
Septiembre	29/09/2023	1,639	15.0	15.0	0.286	2.84
Septiembre	30/09/2023	1,614	15.3	14.0	0.289	3.18
PROMEDIO		1,596	15.5	13.5	0.277	3.04

Nota. Parámetros de producción, consumo de energía, fragmentación, factor de potencia y costo de voladura de septiembre del 2023.

Figura 1: Producción



Nota. Producción de los meses del segundo vs tercer trimestre del 2023.

Este gráfico compara el rendimiento promedio mensual del proceso de chancado primario antes y después de aplicar el método de derribo. Las columnas verdes (tercer trimestre) muestran consistentemente valores superiores a las rojas (segundo trimestre), lo que confirma una mejora en la eficiencia operativa.

Mes 1:

- Segundo trimestre (abril): 1,447.43 T/H
- Tercer trimestre (julio): 1,604.29 T/H
- Incremento: +156.86 T/H (~10.83%)

Comentario: El aumento del rendimiento promedio es notable, lo cual indica una mejora significativa en el proceso de acarreo y fragmentación desde el primer mes de implementación del método de derribo.

Mes 2:

- Segundo trimestre (mayo): 1,445.45 T/H
- Tercer trimestre (agosto): 1,604.29 T/H
- Incremento: +158.84 T/H (~10.99%)

Comentario: El rendimiento se mantiene igual al del mes anterior, lo que refleja estabilidad operativa y consolidación del nuevo proceso. Este resultado sugiere que el método de derribo permitió una operación más continua y sin interrupciones.

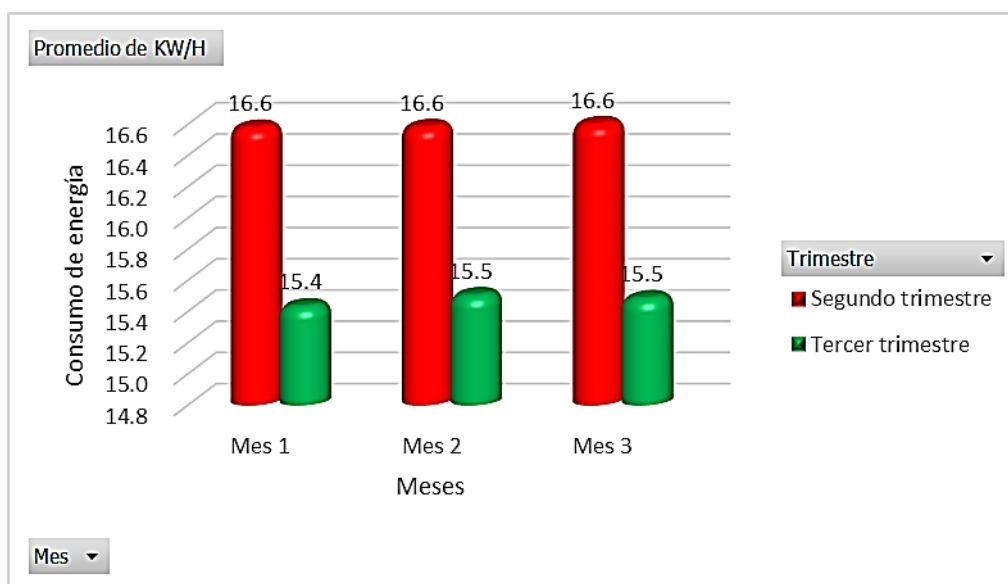
Mes 3:

- Segundo trimestre (junio): 1,458.00 T/H
- Tercer trimestre (septiembre): 1,595.67 T/H
- Incremento: +137.67 T/H (~9.45%)

Comentario: Aunque el incremento es ligeramente menor, el rendimiento promedio sigue siendo alto, lo que evidencia la sostenibilidad del método implementado.

El promedio de producción horaria aumentó significativamente en todos los meses del tercer trimestre, con una mejora promedio del 10.42% en comparación con el segundo trimestre. Esto demuestra que el método de derribo no solo aumentó el volumen total producido, sino también el rendimiento promedio por hora, mejorando la eficiencia del proceso de chancado y optimizando el uso del tiempo operativo.

Figura 2: Consumo de energía



Nota. Consumo de energía de los meses del segundo vs tercer trimestre del 2023.

Este gráfico evidencia una clara reducción en el consumo energético promedio tras la implementación del método de derribo, lo cual demuestra que este cambio operativo no solo aumentó la productividad, sino que también mejoró la eficiencia energética del proceso de chancado primario.

Mes 1:

- Segundo trimestre (abril): 16.6 kW/h
- Tercer trimestre (julio): 15.4 kW/h
- Reducción: 1.2 kW/h (~7.23%)

Comentario: Se aprecia una disminución significativa en el consumo energético, asociada a una mejor fragmentación del material volado, lo que facilita el trabajo de la chancadora y reduce el esfuerzo requerido por el motor.

Mes 2:

- Segundo trimestre (mayo): 16.6 kW/h
- Tercer trimestre (agosto): 15.5 kW/h
- Reducción: 1.1 kW/h (~6.63%)

Comentario: El consumo se mantiene bajo en el segundo mes del tercer trimestre, evidenciando que la eficiencia lograda con el método de derribo fue sostenible y no un resultado aislado.

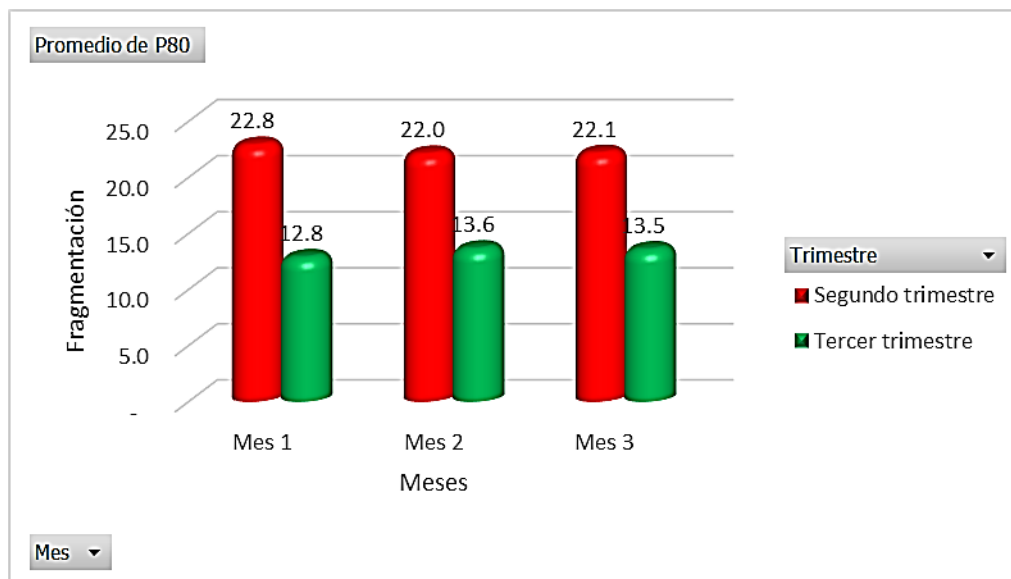
Mes 3:

- Segundo trimestre (junio): 16.6 kW/h
- Tercer trimestre (septiembre): 15.5 kW/h
- Reducción: 1.1 kW/h (~6.63%)

Comentario: Se repite la misma eficiencia energética observada en el mes anterior, lo que confirma la estabilidad del proceso optimizado durante el trimestre completo.

El método de derribo no solo elevó la producción, sino que también redujo en promedio un 6.71% el consumo de energía en el chancado primario. Esta mejora se atribuye principalmente a una mejor fragmentación del material, que permite a la chancadora trabajar con menor resistencia y, por tanto, menor demanda energética.

Figura 3: Fragmentación



Nota. Fragmentación de los meses del segundo vs tercer trimestre del 2023.

El gráfico presenta una mejora significativa en la fragmentación del material tras la aplicación del método de derribo, representada por la reducción del valor de P80 en todos los meses del tercer trimestre. Esta métrica indica que el 80% del material volado tiene un tamaño inferior al valor indicado, por lo tanto, una disminución del P80 implica una fragmentación más fina y controlada, lo cual mejora el rendimiento del chancado primario.

Mes 1:

- Segundo trimestre (abril): 22.8 pulgadas
- Tercer trimestre (julio): 12.8 pulgadas
- Reducción: 10.0 pulgadas (~43.86%)

Comentario: La implementación del método de derribo generó una notable mejora en la fragmentación desde el primer mes. La reducción del P80 en casi un 44% sugiere una voladura más eficiente y direccionada.

Mes 2:

- Segundo trimestre (mayo): 22.0 pulgadas
- Tercer trimestre (agosto): 13.6 pulgadas
- Reducción: 8.4 pulgadas (~38.18%)

Comentario: Aunque la fragmentación fue ligeramente menos fina que el mes anterior, se mantiene una mejora significativa frente al segundo trimestre. Esto indica consistencia en la calidad de las voladuras ejecutadas con el método de derribo.

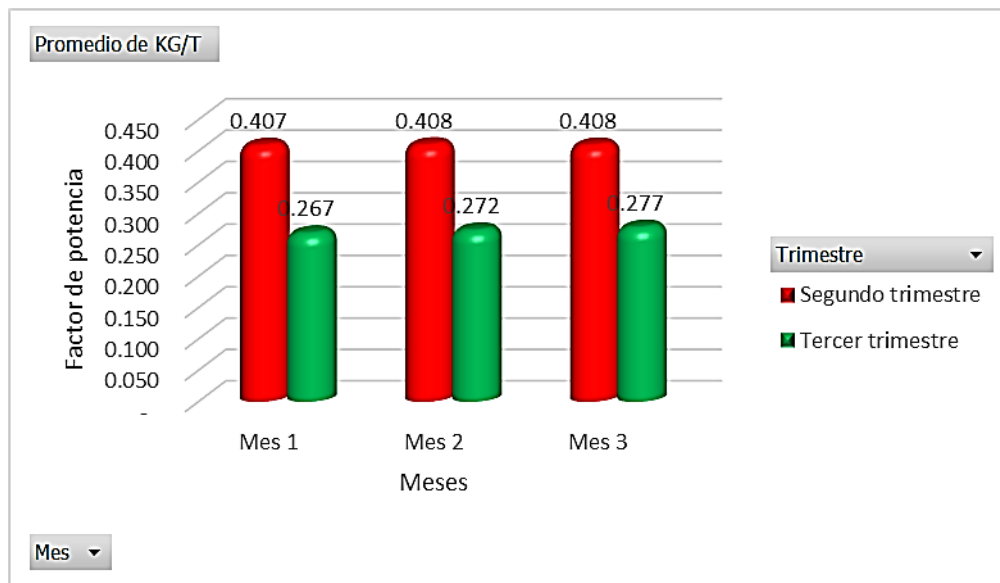
Mes 3:

- Segundo trimestre (junio): 22.1 pulgadas
- Tercer trimestre (septiembre): 13.5 pulgadas
- Reducción: 8.6 pulgadas (~38.91%)

Comentario: Se confirma la sostenibilidad del método en el tiempo, con valores de P80 constantemente por debajo de los obtenidos en el trimestre previo.

La fragmentación promedio mejoró drásticamente tras implementar el método de derribo, pasando de valores cercanos a 22 pulgadas a menos de 14 pulgadas. Esta reducción representa una mejora del 40.44% en el promedio de P80, lo que se traduce en menos esfuerzos para el chancado primario, menores atascos, menor consumo energético y mayor continuidad operativa.

Figura 4: Factor de Potencia



Nota. Factor de potencia de los meses del segundo vs tercer trimestre del 2023.

El factor de potencia representa la cantidad de explosivo utilizada por tonelada de roca volada. Un valor elevado puede indicar un uso excesivo de explosivos, lo cual puede incrementar los costos sin necesariamente mejorar la fragmentación. En cambio, un valor optimizado —como se observa en el tercer trimestre— indica un uso eficiente del explosivo, logrando buena fragmentación con menor consumo.

Mes 1:

- Segundo trimestre (abril): 0.407 kg/T
- Tercer trimestre (julio): 0.267 kg/T
- Reducción: 0.140 kg/T (~34.4%)

Comentario: La implementación del método de derribo permitió una reducción significativa en el uso de explosivos por tonelada, lo que refleja un diseño de voladura más eficiente desde el primer mes.

Mes 2:

- Segundo trimestre (mayo): 0.408 kg/T
- Tercer trimestre (agosto): 0.272 kg/T
- Reducción: 0.136 kg/T (~33.3%)

Comentario: Se mantiene la eficiencia en el uso del explosivo, consolidando una estrategia sostenida de ahorro sin afectar la calidad de la fragmentación.

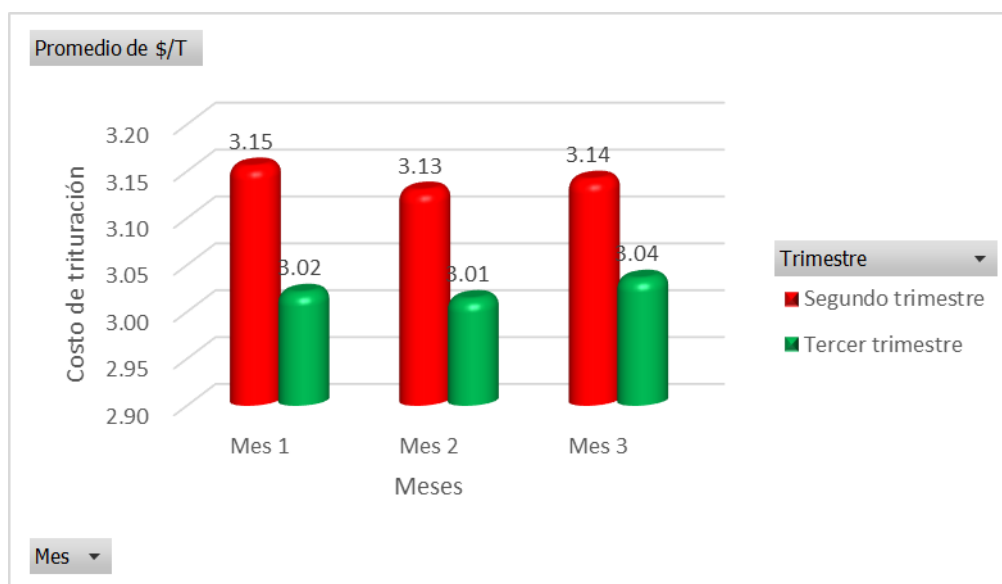
Mes 3:

- Segundo trimestre (junio): 0.408 kg/T
- Tercer trimestre (septiembre): 0.277 kg/T
- Reducción: 0.131 kg/T (~32.1%)

Comentario: Aunque la reducción es levemente menor, el patrón de disminución se sostiene, evidenciando un uso racional y constante del explosivo gracias a una mejor planificación y aplicación del método de derribo.

Durante los tres meses del tercer trimestre se observa una reducción promedio del 33.26% en el factor de potencia, lo que indica que se logró una fragmentación eficiente con menor cantidad de explosivo. Esta mejora tiene un impacto directo en la reducción de costos operativos y contribuye a una operación más sostenible.

Figura 5: Costo de trituración



Nota. Costo de trituración de los meses del segundo vs tercer trimestre del 2023.

Este gráfico presenta la evolución mensual del costo unitario de chancado primario por tonelada. Se observa una reducción constante en los tres meses del tercer trimestre, coincidiendo con la implementación del método de derribo, lo cual mejora la eficiencia del proceso al facilitar una fragmentación más fina y uniforme del material.

Mes 1:

- Segundo trimestre (abril): \$3.15/T
- Tercer trimestre (julio): \$3.02/T
- Reducción: \$0.13/T (~4.13%)

Comentario: Desde el primer mes se observa una reducción del costo de trituración, asociada a la menor resistencia del material volado gracias a una mejor fragmentación.

Mes 2:

- Segundo trimestre (mayo): \$3.13/T
- Tercer trimestre (agosto): \$3.01/T
- Reducción: \$0.12/T (~3.83%)

Comentario: La mejora se mantiene, reflejando estabilidad y eficiencia operativa, lo cual es consistente con los resultados de fragmentación y consumo energético.

Mes 3:

- Segundo trimestre (junio): \$3.14/T
- Tercer trimestre (septiembre): \$3.04/T
- Reducción: \$0.10/T (~3.18%)

Comentario: Se continúa con la tendencia de reducción de costos, lo que confirma la eficacia sostenida del método de derribo para mejorar el proceso de trituración.

En conjunto, el tercer trimestre presentó un costo de trituración más bajo en todos los meses respecto al segundo trimestre, con una reducción promedio del 3.78%. Esto se explica por la mejor fragmentación del material producto del método de derribo, que disminuye el esfuerzo requerido por la chancadora, reduce el consumo de energía y el desgaste de componentes.

4.1. Presentación y análisis de los resultados

4.1.1. Estadística aplicada para la demostración de la optimización

4.1.1.1. Análisis inferencial

Para el análisis inferencial de la producción del segundo y tercer trimestre del 2023, se aplicó los supuestos de continuidad y normalidad. Al respecto Kerlinger y Lee (2002) indican que los supuestos de continuidad y normalidad son aquellos que determinan el uso de datos estadísticos paramétricos y no paramétricos. Posteriormente se efectuó la contrastación de las hipótesis planteadas.

4.1.1.2. Supuesto de Continuidad

Los datos recolectados para la variable producción del segundo y tercer trimestre del 2023, son de naturaleza cuantitativa, la naturaleza de medición propia de las variables no se vio afectada, por tal motivo, se optó por el empleo de la estadística no paramétrica debido a que no se cumple con el supuesto de continuidad.

4.1.1.3. Supuesto de Normalidad

La prueba de normalidad se realizó con la aplicación del método de Kolmogorov Smirnov, el cual se aplica siempre y cuando el tamaño de las muestras sea mayor o igual a 30 unidades (Kerlinger, Lee, 2002), teniendo el presente estudio una muestra mayor a 30 datos. La prueba de normalidad se realizó introduciendo los datos de cada variable en el software estadístico SPSS 26.0, se halló la diferencia entre los resultados de las variables para poder ejecutar la prueba de kolmogorov Smirnov con un nivel de confiabilidad del 95%, bajo las siguientes condiciones:

Si:

-Sig. < 0.05 Adopta una distribución no normal

-Sig. \geq 0.05 Adopta una distribución normal

Donde:

-Sig. P-valor o nivel crítico del contraste

Los resultados de la prueba de normalidad fueron los siguientes:

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
G	,073	91	,200 [*]	,981	91	,222
*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.						
a. Corrección de significación de Lilliefors						

Tabla 15: Prueba de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov		
	Estadístico	gl	Sig.
Diferencia	,073	91	,000

Nota. Resultados de la prueba de normalidad.

En la tabla se puede observar el resultado de la prueba de normalidad para la diferencia de la producción del segundo y tercer trimestre del 2023, los cuales indican que la significación para los valores de producción del segundo y tercer trimestre del 2023 fue de 0.000, cuyo valor es menor que el error asumido de 0.05, lo que indica que los datos de ambas variables no tienen un comportamiento normal; por lo cual se optó por el empleo de pruebas no paramétricas.

4.1.1.4.Prueba de hipótesis

Uso de la prueba de hipótesis para la presente investigación:

La prueba de hipótesis es una regla que especifica cuando se puede aceptar o rechazar una afirmación sobre una población dependiendo de la evidencia proporcionada por una muestra de datos. La prueba de hipótesis examina dos hipótesis opuestas sobre una población: la hipótesis nula y la hipótesis alternativa.

Pasos para la prueba de hipótesis:

Paso 1: redacción de hipótesis

H_0 = No existe diferencia significativa en las medias de resultados de la producción del segundo y tercer trimestre del 2023.

H_1 = Existe una diferencia significativa en las medias de la producción del segundo y tercer trimestre del 2023.

Paso 2: definición del nivel alfa

Nivel alfa del 5 %

En notación decimal: 0.05

Paso 3: elección de la prueba

La prueba de T de Wilcoxon es una prueba no paramétrica para muestras relacionadas, es decir, se le aplican dos medidas en momentos diferentes de la producción del segundo y tercer trimestre del 2023; como es un estudio longitudinal, entonces las posibilidades de la prueba a utilizar se restringen a dos medidas, una medida antes y una medida después, es decir, la variable

de comparación. En este sentido, la prueba a utilizar es t de Wilcoxon para muestras relacionadas.

Paso 4: de la prueba de hipótesis calcular el valor de p

Tabla 16: Prueba estadística T de Wilcoxon

	Segundo – Tercer Trimestre 2023
Z	-8,258 ^b
Sig. asintótica (bilateral)	,000
Nota. Prueba	
α . Prueba de rangos con signo de Wilcoxon	
b. Se basa en rangos positivos.	

$$P \text{ Valor} = 0.000 < \alpha = 0.05$$

Si la probabilidad obtenida $P \text{ Valor} \leq \alpha$, se rechaza H_0 (se acepta H_1)

Si la probabilidad obtenida $P \text{ Valor} > \alpha$, no se rechaza H_0 (se acepta H_0)

Paso 5: decisión estadística

Existe diferencia significativa en las medias de la producción del segundo y tercer trimestre del 2023; es decir, la implementación del método de derribo sí tuvo un efecto significativo sobre la producción, por lo cual se puede concluir que existe diferencia estadísticamente significativa entre la producción del segundo y tercer trimestre del 2023 antes y después de implementar del método de derribo; por lo que se logró mejorar la producción.

Se puede definir lo siguiente:

Análisis comparativo de la producción antes y después de la implementación del método de derribo. En los siguientes cuadros se hace una comparación del total de producción en la

tritadora primaria de las diferencias entre el segundo y tercer trimestre del 2023 de los días y 30 días al mes para poder comparar el primer, segundo y tercer mes de los segundo y tercer trimestre.

En los resultados encontrados en la presente investigación se observó que la implementación de la estrategia del método de derribo es un 10.42% de aumento de producción en el tercer trimestre respecto del segundo trimestre.

4.1.1.5.Pruebas de validación del modelo experimental

Tabla 17: Validación del modelo experimental

	T/H	KW/H	P80	KG/T	\$/T
Mes 1	1,527	16.0	17.7	0.336	3.09
Segundo trimestre	1,447	16.6	22.8	0.407	3.15
Tercer trimestre	1,604	15.4	12.8	0.267	3.02
Mes 2	1,525	16.0	17.8	0.340	3.07
Segundo trimestre	1,445	16.6	22.0	0.408	3.13
Tercer trimestre	1,604	15.5	13.6	0.272	3.01
Mes 3	1,527	16.0	17.8	0.342	3.09
Segundo trimestre	1,458	16.6	22.1	0.408	3.14
Tercer trimestre	1,596	15.5	13.5	0.277	3.04
Total general	1,526	16.0	17.8	0.339	3.08
Variación Mes 1	10.84%	-6.90%	-43.91%	-34.33%	-4.27%
Variación Mes 2	10.99%	-6.50%	-38.36%	-33.31%	-3.70%
Variación Mes 3	9.44%	-6.73%	-38.91%	-32.14%	-3.36%
Segundo Trimestre	1,450	16.6	22.3	0.408	3.14
Tercer Trimestre	1,601	15.5	13.3	0.272	3.02
Variación 2 vs 3 trimestre	10.42%	-6.71%	-40.44%	-33.26%	-3.78%

Nota. Resultados de las pruebas de validación del modelo experimental.

De las 4 hipótesis se desprende la discusión de resultados:

PRIMERA: Como objetivo principal se consideró aumentar la producción en la chancadora primaria al implementar el método de derribo, en base a ello en el libro Minería a cielo abierto (López, 2003), quien señalo que la optimización del acarreo afecta directamente a la producción. De lo encontrado en la presente investigación se observó que la optimización del acarreo utilizando el método de derribo afecta directamente a la producción 1,450 a 1,601 T/H, que son el 10.42% de aumento de la producción.

Lo obtenido de la presente investigación coinciden con lo expuesto por los autores:

Aramburú y Rojas (2023) encontraron que una adecuada planificación y dimensionamiento de la flota es fundamental para asegurar la viabilidad económica y operativa de la mina, ya que estos factores afectan directamente la producción. De manera similar, Champi (2022) determinó que las variables analizadas guardan relación, por lo que al optimizar la productividad se logra un aumento significativo en la producción de la mina. Por su parte, Caballa (2012) evidenció que la implementación del sistema de asignación dinámica Monday, orientado a reducir los tiempos muertos y permitir que los implicados utilicen el software en sus dispositivos, generó un incremento en la producción. Finalmente, Vargas (2019) concluyó que, al optimizar todos los factores, el ciclo de carguío se redujo a 1.97 minutos y el ciclo de transporte a 12.23 minutos, lo que permitió incrementar la producción.

Los antecedentes y sus coincidencias con la presente investigación evidencian que la implementación del método de derribo ayuda a optimizar la producción.

SEGUNDA: Como objetivo principal se consideró aumentar la producción en la chancadora primaria al implementar el método de derribo, en base a ello en el libro Minería a cielo abierto (López, 2003), quien señalo que la optimización del acarreo afecta directamente al

consumo de energía. De lo encontrado en la presente investigación se observó que la optimización del acarreo utilizando el método de derribo afecta directamente al consumo de energía de 16.6 a 15.5 KW/H, que son el 6.71% de disminución de consumo de energía.

Lo obtenido de la presente investigación coinciden con lo expuesto por los autores:

Aramburú y Rojas (2023) encontraron que una adecuada planificación y dimensionamiento de la flota resulta fundamental para asegurar la viabilidad económica y operativa de la mina, lo que impacta directamente en la disminución del consumo de energía. De manera similar, Champi (2022) determinó que las variables analizadas guardan relación, por lo que, al optimizar la productividad, se logra no solo un aumento de la producción en la mina, sino también una reducción en el consumo de energía. Por su parte, Caballa (2012) evidenció que la implementación del sistema de asignación dinámica Monday, orientado a reducir los tiempos muertos y permitir que los implicados utilicen el software en sus dispositivos, contribuyó significativamente a disminuir el consumo de energía. Finalmente, Vargas (2019) concluyó que, al optimizar todos los factores, el ciclo de carguío se redujo a 1.97 minutos y el ciclo de transporte a 12.23 minutos, lo que generó una disminución en el consumo de energía.

Los antecedentes y sus coincidencias con la presente investigación evidencian que la implementación del método de derribo ayuda a optimizar la disminución del consumo de energía.

TERCERA: Como objetivo principal se consideró aumentar la producción en la chancadora primaria al implementar el método de derribo, en base a ello en el libro Minería a cielo abierto (López, 2003), quien señalo que la optimización del acarreo afecta directamente a la fragmentación. De lo encontrado en la presente investigación se observó que la optimización

del acarreo utilizando el método de derribo afecta directamente a la fragmentación de 22.3 a 13.3 pulgadas, que son el 40.44% de disminución de la fragmentación.

Lo obtenido de la presente investigación coinciden con lo expuesto por los autores:

Aramburú y Rojas (2023) encontraron que una adecuada planificación y dimensionamiento de la flota es esencial para asegurar la viabilidad económica y operativa de la mina, lo que influye directamente en la disminución de la fragmentación. De forma similar, Champi (2022) determinó que las variables evaluadas guardan relación, por lo que, al optimizar la productividad, no solo se incrementa la producción, sino que también se reduce la fragmentación del material. Por su parte, Caballa (2012) evidenció que la implementación del sistema de asignación dinámica Monday, diseñado para reducir los tiempos muertos y permitir que los implicados utilicen el software en sus dispositivos, contribuyó significativamente a la disminución de la fragmentación. Finalmente, Vargas (2019) concluyó que, al optimizar todos los factores, el ciclo de carguío se redujo a 1.97 minutos y el ciclo de transporte a 12.23 minutos, lo que permitió disminuir la fragmentación.

Los antecedentes y sus coincidencias con la presente investigación evidencian que la implementación del método de derribo ayuda a la disminución de la fragmentación.

CUARTA: Como objetivo principal se consideró aumentar la producción en la chancadora primaria al implementar el método de derribo, en base a ello en el libro Minería a cielo abierto (López, 2003), quien señalo que la optimización del acarreo afecta directamente al factor de potencia. De lo encontrado en la presente investigación se observó que la optimización del acarreo utilizando el método de derribo afecta directamente al factor de potencia de 0.408 a 0.272 KG/T, que son el 33.26% de disminución del factor de potencia.

Lo obtenido de la presente investigación coinciden con lo expuesto por los autores:

Aramburú y Rojas (2023) encontraron que una adecuada planificación y dimensionamiento de la flota es fundamental para garantizar la viabilidad económica y operativa de la mina, lo que incide directamente en la disminución del factor de potencia. De manera similar, Champi (2022) determinó que las variables evaluadas guardan relación, por lo que, al optimizar la productividad, se logra no solo incrementar la producción, sino también reducir el factor de potencia. Por su parte, Caballa (2012) evidenció que la implementación del sistema de asignación dinámica Monday, orientado a reducir los tiempos muertos y permitir que los implicados utilicen el software en sus dispositivos, contribuyó significativamente a la disminución del factor de potencia. Finalmente, Vargas (2019) concluyó que, al optimizar todos los factores, el ciclo de carguío se redujo a 1.97 minutos y el ciclo de transporte a 12.23 minutos, lo que permitió disminuir el factor de potencia.

Los antecedentes y sus coincidencias con la presente investigación evidencian que la implementación del método de derribo ayuda a la disminución del factor de potencia.

QUINTO: Como objetivo principal se consideró aumentar la producción en la chancadora primaria al implementar el método de derribo, en base a ello en el libro Minería a cielo abierto (López, 2003), quien señalo que la optimización del acarreo afecta directamente al costo de producción. De lo encontrado en la presente investigación se observó que la optimización del acarreo utilizando el método de derribo afecta directamente al costo de producción de 3.14 a 3.02 \$/T, que son el 3.78% de disminución del costo de producción.

Lo obtenido de la presente investigación coinciden con lo expuesto por los autores:

Aramburú y Rojas (2023) encontraron que una adecuada planificación y dimensionamiento de la flota resulta esencial para garantizar la viabilidad económica y operativa de la mina, lo que repercute directamente en la disminución del costo de producción.

De manera similar, Champi (2022) determinó que las variables evaluadas guardan relación, por lo que, al optimizar la productividad, se incrementa la producción y se logra una reducción del costo de producción. Por su parte, Caballa (2012) evidenció que la implementación del sistema de asignación dinámica Monday, diseñado para reducir los tiempos muertos y permitir que los implicados utilicen el software en sus dispositivos, contribuyó significativamente a disminuir los costos de producción. Finalmente, Vargas (2019) concluyó que, al optimizar todos los factores, el ciclo de carguío se redujo a 1.97 minutos y el ciclo de transporte a 12.23 minutos, lo que permitió reducir el costo de producción.

Los antecedentes y sus coincidencias con la presente investigación evidencian que la implementación del método de derribo ayuda a la disminución del costo de producción.

4.1.1.6.Resultados de acuerdo a los Objetivos

El objetivo general planteaba que la Optimizar el acarreo utilizando el método de derribo para aumentar la producción de materia prima triturada, lo que incrementa la productividad de la planta al reducir costos operativos, consumo energético y tiempos de procesamiento. Los resultados obtenidos respaldan esta afirmación. Se comprobó que al implementar el método del derribo redujeron el tamaño de los fragmentos y mejoraron la eficiencia de los procesos posteriores, lo que incrementó la producción diaria en la planta.

En términos de los objetivos específicos:

Objetivo 1: Determinar cómo influye buscar una alternativa al método actual de carguío y acarreo, que consiste en transportar la materia prima por una vía de acarreo desde la parte alta hasta la parte baja con una diferencia de cotas de 200 metros.

Tras el análisis de los resultados obtenidos, se demostró que el método de derribo logro una reducción significativa en la variabilidad granulométrica. El tamaño promedio de los fragmentos alcanzó un P80 de 13.3 pulgadas, lo que disminuyó notablemente los atascos en la trituradora primaria, permitiendo un aumento del rendimiento del equipo en un 10.42%. Esto confirma que la implementación del método de derribo es clave para optimizar el proceso inicial de la cadena de trituración.

Objetivos 2: Determinar cómo influye el contrastar la producción de caliza triturada producto del acarreo mediante el método de derribo antes y después de aplicar el método de derribo en la cantera.

Los datos recopilados mostraron una reducción en el consumo energético del equipo de trituración primaria en un 6.71%, como resultado de la menor resistencia al procesamiento de materiales con granulometría optimizada. Además, el análisis del desgaste de componentes como las placas y mandíbulas de la trituradora evidenció un incremento en su vida útil del 15%, lo que implica un ahorro económico significativo. Por lo tanto, se logró el objetivo al comprobar que la fragmentación optimizada no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también reduce los costos asociados al mantenimiento.

Objetivo 3: Determinar cómo influye el relacionar estadísticamente la producción de caliza triturada producto del acarreo mediante el método de derribo antes y después de aplicar el método de derribo en la cantera.

La aplicación del método de derribo para minimizar las zonas mal fragmentadas permitió un flujo más constante de material hacia la planta de procesamiento. Esto se corroboró con una disminución de interrupciones en el acarreo y tiempos muertos en el ciclo de alimentación de la trituradora primaria. Adicionalmente, el seguimiento de granulometría posibilitó un control más eficiente del proceso. La eficiencia global del sistema aumentó en un 10.42%, validando el objetivo planteado.

Tabla 18: Comparación de Producción Promedio (T/H)

Trimestre	Método aplicado	Producción Promedio (T/H)	Incremento (%)
Segundo trimestre	Acarreo convencional	1,450	—
Tercer trimestre	Método de derribo	1,601	+10.42 %

Nota: La implementación del método de derribo aumentó la producción en 151 T/H, validando su impacto positivo en la eficiencia operativa.

Tabla 19: Comparación de Fragmentación Promedio (P80 en pulgadas)

Trimestre	Método aplicado	P80 (promedio)	Reducción (%)
Segundo trimestre	Acarreo convencional	22.3	—
Tercer trimestre	Método de derribo	13.3	−40.44 %

Nota: El método de derribo mejoró la fragmentación del material volado, lo que favoreció la reducción de atascos y sobre tamaños en la chancadora.

Tabla 20: Comparación de Consumo Energético Promedio (kW/h)

Trimestre	Método aplicado	Consumo promedio (kW/h)	Reducción (%)
Segundo trimestre	Acarreo convencional	16.6	—
Tercer trimestre	Método de derribo	15.5	–6.71 %

Nota: El menor esfuerzo de chancado producto de una mejor fragmentación permitió reducir el consumo energético por tonelada tratada.

Tabla 21: Comparación de Factor de Potencia (kg/T)

Trimestre	Método aplicado	Factor de potencia (kg/T)	Reducción (%)
Segundo trimestre	Acarreo convencional	0.408	—
Tercer trimestre	Método de derribo	0.272	–33.26 %

Nota: El método de derribo optimizó el uso de explosivos, disminuyendo la cantidad necesaria por tonelada sin afectar la calidad de la voladura.

Tabla 22: Comparación del Costo Unitario de Trituración (\$/T)

Trimestre	Método aplicado	Costo unitario (\$/T)	Reducción (%)
Segundo trimestre	Acarreo convencional	3.14	—
Tercer trimestre	Método de derribo	3.02	–3.78 %

Nota: La mejora en la fragmentación y reducción del consumo energético contribuyeron directamente a disminuir el costo por tonelada en el chancado primario.

Estos cuadros demuestran que el método de derribo supera al método convencional de acarreo en todos los indicadores evaluados, permitiendo aumentar la producción, mejorar la

fragmentación, disminuir el consumo de energía, optimizar el uso de explosivos y reducir los costos operativos.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se determinó que la implementación del método de derribo optimizó el proceso de acarreo en la cantera, permitiendo una mejora integral en los indicadores operativos. Se obtuvo un incremento en la producción de materia prima triturada, una mejor fragmentación del material, menor consumo energético, reducción del factor de potencia y disminución del costo unitario de chancado. Estos resultados validan que el método de derribo constituye una alternativa técnica y económica eficiente frente al acarreo convencional.
- La aplicación del método de derribo influyó de manera positiva frente al acarreo actual demostrando ser más efectivo al reducir las distancias de transporte, mejorar el tamaño del material fragmentado y optimizar el uso de explosivos por tonelada extraída.
- El análisis comparativo antes y después de la implementación del método de derribo evidenció mejoras significativas en los resultados operativos. La producción aumentó en más del 10%, el consumo energético se redujo en 6.71%, y el costo unitario del chancado disminuyó en 3.78%, lo que confirma el impacto positivo de este cambio operativo.
- Existe una relación estadísticamente significativa entre la implementación del método de derribo y los indicadores de rendimiento. Los análisis aplicados, como la prueba de Wilcoxon, confirmaron que las mejoras observadas no fueron aleatorias, sino el resultado directo de la nueva estrategia aplicada, lo cual respalda técnicamente la eficacia del método propuesto

5.2. RECOMENDACIONES

La empresa cementera debe complementar con estudios de simulación predictiva que permitan anticipar resultados bajo distintos escenarios operativos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAMBURU, J., & ROJAS, A. (2023). Cálculo del Dimensionamiento de la Flota y Costos Unitarios de Carguío y Acarreo para Inicio de Operaciones en la Mina Cerro Aura de Arequipa. Universidad Nacional de Cajamarca, Arequipa.
- Baldeón Quispe. (2011). Gestión en las Operaciones de Transporte y Acarreo para el Incremento de la Productividad en Cía. Minera Condestable S.A. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Bieniawski, Z. (1978). Determining Rock Mass Deformability: Experience from Case Histories. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences.
- Caballa, D. (2022). Mejora en la producción del material extraído antes y después de la asignación de un sistema electrónico. Universidad Continental, Arequipa.
- Champi Guzman, M. (2015). Reduccion de las demoras operativas y optimizacion de tiempos por abastecimiento de combustible con el sistema vr-300 gpm. en los volquetes de mina-unidad operativa cuajone. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- CHAMPI, M. (2015). Reducción de las demoras operativas y optimización de tiempos por abastecimiento de combustible con el sistema Vr - 300 Gpm. en los volquetes de mina. Lima.

- Chura Valdivia, M. P. (2018). Reducción de demoras operativas por cambio de turno con la implementación de módulo de cambio de guardia en la unidad minera Cuajone. Moquegua.
- Cunningham, C. (1983). The Kuz-Ram Model for production of fragmentation from blasting. In Proc. 1st Symp. on Rock Fragmentation by Blasting, Lulea.
- DE LA CRUZ, J. (2021). Optimización y modernización en carguío y acarreo para incrementar la producción de yeso en la Cantera–San Pedro de Mórrope. Madrid.
- Garcés, D. A., & Castrillón, O. D. (2017). Diseño de una Técnica Inteligente para Identificar y Reducir los Tiempos Muertos en un Sistema de Producción. Información tecnológica, 28(3), 157-170.
- GARCES, D., & CASTRILLON, O. (2021). Diseño de una Técnica Inteligente para Identificar y Reducir los Tiempos Muertos en un Sistema de Producción. Madrid.
- Garcés, Diego A, & Castrillón, Omar D. (2017). Diseño de una Técnica Inteligente para Identificar y Reducir los Tiempos Muertos en un Sistema de Producción. Información tecnológica, 28(3), 157-170. doi:<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642017000300017>
- Hernández Sampieri, R. (2014). Metodología de la Investigación (Sexta Edición ed.). Mcgrawhill.
- Instituto geológico geominero de España. (1991). Manual de arranque, carga y transporte en minería a cielo abierto. España.

ISO 14001. (2004). Norma ISO 14001. Geneva, Suiza.

Julca, D. (2019). Optimización del ciclo de carguío y acarreo del tajo al PAD de lixiviación para evitar tiempos muertos y reducir costos en una empresa minera de la mediana minería, 2019. Cajamarca: (Tesis de licenciatura).

Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo, Ley 29783. (2011). Congreso de la República del Perú. Lima: Diario Oficial el Peruano.

LOPEZ, C. (1994). Minería a Cielo Abierto. Madrid: Mundi-Prensa.

Martí, P., Lin, C., Brandt, S. A., Velasco, M., Ayza, J., & Fuertes, J. (2006). Asignación dinámica de recursos en sistemas de control de tiempo real. Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial, 50-60.

Montoya Villalta, F. (2018). Optimización de procesos en la perforación mediante un estudio comparativo de brocas tricónicas en la unidad minera.

MURILLO, A. (2022). Proceso de implementación del método de plataformas secuenciales para la explotación de caliza en la concesión minera Conchoc-2022. Lima.

Nextech. (2020). ¿Qué es SAP ABAP? Obtenido de <https://nextech.pe/que-es-sap-abap-2/>

OHSAS 18001. (2007). Norma OHSAS 18001.

Paz Benavente, & Solano Romaní. (2018). Aumento de Producción en Mina Toquepala a través de la Automatización de la Asignación del Personal a sus respectivos equipos en el cambio de guardia y visualización de actividades del turno.

Paz Benavente, A. (2007). Propuesta de asignación automática de personal (aap) en operaciones mina.

Paz Benavente, A., & Solano Romaní, W. (2019). Automatización de la asignación de personal en los equipos de mina y visualización de actividades para el cambio de turno. Recuperado el 02 de Jun de 200, de <http://www.mineriaonline.com.pe/tecnico-cientifico/automatizacion-de-la-asignacion-de-personal-en-los-equipos-de-mina-y-visualizacion-de-actividades-para-el-cambio-de-turno-en-to>

ROJAS, V. (2022). Metodología de Optimización del Programa Revisión B de Preparación Minera Considerando Incertidumbre Operacional. Universidad de Chile, Santiago.

Sáez Muñoz. (2014). Simulación On-Line para el Despacho de Camiones Mineros en Operaciones a Cielo Abierto. Santiago de Chile.

Softer. (2021). Minerales no metálicos: qué tipos les pertenecen. Obtenido de <https://2cad.ru/blog/minerals/nemetallicheskie-poleznye-iskopaemye-kakie-vidy-k-nim-otnosyatsya/>

TORRES, G. (2019). Optimización de Equipos de Carguío y Transporte para el Incremento de Producción en la Cía Minera Antapaccay, Espinar - Cusco. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco.

Vargas Ticona, C. (2019). Optimización en las operaciones de carguío y transporte para el mejoramiento de la productividad. Puno: Universidad Nacional Del Altiplano.

VARGAS, C. (2019). Optimización en las operaciones de carguío y transporte para el mejoramiento de la productividad. Lima.

Vidal Ioli. (2010). Estudio del Cálculo de Flota de Camiones para una Operación Minera a Cielo Abierto. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

ANEXOS

Imagen 1: Nivel 780 – Ludmirca (Acumulación N810 – Blanquito)



Imagen 2: Nivel 790 – Ludmirca (Acumulado N810)



Imagen 3: Nivel 790 – Ludmirca (Acumulado N810 – Blanquito)

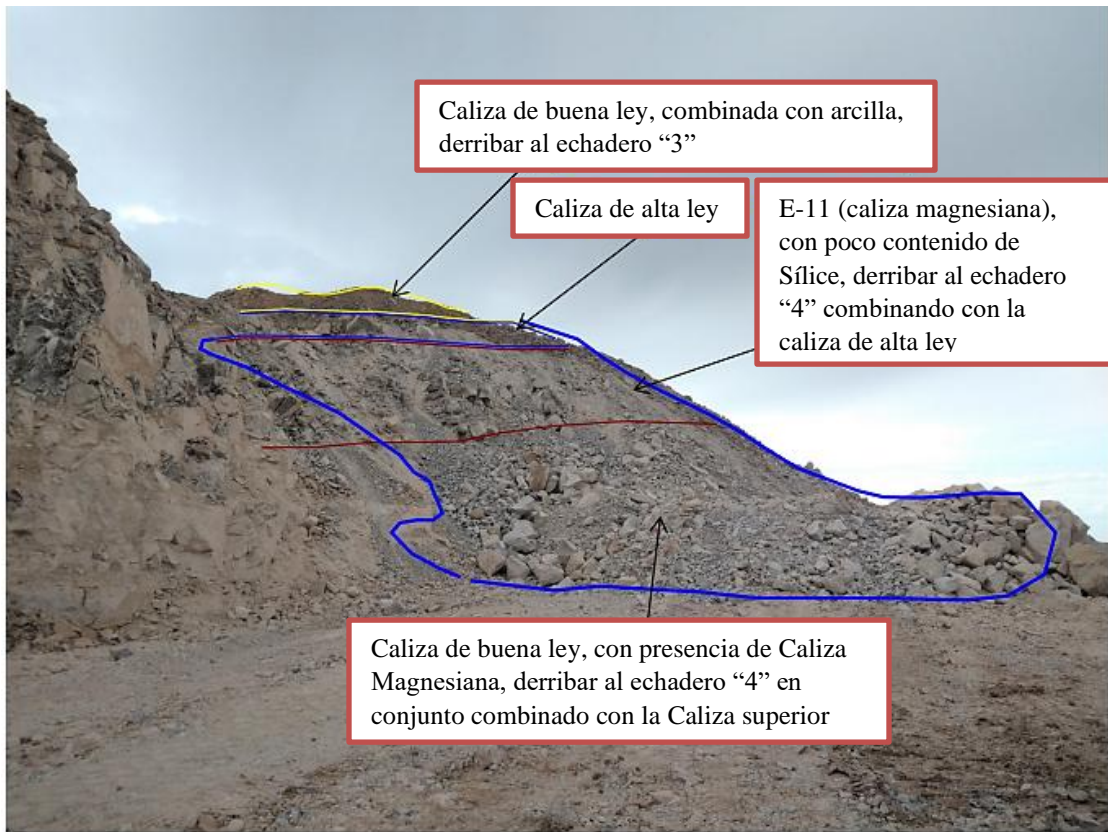


Imagen 4: Nivel 810 - Ojule



Imagen 4: Nivel 850 - Ludmirca



Imagen 5: Nivel 860 - Ludmirca



Imagen 6: Nivel 880 - Ludmirca

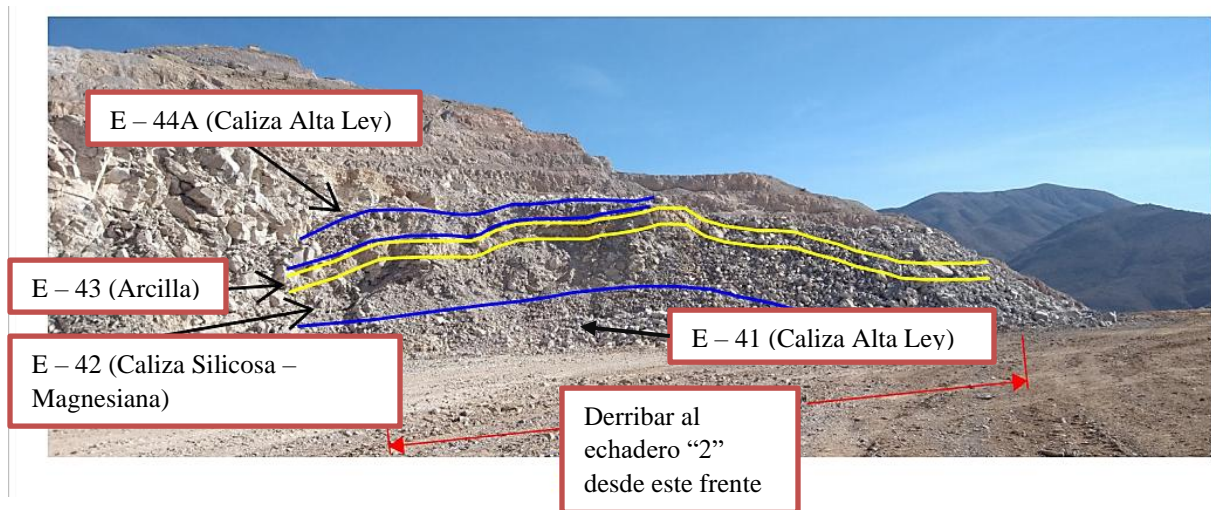
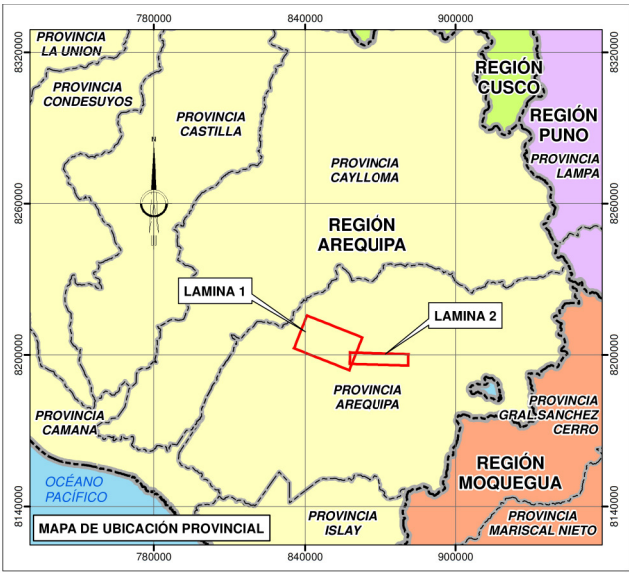
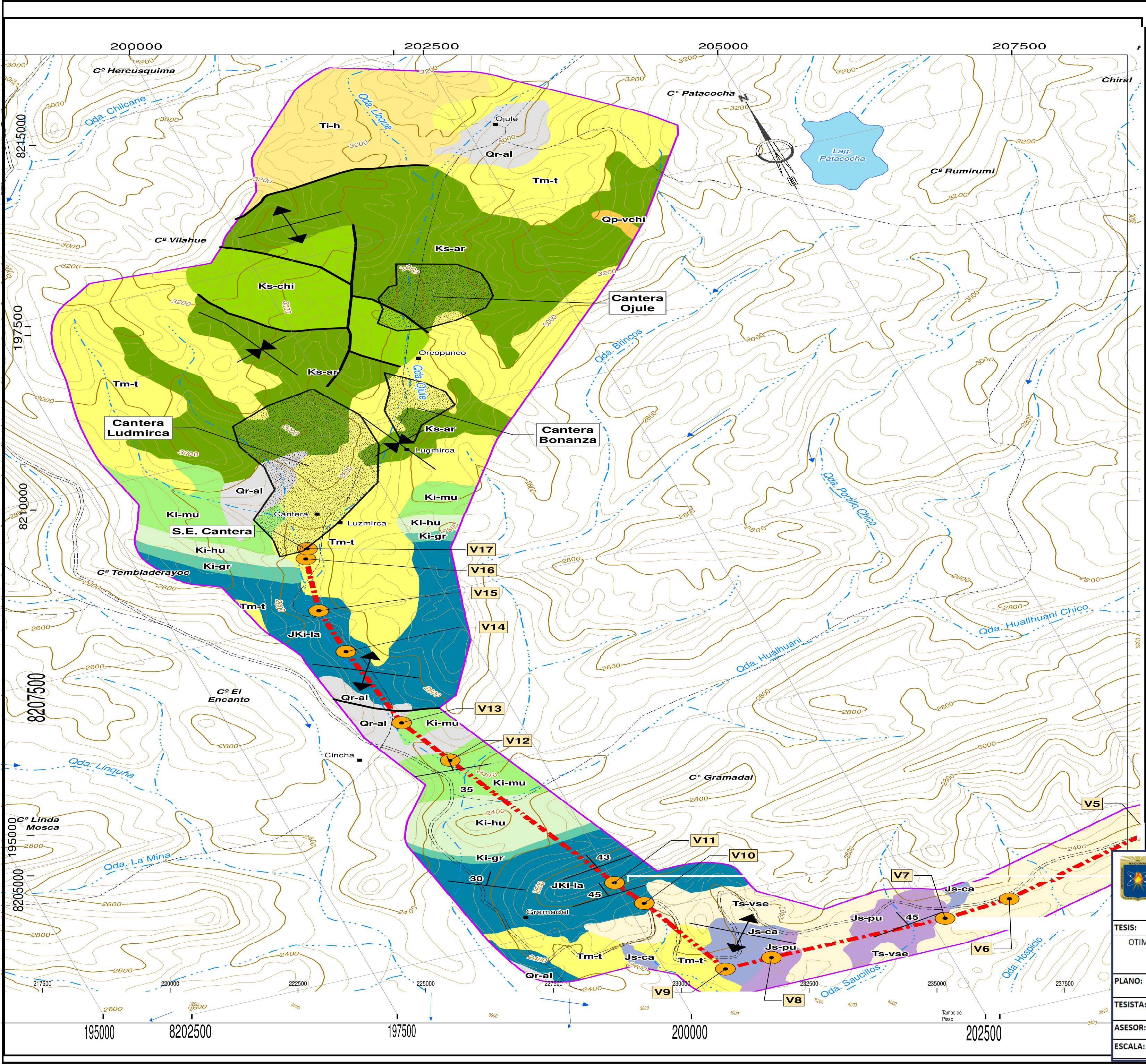


Imagen 7: Nivel 900 - Ojule (Acumulado N960)



Imagen 8: Nivel 910 - Ludmirca





SIMBOLOGÍA	
Centro poblado	Via
Curva maestra	Via afirmada
Curva secundaria	Via no afirmada
Dirección de flujo	Camino
Rio	Trocha
Quebrada	Laguna

LEYENDA	
Vertices 138 kv	
Linea de transmisión 138kv	
Vertices 30 kv	
Linea de subtransmisión 30kv	
Área de canteras	
Planta Yura	
Área de estudio	

UNIDADES DE GEOLOGÍA						
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOSTRATIGRÁFICAS	SÍMBOLO	ROCAS ÍGNEAS	SÍMBOLO
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Dep. Aluviales	Qr-al	Diorita	KI-di
			Dep. Piroclásticos	Qr-pl		
		PLEISTOCENO	Gpo. Barroso	Qp-iba		
			Volc. Chila	Qp-vchi		
	TERCIARIO	SUPERIOR	Volc. Sencca	Ts-vse		
		MEDIO	Gpo. Tacaza	Tm-t		
MESOZOICO	CRETÁCEO	SUPERIOR	Form. Chilcane	Ks-chi		
			Form. Acucugna	Ks-ar		
			Form. Murco	Ki-mu		
		INFERIOR	Form. Hualhuani	Ki-hu		
			Form. Gramadal	Ki-gr		
			Gpo. Yura	JKI-la		
	JURÁSICO	SUPERIOR	Form. Cachios	Js-ca		
			Form. Puente	Js-pu		

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	
Falla	
Rumbo y buzamiento de estratos	
Eje anticlinal	
Eje sincinal	

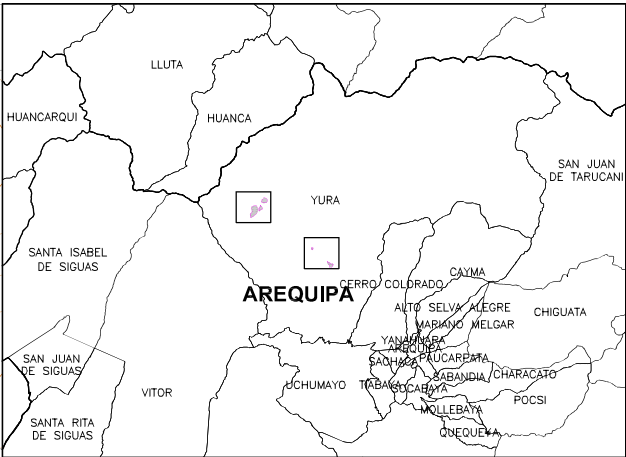
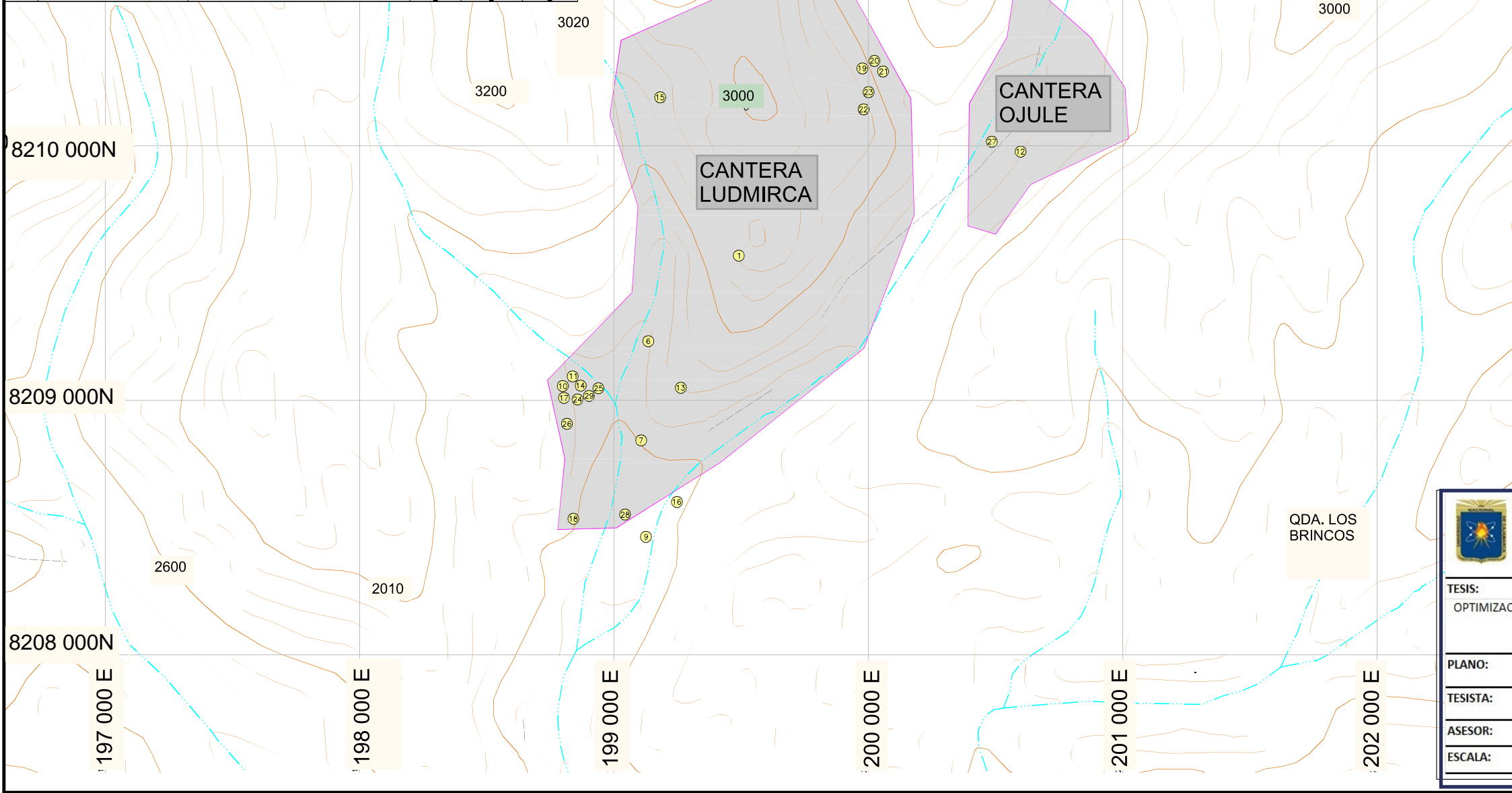


UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERA DE MINAS

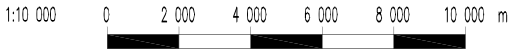


TESIS:		OTIMIZACIÓN DEL ACARREO UTILIZANDO EL MÉTODO DE DERRIBO PARA AUMENTAR LA PRODUCCIÓN DE MATERIA PRIMA TRITURADA	
PLANO:	PLANO GEOLOGICO		PLANO N°:
TESISTA:	Bach. José Edison Abanto Marín		1
ASESOR:	M. Cs. Ing Roberto Severino Gonzales Yana		
ESCALA:	1/5000	FECHA:	

ITEM	TIPO DE COMPONENTE	ETAPA DEL PROCESO	COMPONENTE	ESTE		NORTE		AREA(m2)
1	COMPONENTES PRINCIPALES	EXPLOTACION Y EXTRACCION	CANtera LUDMIRCA	199	491	8 209	568	2 000 500
2			CANtera OJULE	200	665	8 210	158	3 66 500
3			CANtera DE YESO (BONANZA)	201	419	8 211	596	3 63 200
6		TRITURACION	PLANTA DE CHANCADO N°1 — CHANCADORA PRIMARIA ALLIS CHALMERS	199	135	8 209	232	18 233
7			PLANTA DE CHANCADO N°2 — CHANCADORA PRIMARIA THYSSEN KRUPP	199	107	8 208	842	12 587
8	COMPONENTES AUXILIARES		GALERIA FILTRANTE N° 5 — OJULE	200	956	8 2 1	242	75
9			GALERIA FILTRANTE N° 6 — LUDMIRCA	199	303	8 208	520	75
10			RESERVORIO DE ACUA AREAS VERDES	199	634	8 209	402	8
11			RESERVORIO DE ACUA POTABLE	198	840	8 209	404	14
12			RESERVORIO DE ACUA CAMPAMENTO BONANZA	200	599	8 209	977	28
13			RESERVORIO DE ACUA DEL PROCESO	199	263	8 209	049	9
14			DEPOSITO (EX ALMACEN DE GASOLINA)	198	869	8 209	057	9
15			BOTADERO SABANCAYA	199	182	8 210	190	32 9 66
16			ALMACEN TEMPORAL DE RESIDUOS	199	248	8 208	600	4 444
17			GRUPO ELECTROGENO CATEPILLAR	198	831	8 209	038	20
18			BALANZAS ELECTRONICAS CANTERAS	198	841	8 208	534	460
19			ALMACEN DE ANFO	200	015	8 210	304	149
20			ALMACEN DE NITRATO	200	029	8 210	304	87
21			POLVORIN 1	200	058	8 210	292	34
22			POLVORIN 2	199	985	8 210	168	20
23			POLVORIN 3	199	988	8 210	189	24
24			OFICINAS CANTERAS	198	857	8 209	003	620
25			OFICINA DE SEGURIDAD PATRIMONIAL	198	903	8 209	201	10
26			TALLER DE MANTENIMIENTO	198	815	8 208	907	783
27			CAMPAMENTO BONANZA	200	486	8 210	016	10 676
28			SUBESTACION ELECTRICA CANTERAS	199	044	8 208	551	126
29			CRIFO D2B	198	902	8 209	107	105
30			BIODIGESTOR	196	924	8 208	982	8
31			VIAS Y ACCESOS					



LEYENDA	
	CURVAS MAESTRAS
	CURVAS SECUNDARIAS
	CAMINO
	QUEBRADA
	CANtera
	CODIGO DE COMPONENTE



NOTAS:
1.- LA ESCALA GRAFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE
2.- DIMENSIONES Y NIVELES EN METROS, SALVO INDICADO.
3.- USAR SOLO DIMENSIONES INDICADAS EN LOS PLANOS.

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS		
TESIS:				
OPTIMIZACIÓN DEL ACARREO UTILIZANDO EL MÉTODO DE DERRIBO PARA AUMENTAR LA PRODUCCIÓN DE MATERIA PRIMA TRITURADA				
PLANO:	PLANO TOPOGRAFICO DE LA CANTERA			PLANO N°:
TESISTA:	Bach. José Edinson Abanto Marín			2
ASESOR:	M. Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana			
ESCALA:	1/10000	FECHA:	MARZO, 2025	