

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

**OPTIMIZACIÓN DEL CICLO DE CARGUÍO, ACARREO Y TRANSPORTE DE
MATERIAL FLUVIAL DE LA CANTERA CERRO CHILCO, DISTRITO DE
SAN PEDRO DE LLOC, REGIÓN DE LA LIBERTAD, 2024**

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO DE MINAS

AUTOR:

Bach. Morillas Nacarino, Andy Daniel

ASESOR:

M.Cs. Ing. Gonzales Yana, Roberto Severino

CAJAMARCA – PERÚ

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. **Investigador:** MORILLAS NACARINO ANDY DANIEL

DNI: 71225805

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 CICLO DE CARGUÍO, ACARREO Y TRANSPORTE DE MATERIAL FLUVIAL DE LA CANTERA CERRO CHILCO, DISTRITO DE SAN PEDRO DE LLOC, REGIÓN DE LA LIBERTAD, 2024

Fecha de evaluación: 29/05/2025

6. **Software antiplagio:**

☒ TURNITIN

☐ URKUND (OURIGINAL) (*)

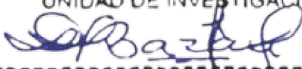
7. **Porcentaje de Informe de Similitud:** 14%

8. **Código Documento:** Oide:3117: 463162535

9. **Resultado de la Evaluación de Similitud:**

☒ APROBADO ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 30/05/2025

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN  Dra. Ing. Laura Sojía Bazán Díaz DIRECTORA
FIRMA DEL ASESOR Roberto Severino Gonzales Yana	UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



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



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : OPTIMIZACIÓN DEL CICLO DE CARGUÍO, ACARREO Y TRANSPORTE DE MATERIAL FLUVIAL DE LA CANTERA CERRO CHILCO, DISTRITO DE SAN PEDRO DE LLOC, REGIÓN DE LA LIBERTAD, 2024

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

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0412-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 21 de julio de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **veinticinco días del mes de julio de 2025**, siendo las nueve horas (09:00 a.m.) en el Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica (Ambiente 4J - 210), se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Ing. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado.
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 CICLO DE CARGUÍO, ACARREO Y TRANSPORTE DE MATERIAL FLUVIAL DE LA CANTERA CERRO CHILCO, DISTRITO DE SAN PEDRO DE LLOC, REGIÓN DE LA LIBERTAD, 2024**; presentado por el Bachiller en Ingeniería de Minas **ANDY DANIEL MORILLAS NACARINO**, 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 : 04 PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA : 10 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 10.00.00 horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Dr. Ing. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado.
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

En primer lugar, agradezco a Dios por concederme la vida, salud y sabiduría por que ha permitido hacer realidad uno de mis proyectos más importantes en mi vida profesional, y poder culminar este trabajo de tesis.

Expresar mi agradecimiento la confianza y apoyo brindado de mi madre y hermano, por haber confiado infinitamente en mi persona a quienes debo este logro profesional.

A.M

DEDICATORIA

A DIOS, por guiarme día a día y brindarme salud, sabiduría y permitirme a cumplir mis objetivos propuestos en mi vida profesional.

A MI FAMILIA, por darme educación y enseñarme buenos principios y valores, quien con su apoyo incondicional me ayudo a superarme y así poder lograr terminar mis estudios universitarios. En especial a mi madre y mi hermano quienes con su ejemplo me encaminaron y vencer los momentos más difíciles de mi vida y darme palabras de aliento para poder lograr culminar mi carrera profesional.

A.M

CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTO.....	ii
DEDICATORIA	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE REGISTRO FOTOGRÁFICO.....	xi
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1	ANTECEDENTES TEÓRICOS.....	3
2.1.1	Antecedentes Internacionales.....	3
2.1.2	Antecedentes Nacionales.....	3
2.1.3	Antecedentes Locales	5
2.2	BASES TEÓRICAS	6
2.2.1	Carguío – acarreo.....	6
2.2.2	Equipos de carguío - acarreo.....	6
2.2.3	Proceso de carguío – acarreo.....	7
2.2.4	Fundamentos básicos a considerar en un proceso de carguío y acarreo	8
2.2.5	Criterios de un proceso de carguío – acarreo	8
2.2.6	Factores que afectan la productividad y costo del proceso de carguío – acarreo ...	10
2.2.7	Evaluación del proceso de carguío – acarreo en operación mina	11
2.2.8	Actividades en un proceso de carguío – acarreo.....	13
2.2.9	Ciclo de acarreo en operación mina	14
2.2.9.1	Factor de acoplamiento (Match Factor) de un proceso de carguío – acarreo.....	15
2.2.9.2	Criterios operativos directos de un proceso de carguío – acarreo	16
2.2.9.3	Indicadores o KPI en un proceso de carguío – acarreo	16
2.2.9.4	Rendimiento en el proceso de carguío – acarreo.....	16
2.2.9.5	Rendimiento en el proceso de carguío	17
2.2.9.6	Tiempo de ciclo por pala.....	17
2.2.9.7	Rendimiento en el proceso de acarreo.....	17
2.2.9.8	Tiempo de ciclo de acarreo	18

2.2.9.9	Tiempo de espera de los volquetes.....	18
2.2.10	Eficiencia horaria en el proceso de carguío – acarreo	19
2.2.11	Actividades complementarias para optimizar un proceso de carguío – acarreo	19
2.2.11.1	Productividad	20
2.2.11.2	Factores que afectan la productividad.....	20
2.2.11.3	Factores que tienen un efecto negativo sobre la productividad.....	21
2.2.11.4	Factores que afectan positivamente a la productividad.....	21
2.2.11.5	Factores que afectan el rendimiento de la maquinaria	21
2.2.11.6	Demoras de rutina	21
2.2.11.7	Restricciones en la operación óptima.....	22
2.2.11.8	Condiciones del sitio	22
2.2.11.9	Por la dirección y supervisión	22
2.2.11.10	Por la actuación del contratante	22
2.2.12	Canteras	22
2.2.13	Graveras.....	23
2.2.14	Clasificación de los sistemas de arranque	23
2.2.14.1	Sistema totalmente discontinuo.....	24
2.2.14.2	Sistema mixto con chancadora estacionaria dentro de la explotación	24
2.2.14.3	Sistema mixto con chancadora semimóvil dentro de la explotación.....	24
2.2.14.4	Sistema de transporte mixto y arranque continuo	24
2.2.14.5	Sistema continuo con chancadora móvil y arranque discontinuo	24
2.2.14.6	Sistema de arranque y transporte continuos.....	24
2.2.15	Definición de materiales agregados	25
2.2.16	Importancia económica de los agregados.....	25
2.2.17	Clasificación de los agregados en cuanto a su origen y naturaleza.....	25
2.2.17.1	Naturales	25
2.2.17.2	Artificiales.....	26
2.2.17.3	Reciclados	26
2.2.17.4	Ligeros.....	26
2.2.17.5	Asimilados.....	26
2.2.18	Clasificación de los agregados en cuanto a su tamaño	26
2.2.19	Tipos de canteras.....	27
2.2.19.1	Canteras en terrenos horizontales.....	27
2.2.19.2	Canteras en ladera	28
2.2.20	Explotación de materiales de origen fluvial.....	29
2.3	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	30

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	33
3.1.1	Geográfica	33
3.1.2	Política	33
3.1.3	Accesibilidad	33
3.1.4	Clima	34
3.2	PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS DE RECOPIACIÓN DE DATOS .	35
3.2.1	Etapa de pre campo, recopilación bibliográfica	35
3.2.2	Etapa de campo	35
3.2.3	Etapa post campo	36
3.2.4	Técnicas	36
3.2.4.1	Técnica de la observación directa	36
3.2.4.2	Técnica de análisis documental	36
3.2.4.3	Toma de Muestras y Análisis Granulométrico	36
3.2.4.4	Uso de Software Especializado	37
3.2.4.5	Recolección de Datos de Campo	37
3.3	TIPO Y MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	37
3.3.1	Población de estudio	38
3.3.2	Muestra	38
3.3.3	Unidad de análisis	38
3.3.4	Definición de variables	38
3.3.5	Instrumentos y Equipos	38
3.4	CONTEXTO GEOLÓGICO	39
3.4.1	Geología Local	39
3.5	GEOLOGÍA ECONÓMICA	42
3.5.1	Tipo de yacimiento	42
3.6	DATOS GENERALES DE LA CANTERA	44
3.6.1	Cálculo de Potencias	45
3.6.2	Distribución granulométrica de los agregados	45
3.6.3	Vida útil y ritmo de la explotación	47
3.6.4	Método de explotación de la cantera	47
3.6.5	Equipos presentes en la cantera	48
3.6.5.1	Equipos de Carguío	48
3.6.5.2	Equipos de transporte	48
3.6.6	Zonas de explotación	49

3.6.6.1	Ciclo de minado	49
3.6.6.2	Ciclo de Selección y Separación de Materiales.....	50
3.6.6.3	Transporte y almacenamiento	54
3.6.6.4	Descripción de los equipos.....	55
3.6.6.5	Distribución de los volquetes	56
3.6.6.6	Tiempo total del ciclo carguío – transporte	56
3.7	CICLO DE CARGUÍO, ACARREO Y TRANSPORTE ACTUAL	57
3.7.1	Descripción de la Cantera Cerro Chilco	57
3.7.2	Equipos utilizados: tipo, capacidad, eficiencia	57
3.7.3	Rutas y distancias actuales	57
3.7.4	Tiempos operativos actuales.....	57
3.7.5	Identificación de cuellos de botella	59
3.7.6	Producción diaria promedio.....	59

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS	61
4.1.1	Análisis de KPI	61
4.1.1.1	Disponibilidad Mecánica.....	62
4.1.1.2	Utilización de la maquina.....	62
4.1.1.3	Usage.....	63
4.1.1.4	Gestión de demoras	63
4.1.1.5	Uso de la disponibilidad.....	64
4.1.1.6	Índice de mantenimiento	64
4.1.1.7	Sumas de KPIs	65
4.1.2	Factores para la optimización de carguío y acarreo	65
4.1.3	Optimización del Ciclo de Carguío, Acarreo y Transporte	66
4.1.3.1	Optimización del carguío	66
4.1.3.2	Mejorar la ruta de acarreo	67
4.1.3.3	Implementar sistema de señalización y comunicación por radio	67
4.1.3.4	Incrementar el número de viajes por volquete	67
4.1.3.5	Mantenimiento preventivo más riguroso.....	67
4.1.3.6	Análisis e Interpretación del carguío y acarreo	70
4.2	CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	74

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	CONCLUSIONES.....	75
5.2	RECOMENDACIONES.....	76
5.4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
5.5	ANEXOS	80

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01: Clasificación de agregados por su tamaño.	26
Tabla 02: Coordenadas UTM-WGS84 de los vértices de la zona de investigación.	33
Tabla 03: Tiempo y distancia para acceder al área de investigación.....	34
Tabla 04: Tabla climática - datos históricos de 1996 - 2023.....	35
Tabla 05: Tipo, Nivel, Diseño y Método de Investigación.	37
Tabla 06: Tabla de identificación de variables.....	38
Tabla 07: Instrumentos y equipos de campo.	38
Tabla 08: Área de material aprovechable de la cantera.....	44
Tabla 09: Cálculo de potencia aprovechable de material de la cantera.....	45
Tabla 10: Distribución granulométrica de los agregados.....	46
Tabla 11: Vida útil de la cantera Cerro Chilco.....	47
Tabla 12: Equipos de transporte de la cantera Cerro Chilco el año 2024	56
Tabla 13: Promedio de tiempos durante 04 meses de carguío y transporte de material.	56
Tabla 14: Equipos utilizados, tipo, capacidad, eficiencia	57
Tabla 15: Tiempos operativos actuales	58
Tabla 16: Simulación del Tiempo Total del Ciclo por Volquete	58
Tabla 17: Producción diaria promedio por volquete	60
Tabla 18: Rendimiento Diario por Tipo de Agregado (post-zarandeo)	60
Tabla 19: Rendimiento Diario por Tipo de Agregado (post-zarandeo)	61
Tabla 20: Valores objetivo de KPIs para equipos de carguío	62
Tabla 21: Disponibilidad mecánica y target recomendado.	62
Tabla 22: Utilización de máquina y target recomendado.....	63
Tabla 23: Usage y target recomendado.	63
Tabla 24: Gestión de demoras y target recomendado	64
Tabla 25: Uso de la disponibilidad y target recomendado.	64
Tabla 26: Índice de mantenimiento del cargador frontal.....	65
Tabla 27: Índice de mantenimiento del cargador frontal.....	65
Tabla 28: Tiempos promedios actuales del ciclo de carguío vs tiempos optimizados	67
Tabla 29: Tiempos promedio de cada fase del ciclo de transporte en la cantera	68
Tabla 30: Tiempos Producción Mensual Estimada (24 días laborables)	69
Tabla 31: Acciones para minimizar factores influyentes en el tiempo del ciclo.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01: Proceso de Carguío – Acarreo en operaciones. Fuente: Juan & Andres, 2016.....	12
Figura 02: Ciclo de carguío y acarreo en operaciones Fuente: Murga & Vargas, 2016.	14
Figura 03: Ciclo de acarreo de un camión en operaciones. Fuente: Juan & Andres, 2016.	14
Figura 04: Distribución de Cantera Cerro Chilco.	27
Figura 05: Excavación directa en canteras con excavadora.	29
Figura 06: Acceso terrestre para a Cantera cerro Chilco donde se desarrolla la investigación.....	34
Figura 07: Microcuenca de la quebrada Cupisnique	43
Figura 08: Plano de Ubicación de la cantera Cerro Chilco.	44
Figura 09: Especificaciones técnicas de las máquinas encargadas del carguío.....	48
Figura 10: Tiempos promedios actuales del ciclo de carguío vs tiempos optimizados.....	68
Figura 11: Tiempos promedio de cada fase del ciclo de transporte en la cantera.	69
Figura 12: Tiempos Producción Mensual Estimada (24 días laborables).	70
Figura 13: Tiempos de carguío y transporte de material de agosto a noviembre del 2024.	71

ÍNDICE DE REGISTRO FOTOGRÁFICO

	Pág.
Foto 01: Estribaciones del Volcánico Llama.	40
Foto 02: Deposito fluvio-aluvial en la parte baja de la microcuenca del Cupisnique.	41
Foto 03: Deposito aluvial.	41
Foto 04: Deposito Antropogénicos, carreta panamericana Norte Km 698.	42
Foto 05: Análisis granulométrico en laboratorio y su caracterización física de los agregados	46
Foto 06: Peso retenido de acuerdo a la malla en el análisis de laboratorio.	47
Foto 07: Acarreo de material con volquete Volvo FMX de 15 m3 y cargador CAT 938H.	50
Foto 08: Transporte del material a acopio de agregados.	50
Foto 09: Planta de selección y separación de materiales.	51
Foto 10: Planta procesadora de chancado primario y secundario	51
Foto 11: Planta de selección y separación chancado secundario.	52
Foto 12: Zarandeo separador de arena de la grava.	53
Foto 13: Lavado de arena con el material fino (<3/8”)	54
Foto 14: Acopio de material procesado y listo para distribución.	55
Foto 15: Material procesado para el transporte y distribución	55

LISTA DE ABREVIATURAS

Pág.	:	Página
et al.	:	Y otros
Km²	:	Kilómetros cuadrados
m	:	Metros
p.e.	:	Por ejemplo
SIG	:	Sistema de Información Geográfica
WGS-84	:	Sistema Geodésico Mundial 1984.
GPS	:	Global Positioning System
Ref.	:	Referencia
C.P.	:	Centro Poblado
Gpo.	:	Grupo.
Fm.	:	Formación.
RQD	:	Rock Quality Designation
RMR	:	Rock Mass Rating
GSI	:	Geological Strength Index
m.s.n.m	:	Metros sobre el nivel de mar
Km	:	kilómetros
h	:	Hora
SE	:	Sur Este
NW	:	Nor Oeste
SW	:	Sur Oeste
NE	:	Nor Este
X	:	Eje horizontal
Y	:	Eje vertical
N	:	Norte
E	:	Este
S	:	Sur
W	:	Oeste
MDE	:	Modelo digital de elevaciones
Ma	:	Unidad de tiempo equivalente a un millón de años.

RESUMEN

La investigación se desarrolló la Cantera Cerro Chilco, Ubicada en distrito de San Pedro de Lloc, provincia de Pacasmayo y región La Libertad. Se centra en mejorar los procesos operativos en la cantera Cerro Chilco, específicamente en las etapas de carguío, acarreo y transporte de material fluvial. El objetivo principal de la investigación es optimizar el ciclo de carguío, acarreo y transporte del material fluvial en la cantera Cerro Chilco, con el fin de mejorar la eficiencia operativa y reducir costos en las operaciones. La metodología utilizada incluye el análisis detallado de los procesos actuales, la identificación de los puntos críticos que afectan la eficiencia, y la implementación de mejoras organizacionales. Para abordar estas problemáticas, se analizaron los equipos utilizados, incluyendo cargadores frontales, volquetes y excavadoras, evaluando su capacidad y eficiencia. Se establecieron rutas y distancias actuales, determinando tiempos operativos para cada actividad del ciclo. La producción diaria promedio se calculó en 810 m³/día, considerando 6 volquetes con 9 viajes diarios cada uno.

Se propusieron mejoras técnicas y operativas que incrementen la productividad y reduzcan el tiempo total del ciclo. Los resultados obtenidos muestran una mejora significativa en la eficiencia operativa, destacando la importancia de un análisis técnico detallado y la implementación de estrategias de optimización en operaciones mineras. La aplicación de estas propuestas en la cantera Cerro Chilco permitirá un incremento en la productividad y una reducción en los costos operativos, contribuyendo al desarrollo sostenible de la operación minera.

PALABRAS CLAVE: Optimización, Ciclo de Carguío, Transporte, Material fluvial, Productividad, Eficiencia Operativa.

ABSTRACT

The research was carried out at the Cerro Chilco Quarry, located in the district of San Pedro de Lloc, province of Pacasmayo, in the La Libertad region. It focuses on improving operational processes at the Cerro Chilco Quarry, specifically in the stages of loading, hauling, and transporting alluvial material. The main objective of the study is to optimize the loading, hauling, and transportation cycle of alluvial material at the Cerro Chilco Quarry in order to enhance operational efficiency and reduce operating costs. The methodology used includes a detailed analysis of current processes, identification of critical points affecting efficiency, and the implementation of organizational improvements. To address these issues, the equipment used—such as front loaders, dump trucks, and excavators—was analyzed, evaluating their capacity and efficiency. Current routes and distances were established, and operational times for each activity in the cycle were determined. The average daily production was calculated at 810 m³/day, considering 6 dump trucks making 9 trips each per day. Technical and operational improvements were proposed to increase productivity and reduce the total cycle time. The results show a significant improvement in operational efficiency, highlighting the importance of detailed technical analysis and the implementation of optimization strategies in mining operations. The application of these proposals at the Cerro Chilco Quarry will lead to increased productivity and reduced operating costs, contributing to the sustainable development of the mining operation.

KEY WORDS: Optimization, Loading Cycle, Transport, River Material, Productivity, Operational Efficiency.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción representa uno de los pilares clave para el desarrollo económico de cualquier nación, y su crecimiento sostenido está estrechamente vinculado con la disponibilidad y calidad de los materiales de construcción. Dentro de estos materiales, los agregados juegan un papel fundamental, particularmente en la fabricación de hormigón y asfaltos. En este sentido, las canteras fluviales se destacan como fuentes estratégicas de agregados, ofreciendo materiales que cumplen con las especificaciones requeridas para diversas aplicaciones en la construcción.

El proceso de extracción y procesamiento de estos materiales comprende varias fases críticas, destacándose entre ellas el carguío y acarreo. Estas fases son esenciales no solo para asegurar la eficiencia y productividad de la operación en la cantera, sino también para reducir los costos y mitigar el impacto ambiental. A pesar de su relevancia, muchas canteras enfrentan desafíos significativos para optimizar estos procesos, lo que puede derivar en ineficiencias operativas, tiempos de espera prolongados y un aprovechamiento subóptimo de los recursos disponibles.

El propósito principal de esta investigación es identificar los mecanismos para optimizar el ciclo de carguío, acarreo y transporte de material fluvial en la cantera Cerro Chilco, ubicada en el distrito de San Pedro de Lloc, región La Libertad, en 2024. Para ello, se establecen los siguientes objetivos específicos: Optimizar el ciclo de carguío, acarreo y transporte del material en la cantera Cerro Chilco, mediante la evaluación de indicadores clave de desempeño (KPI) y la identificación de factores operativos que afectan la eficiencia del sistema, acarreo y descarga. Así como proponer mejoras operativas en la planificación que permitan reducir los tiempos muertos y aumentar la productividad.

Mediante un enfoque metodológico que combina el análisis de datos, observación de campo y entrevistas con expertos del sector, esta investigación busca establecer un marco de referencia sólido para la optimización de los procesos de carguío y acarreo en canteras fluviales. Se espera que los resultados obtenidos no solo beneficien a los operadores de canteras, sino que también contribuyan al desarrollo sostenible de la industria de la construcción, asegurando un suministro eficiente y responsable de agregados.

La estructura de esta investigación se organiza en varios capítulos: el Capítulo I, que aborda la introducción del estudio, planteamiento y delimitación del problema, justificación y objetivos propuestos; el Capítulo II, donde se presentan los antecedentes teóricos, bases conceptuales y la definición de términos clave que sustentan la investigación; el Capítulo III, que describe los materiales y métodos, incluyendo las zonas de estudio, el contexto geológico, el cálculo de reservas y el análisis descriptivo de la muestra y unidad de análisis; el Capítulo IV, dedicado al análisis y discusión de resultados, así como la comprobación de la hipótesis; y el Capítulo V, que presenta las conclusiones y recomendaciones, con las cuales se responde a los objetivos planteados, además de las referencias bibliográficas conforme a las normas IICA/CATIE, y finalmente los anexos. Con esta investigación, se espera proporcionar valiosos conocimientos que contribuyan a mejorar la competitividad y sostenibilidad de las canteras fluviales en un mercado en constante cambio.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Berneio, E., & Calderón, J. (2021). en su investigación titulada “Diseño de un modelo de optimización de rutas de transporte”. Revista Ingeniería y Competitividad, Universidad Autónoma de Occidente. El estudio propone un modelo de optimización de rutas aplicado a minería a cielo abierto, basado en simulaciones computacionales y análisis de costos operativos. La investigación destaca por su enfoque en la eficiencia del transporte de materiales, considerando variables como distancia, tiempo y consumo de combustible. Sus resultados permiten reducir costos logísticos y mejorar la productividad. Este enfoque resulta pertinente para la presente investigación, ya que se adapta a las condiciones operativas de la cantera Cerro Chilco.

Ballena Paredes, R. (2023). Optimización del ciclo de carguío y acarreo para evitar tiempos muertos y reducir costos operativos en la empresa Elohim S.A.C. Esta investigación se centró en la optimización del ciclo de carguío y acarreo en la empresa Elohim S.A.C., identificando y mitigando tiempos muertos y altos costos operativos. Se implementaron acciones como la capacitación del personal, mejoras en el mantenimiento de equipos y optimización de rutas, logrando una disponibilidad de equipos del 83.15% y una utilización del 72.53%. Los resultados evidencian la importancia de una gestión eficiente en las operaciones de carguío y acarreo, aplicable a contextos similares como la cantera Cerro Chilco.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Ramos Crisóstomo y Salomón De la Peña (2021) desarrollaron una investigación titulada “Optimización del ciclo de carguío, transporte y descarga de mineral para aumentar la producción de mineral en la Unidad Minera Andaychagua”, en la cual analizaron las deficiencias operativas en el sistema de transporte subterráneo de mineral de dicha unidad. Su estudio se enfocó en mejorar los tiempos del ciclo de carguío, transporte y descarga, aplicando herramientas como la teoría de colas y el análisis del factor de acoplamiento entre equipos (scooptram y volquetes), logrando así una reducción significativa de los tiempos

improductivos y optimización de los costos operacionales, calculados en \$1.20 por t- km. La metodología empleada consistió en la medición de tiempos operativos, el rediseño de rutas de transporte y la evaluación de flotas, logrando un aprovechamiento más eficiente de los equipos y aumentando la productividad minera. Este enfoque es relevante para la presente investigación, ya que se adapta a las condiciones operativas de la cantera Cerro Chilco, donde el objetivo también es optimizar el ciclo de carguío, acarreo y transporte de material fluvial mediante un análisis técnico-económico de las operaciones y la propuesta de mejoras con base en datos reales de operación.

Huisa Supho (2021) en su tesis titulada “Optimización de la ruta de transporte de mineral en labores de avance para aumentar la producción en la Unidad Minera Parcoy, Consorcio Minero Horizonte S.A. Optimización de equipos de carguío y acarreo en el tramo Botaderos - Trituradora Thyssen Krupp, para el incremento de producción en una empresa cementera”. Demostró que la optimización del ciclo de carguío y acarreo en una empresa cementera generó un incremento de producción del 11.45%, equivalente a 267,616 toneladas métricas anuales. El estudio evidenció que factores como el grado de fragmentación del material, el estado de las vías y la adecuada selección de equipos influyen directamente en la eficiencia del proceso. Estos hallazgos respaldan la importancia de evaluar y mejorar las operaciones de transporte en canteras, alineándose con los objetivos de la presente investigación en la cantera Cerro Chilco.

De La Cruz, (2021) en su tesis “Optimización y Modernización en carguío y acarreo para incrementar la producción de yeso en la Cantera – San Pedro de Mórrope”, realizó un análisis de la producción diaria que una cuadrilla de 6 obreros trabajando 5 días a la semana producen 60 toneladas de yeso, extrayendo 12 toneladas de yeso al día, donde 15 son el número cuadrillas obteniendo una producción diaria de 180 Toneladas. Para luego hacer un análisis de los costos de producción que, para el arranque, carguío y acarreo el costo de producción del yeso es de S/.9.28 por tonelada.

Inga Espinoza (2023), concluye que, al abordar la optimización del transporte de mineral en labores de avance subterráneas en la Unidad Minera Parcoy, evidencia problemas como el desacoplamiento entre los equipos de carguío y acarreo, así como rutas ineficientes. Mediante el análisis del factor de acoplamiento y el uso de herramientas como la teoría de colas, se propuso un rediseño del sistema que permitió mejorar el rendimiento del ciclo de

transporte y reducir los tiempos muertos. Este estudio sirve como antecedente para la presente investigación, ya que demuestra cómo la optimización del ciclo de transporte puede incrementar la productividad y eficiencia en operaciones mineras, lo cual se busca aplicar en el contexto de explotación de material fluvial en la cantera Cerro Chilco.

2.1.3 Antecedentes Locales

Condori, R. (2020) en su tesis “estudio del sistema de acarreo de interior mina para optimizar tiempos, disminuir costos e incrementar la producción en E.E. NCA Servicios Mina Morococha”. realizó un estudio del sistema de acarreo en interior mina enfocado en reducir tiempos improductivos y mejorar la productividad mediante el uso de KPI y análisis del rendimiento operativo por equipo. La investigación demostró que una adecuada planificación del transporte y selección de maquinaria permite optimizar costos y eficiencia. Aunque el contexto es subterráneo, la propuesta metodológica y el enfoque técnico pueden adaptarse al entorno superficial de la cantera Cerro Chilco para mejorar el ciclo de acarreo.

Puente y Reyes, (2023) en su tesis “Indicadores claves de desempeño y producción en el carguío y acarreo en una mina a tajo abierto – Huamachuco 2022”, se enfocó en identificar los Indicadores Claves de Desempeño que mejoran la producción en el carguío y acarreo en una mina a tajo abierto, obteniendo que las horas productivas y no productivas de los equipos durante los meses de abril, mayo y junio. Los resultados mostraron que los equipos de carguío acumularon 3,597 horas productivas, mientras que los equipos de acarreo registraron 1,646 horas trabajadas. Se identificaron también las horas no productivas, con 1,420 horas en los equipos de carguío y 1,426 horas en los equipos de acarreo.

Gurreonero Mamani, (2021) en su tesis “Optimización de tiempos del ciclo de carguío y acarreo en la empresa minera La Arena, Huamachuco - La Libertad” Este estudio abordó la optimización de los tiempos del ciclo de carguío y acarreo en la empresa minera La Arena, ubicada en Huamachuco, La Libertad. Mediante la implementación de un plan de gestión de mantenimiento y el análisis de indicadores como MTBS, MTTR y MTBF, se logró mejorar el factor de acoplamiento y reducir los tiempos improductivos. Los hallazgos son relevantes para operaciones mineras en la región, incluyendo la cantera Cerro Chilco, al ofrecer estrategias para mejorar la eficiencia operativa.

2.2 BASES TEÓRICAS

En las industrias actuales, optimizar el cumplimiento de la producción es esencial para alcanzar un nivel competitivo en un mercado cada vez más global. El objetivo de la optimización es reducir el tiempo del ciclo de producción y mejorar el rendimiento en varias etapas. Para lograr la optimización de la producción, es importante eliminar o reducir los costos asociados a posibles errores mecánicos, ya que estos errores pueden provocar altos costos en producciones de gran volumen o series de materiales de alto valor, tanto en términos de tiempos de inactividad como de trabajo en planta. Estas tarifas pueden suponer una pérdida de competitividad en el mercado y afectar a tu capacidad de obtener beneficios como negocio, por lo que es necesario buscar soluciones para mejorar la situación. (Aeromarine, 2014).

2.2.1 Carguío – acarreo

El proceso de carguío - acarreo de material es una de las operaciones más caras, ya que implica el mayor número de equipos, es mecanizado, funciona de forma lenta y continua. El objetivo del carguío es sacar material triturado de una pila que se ha construido para facilitar el traslado de material a la planta, botaderos y/o ubicaciones intermedias. El proceso se repite hasta que se elimine el material necesario del frente. Dado que este proceso productivo representa entre el 45% y el 65% de los costes de la mina, es crucial crear un entorno operativo que maximice el rendimiento de los equipos implicados. Esto incluye tanto los aspectos físicos (materiales, equipos, mantenimiento, disponibilidad y suministros) parte humana (operadores, mantenimiento y jefes de turno) En cuanto al transporte, este implica el movimiento de materiales desde los puntos de extracción (carguío) hacia diversos lugares (Seguridad minera, 2017)

2.2.2 Equipos de carguío - acarreo

La elección de los equipos y tamaño a conseguir constituye una fase crucial en alguna formación de factibilidad minera. El propósito es seleccionar equipos que permitan alcanzar los objetivos de producción del plan minero, al mismo tiempo que se minimicen los costos operativos y de capital, y asegurando un entorno laboral seguro.

2.2.3 Proceso de carguío – acarreo

Las dos actividades que caracterizan la función principal de una explotación minera son el carguío - acarreo. Este proceso se encarga de trasladar los estériles o el mineral que se han desmenuzado durante el proceso de voladura.

Un diseño eficaz que integre el proceso de carguío con los camiones es esencial en las operaciones de movimiento de tierras a gran escala. El procedimiento funciona en tándem con los camiones, que suelen ser un componente costoso en cuanto al carguío - acarreo. Por consiguiente, estos dos procesos unitarios se considerarán en un proceso de carguío - acarreo, porque están íntimamente conectados entre sí.

La planificación y operación óptima de minas requiere considerar todos los factores que afectan costos y productividad. Los camiones y el proceso de carguío solo funcionan como herramientas efectivas de movimiento de tierra en situaciones raras.

Dado que el proceso de carguío - acarreo ofrecen un gran grado de flexibilidad en la extracción de material, hoy en día se siguen utilizando habitualmente en las explotaciones mineras. Aunque los procesos de carguío - acarreo tienen menos restricciones, esto no quiere decir que sean rentables. La rentabilidad y la eficacia de este proceso dependen de una serie de factores, cada uno de los cuales tiene un impacto variable en los costes. Aunque no lo parezca, la combinación incorrecta de varios elementos puede suponer mucho dinero en un proceso de carguío – acarreo.

No existe un tipo de cargadora ideal para todas las aplicaciones. En los movimientos de tierras de gran volumen, dominan las excavadoras de cable por su robustez y rentabilidad, pero también son cada vez más populares las excavadoras hidráulicas de gran tamaño. Para volúmenes pequeños, dominan las excavadoras hidráulicas y las cargadoras frontales, ya que los bajos costes de inversión y la movilidad suelen ser criterios relevantes para optimizar el proceso de carga. Sin embargo, independientemente del tipo de acarreo, la decisión de utilizar volquetes como medio de acarreo es el criterio que determina el diseño global y la rentabilidad de la mina. Y cualquier planificación del uso de volquetes y cargadoras debe comenzar con una investigación exhaustiva de los métodos de transporte. (HUDSON, 2003)

2.2.4 Fundamentos básicos a considerar en un proceso de carguío y acarreo

Un proceso de carguío - acarreo se compone de una suma específica de equipos de acarreo, equipos auxiliares y carguío o de respaldo, la cual denominaremos flota. La cantidad de equipos de carguío y equipos de acarreo influye en la producción de la flota y en el tiempo requerido, para trasladar material, mineral y desmonte. “El material que se transporta por menor costo y en un tiempo específico determinado se le conoce como la flota ideal.” El primer paso crucial consiste en establecer los criterios fundamentales para el proceso de carguío - acarreo. Posteriormente, obtener una comprensión clara y puntual de todos los factores que afectan el proceso de acarreo - carguío se convierte en el punto más destacado para la producción. Esto facilitará la toma de decisiones apropiadas, optimizando el proceso productivo y minimizando costos, lo que resulta esencial para mantenerse competitivo en el mercado. (Rondan, 2014),

2.2.5 Criterios de un proceso de carguío – acarreo

Cada proceso de selección de maquinaria examina un conjunto de criterios, que incluyen aspectos básicos y generales, como un grupo adicional identificado como criterios específicos.

Se tomo en cuenta los siguientes criterios de operación en el proceso de carguío y se muestra lo siguiente:

- La cantidad de producción necesario
- El modelo, capacidad y dimensiones del equipo carguío.
- La distancia y altura del banco
- Camión de descarga o modelo de la tolva, altura y tamaño
- La situación y modelo del material como el ángulo de reposo, abrasión, cohesión, compresibilidad, adhesión, friabilidad, tamaño de fragmentos densidad del material, contenido de humedad, forma de fragmentos, higroscopicidad y razón de ensanchamiento.
- La ergonomía como también los equipos adicionales.
- Los requisitos operativos como el nivel del suelo y el espaciado o amplitud para diseñar la zona de carguío.
- Fragmentación y forma de material.
- La situación del clima y la altitud.

- La disposición y el uso de equipos.
- Equipos auxiliares.
- El desempeño del operador que depende de su sabiduría, capacidad y habilidad del operador.

Los criterios de acarreo más significativos son:

- La situación y modelo del material como el ángulo de reposo, abrasión, cohesión, compresibilidad, adhesión, friabilidad, tamaño de fragmentos densidad del material, contenido de humedad, forma de fragmentos, higroscopicidad y razón de ensanchamiento.
- La cantidad de producción necesaria.
- La especificación y capacidad de los equipos de acarreo.
- Considerando requisitos operativos en el diseño de la zona de carguío para facilitar la colocación, maniobrabilidad y la velocidad de posicionamiento de la unidad de carga, además de mantener el nivel del suelo en el área de carguío.
- La planificación del camino de transporte donde se considera la pendiente, el distanciamiento del transporte, intersecciones, curvas verticales y horizontales (radio de la curva adecuada, peraltes), límites de velocidad y señales de seguridad, alcantarillas, localización de descarga, etc.
- Para garantizar la productividad y la seguridad, es esencial mantener carreteras duras, lisas con una tracción buena (resistencia a la rodadura). Esto mantiene velocidades adecuadas y minimizan el deterioro de neumáticos.
- La situación del clima y la altitud como la neblina, tormentas eléctricas, lluvia, nevada, etc.
- El modelo del área de descarga: Se considera opciones para la descarga como parrillas, tolvas y otros. Evaluación de necesidades operativas, incluyendo la extensión y nivel del área de descarga.
- El uso y la disposición de equipos.
- La ergonomía como también los equipos adicionales.
- El desempeño del operador que depende de su sabiduría, capacidad y habilidad del operador.

Este último aspecto sobre la eficiencia del operador es crucial, ya que la capacidad del personal tanto en el carguío como en el acarreo impacta significativamente en la eficacia global y la productividad del proceso minero.

2.2.6 Factores que afectan la productividad y costo del proceso de carguío – acarreo

Varios factores afectan el costo y la eficiencia de estos procesos. Los planificadores de minas deben comprender completamente estos factores porque todos tienen un impacto en los costos así sea en un menor o mayor grado. En un proceso de carguío – acarreo, la combinación incorrecta de muchos factores, aunque pueda parecer insignificante, puede generar costos significativos.

Los factores son los siguientes:

Capacidad y selección del balde del equipo de carguío – productividad de carguío.

La eficiencia del acarreo y la productividad influirá directamente por la selección del equipo de carguío y la capacidad del balde.

Relación entre la capacidad del equipo de carguío con la capacidad del camión.

Para evitar que el volquete se deteriore rápidamente, la dimensión de la tolva del volquete no debe ser débil ni muy pequeño en comparación con la capacidad del cucharón de la máquina de carguío.

Fragmentación del material a cargar

El primer destinatario de la explosión es el carguío y se debe controlar el material volado. Si este componente desobedece con las especificaciones adecuadas, como la geometría de la ola de escombros, la granulometría y el estado del piso, la operación de carguío se verá considerablemente perjudicada, lo que resultará daños en los equipos y un aumento de costos. Además, el rendimiento del transporte disminuirá, ya que el ciclo de carga será más largo y existe la posibilidad de daños al cargar con material más grande de lo ideal.

El éxito en la fragmentación está directamente vinculado con la calidad y eficacia de los procedimientos, tales como el acarreo, el procesamiento del mineral, carguío y la disposición del lastre o estéril en los botaderos.

Acoplamiento del equipo de carguío/camión (Match pala / camión.)

Los diseñadores de minas establecen configuraciones para el carguío - acarreo, buscando un equilibrio adecuado entre el número de camiones de flota, conocido como "Match pala/camión". Esta perfecta asociación debe ser evaluada desde una perspectiva económica, considerando los costos de incremento y los costos ponderados promedio. El Match pala/camión se ve afectado por las diferencias en la flota de camiones que realizan el mismo proceso.

La operación minera que emplea camiones de carga debe coordinar la cantidad y dimensiones de los transportadores con la unidad de carguío correspondiente (pala de cable, pala excavadora hidráulica, cargador de ruedas, etc.) con el objetivo de lograr una flota perfectamente compatible. La optimización de esta coordinación minimiza por unidad el costo del material de la flota movido.

Debido a las variaciones en las condiciones de transporte, como la resistencia a la rodadura, el ancho del camino y la pendiente es esencial ajustar la cantidad de camiones para optimizar la coordinación de la flota. El análisis de la producción y costos de la flota se presenta como una herramienta útil para afinar el acoplamiento entre cargador y camión.

Para disminuir el gasto por metro cúbico o tonelada movida, es esencial garantizar que el equipo de acarreo alcance su máxima capacidad de producción. La minimización del tiempo de inactividad durante la carga se percibe como crucial.

2.2.7 Evaluación del proceso de carguío – acarreo en operación mina

De acuerdo con (Manzaneda Castillo, 2015) para evaluar un proceso de carguío – acarreo de debe realizar un diagnóstico del funcionamiento operativo de este mismo, lo que nos permite brindar información del cómo está el proceso propiamente dicho, si estamos cumpliendo con la producción según el planeamiento mina (volúmenes a transportar). Este análisis ayudara a la identificación de cuellos de botella, y las causas que las generan, como así facilitar la aplicación de medidas correctivas frente a estos eventos que atraen números negativos a la operación mina, todo este esfuerzo realizado por la obtención de estos datos con la evaluación del proceso de carguío – acarreo ayudaran a generar una operación optima aún menor costo operativo.

Según (Manzaneda Castillo, 2015) para los trabajos de gran movimiento de material como la operación mina es crucial un diseño eficiente de toda la operación mina en la que la actividad opere de una manera integrada de carguío con los equipos de acarreo, debido a que la combinación de estas 2 actividades representa un mayor porcentaje del costo total frente a las otras operaciones unitarias, es por ello la importancia de ir midiéndolo, contralándolo y aplicando la mejora continua. De este modo, consideraremos estas dos operaciones individuales como un proceso, dado que están estrechamente interrelacionadas.

Se evalúan todos los elementos que influyen en los costos y la eficiencia de estos procesos para una operación y planificación minera óptimas. Los equipos de carguío - acarreo no pueden trabajar por sí mismos, porque son una herramienta efectiva en la operación mina, excepto en raras circunstancias, donde se requiera que realicen trabajos fuera. El proceso de carguío - acarreo con la mejora continua es empleado hoy en día en la operación mina por su alta flexibilidad y versatilidad en los equipos empleados para esta actividad cuyo fin es la extracción del material (ore and waste). Los procesos de carguío - acarreo tienen menos restricciones, pero esto no significa que sean económicos. La eficiencia y el costo efectivo del proceso son sensibles y propensos a cambios repentinos por los diversos elementos operativos que ayudan o dificultan la actividad de extracción de material (ore and waste) cuyos impactos se reflejan en la operación mina para cada actividad. La inadecuada evaluación de estos factores, puede resultar costoso en un proceso de carguío – acarreo por la generación de tiempos in productivos.

Para ello mencionaremos los aspectos más importantes que se tiene que tener presente para la evaluación del sistema carguío – acarreo.



Figura 01: Proceso de Carguío – Acarreo en operaciones.
Fuente: Juan & Andres, 2016.

2.2.8 Actividades en un proceso de carguío – acarreo

Una vez desarrollados los conceptos anteriores en el ítem líneas arriba ya mencionadas nos servirán para poder desarrollar aquellos conceptos importantes que uno debe conocer para el proceso de carguío – acarreo donde la intervención de ambos procesos como un factor de acoplamiento ayudara a tener una alta funcionabilidad operativa logrando un trabajo seguro.

Frente a esta definición es importante mencionar que las funciones principales del ciclo de acarreo – carguío y su asignación óptima se fundamentan en:

- La actual velocidad y posición del equipo de acarreo.
- La estimación del tiempo de llegada a los destinos
- El tiempo de llegada estimado de los equipos de carguío.

Para poder entender las actividades que se registran en los aspectos líneas arriba se muestra lo siguiente:

Viajando vacío, esperando, cuadrando, cargando, acarreando, en cola, retrocediendo, descargando, todo esto resumido por un código de producción, según la base de datos del software. Entonces en resumen se tiene:

Viajando vacío: Comienza cuando el camión va hacia la excavadora como resultado de su asignación.

Esperando: Esto comienza cuando el camión se para en la zona de carga

Cuadrando: Esto comienza cuando el camión regresa en el interior de la zona de carga.

Cargando: Esto comienza después de la inicial pasada o cuando la velocidad alcanza a cero kilómetros por hora dentro del alcance de la excavadora.

Acarreando: Comienza al recibir la señal de finalización de la carga por parte de la excavadora o cuando el volquete se retira de la zona.

Cola: Comienza al detenerse el camión al comienzo de la zona de descarga.

Retrocediendo: Comienza cuando retrocede el camión dentro de la zona de descarga.

Descargando: Comienza una vez que se ha detenido tras retroceder en la zona de descarga y elevar la tolva

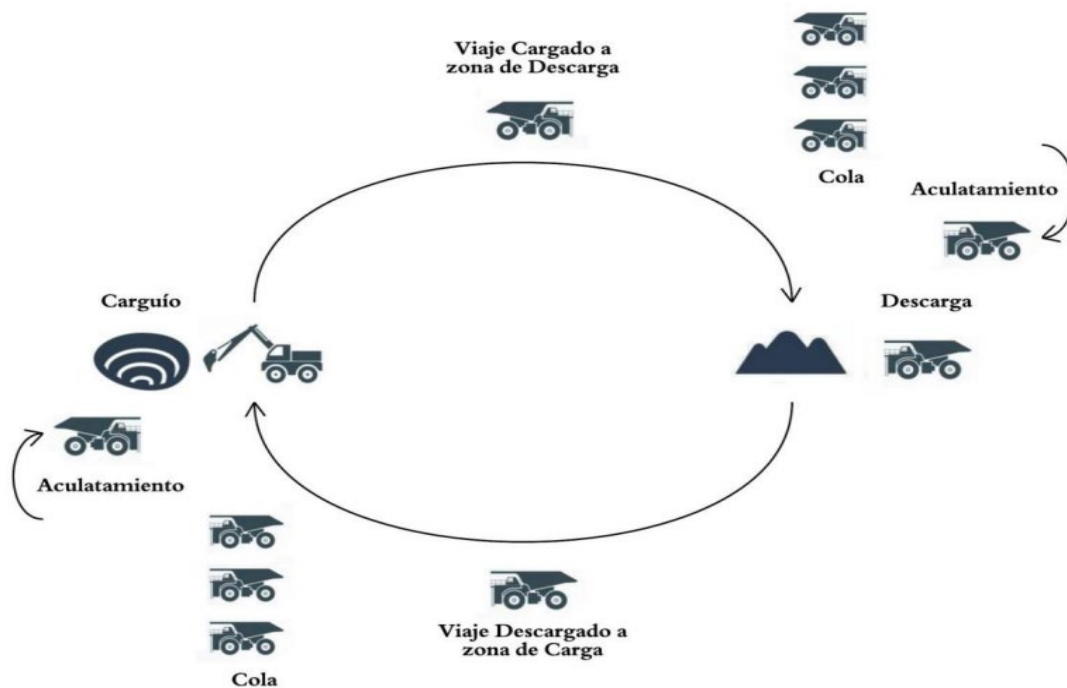


Figura 02: Ciclo de carguío y acarreo en operaciones
Fuente: Murga & Vargas, 2016.

2.2.9 Ciclo de acarreo en operación mina

Conceptualiza el ciclo de acarreo como el periodo empleado por el equipo de acarreo para poder transportar material desde un punto de inicio hasta un punto final, es importante mencionar que para la consideración del ciclo de acarreo tendremos tiempos fijos que ya están estandarizados en maniobras en los puntos de carguío y descarga, como así mismo el tiempo empleado durante toda la ruta de acarreo, este vendría a ser un tiempo variable, es considerado así porque para cada ciclo las condiciones de la ruta es variable respecto a los obstáculos que se puedan presentar. Esto se resume en el siguiente gráfico:



Figura 03: Ciclo de acarreo de un camión en operaciones.
Fuente: Juan & Andres, 2016.

2.2.9.1 Factor de acoplamiento (Match Factor) de un proceso de carguío – acarreo

Existe muchas definiciones relacionadas al respecto cuyo propósito en común es calcular el número óptimo de máquinas de acarreo para una máquina de carguío en específico en función al rendimiento operativo, por lo que en este punto se brindan algunos alcances de este factor ampliamente empleados en movimiento de tierras y trabajos mineros, el cual también será útil para dimensionar equipos de acarreo.

Frente a esa introducción este factor se refiere a la proporción entre la producción del equipo de acarreo de tierras y la producción del equipo de carguío.

A continuación, se muestra la fórmula de Match Factor (Factor de acoplamiento) que se empleara en el trabajo de investigación.

$$MF = \frac{\text{Produccion equipo de transporte}}{\text{Produccion equipo de carguío}} = \frac{N.P \text{ camión}}{C.P \text{ cargador}}$$

Donde:

MF: Match Factor

N: Se refiere al número de camiones

C: Se refiere al número de cargadores P camión: El rendimiento de un camión

P cargador: El rendimiento de un cargador

Según el autor (Ortiz Oswaldo, Canchari, Iglesias and Gonzales, 2007) en términos de la efectividad de la unidad del sistema de carguío - acarreo, el indicador MF (match factor) puede dar lugar a tres resultados potenciales:

Si $MF < 1$, En otras palabras, esto indica que hay una insuficiencia en la cantidad de camiones disponibles. Se expresa que "falta camión", lo que implica que la máquina de carga debe ajustarse al ritmo de llegada de los camiones, quedando a la espera sin la posibilidad de cargar hasta que llegue un nuevo camión al área designada, resultando en la incapacidad de aprovechar toda su capacidad de carga.

Si $MF > 1$, En otras palabras, hay un exceso en la cantidad de camiones disponibles. Se menciona que "sobra camión", lo que implica que estos deben ajustarse al ritmo de carga, esperando su turno para ser cargados y sin poder aprovechar completamente su suficiencia de transporte.

Si MF=1, Es decir se refiere al calce perfecto entre equipo de carguío – acarreo en cuanto a la productividad.

2.2.9.2 Criterios operativos directos de un proceso de carguío – acarreo

Es importante conocer que, en la ingeniería minera, la directriz principal para el diseño es la siguiente: La maquinaria establece el proceso de carguío - acarreo y la configuración geométrica del diseño de la minería. Conocer esta regla es muy importante en la industria minera, porque una mala decisión en función lo mencionado líneas arriba podría representar un gran costo y una gran pérdida en la producción.

2.2.9.3 Indicadores o KPI en un proceso de carguío – acarreo

Los KPI, que son las siglas en inglés de Indicadores Clave de Rendimiento (Key Performance Indicators), evalúan integralmente el procedimiento basándose en el rendimiento, identificando deficiencias y corrigiéndolas, así como identificando resultados positivos y promoviéndolos. Para nuestro caso de estudio mencionaremos ciertos KPI'S que ayudan a la operación mina tener un mayor control de los recursos que se utilizan para poder acarrear un m³ o tonelada de material.

2.2.9.4 Rendimiento en el proceso de carguío – acarreo

En la minería se emplea la palabra “producción” con la misma acepción que “rendimiento”, donde estos términos de ingeniería se refieren a “la magnitud o cantidad generada, en un periodo específico”. Tal vez una descripción más precisa de estos términos, cuando se utilizan en la industria del movimiento de tierras como, "la labor efectiva realizada". Se puede calcular matemáticamente a través de la siguiente relación:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Cantidad}}{\text{Tiempo}} ; (\text{m}^3/\text{hr o Tn/hr})$$

Donde:

Cantidad: Expresado en volumen

Tiempo: Es expresado términos de días, horas, jornal, etc.

Con esta relación podremos tener un diagnóstico de cómo esta nuestra operación operativamente si es rentable o no.

2.2.9.5 Rendimiento en el proceso de carguío

De acuerdo al autor (Malpica Quijada, 2014) para poder determinar el rendimiento de un equipo de carguío (excavadora) se fundamenta en el tiempo que demora en completar un ciclo de trabajo y se establece un factor de eficacia conforme a las condiciones particulares de cada labor. Posteriormente, la cantidad de volumen excavado por hora será:

$$R = \frac{3600 * Q * E * K}{T * FV} ; (m^3/hr \text{ o } Tn/hr)$$

En donde:

R= Es el rendimiento (m3/Hora)

Q= Es el volumen o capacidad del cucharón (m3)

K= El factor de llenado del cucharón (depende de las dimensiones y capacidad del cucharón)

E= Indica el factor de eficiencia

T= Indica el tiempo de un ciclo (s)

FV= Es el factor de abundamiento

2.2.9.6 Tiempo de ciclo por pala

El tiempo de ciclo por cada pala es fundamental ya que será de importancia para determinar el tiempo de carguío por volquete y será de la siguiente manera:

$$T. \text{ ciclo pala.} = Tc + Tl + Tg + To + Tr \text{ (Seg.)}$$

Donde:

Tc: Tiempo de corte (Seg.)

Tl: Tiempo de levante (Seg.)

Tg: Tiempo de giro (Seg.)

To: Tiempo de descarga (Seg.)

Tr: Tiempo de retorno (Seg.)

2.2.9.7 Rendimiento en el proceso de acarreo

Según (Malpica Quijada, 2014) los equipos de acarreo en este caso los volquetes son usados para acarrear material suelto procedente de la voladura que podría ser mineral o desmonte, esto sujeto a la estratigrafía y mineralogía del yacimiento. Los volquetes realizan un trabajo eficaz en el acarreo de mineral o desmonte. Estas unidades de acarreo realizan un trabajo ideal por que se desplazan a velocidades bastante elevadas y al mismo tiempo pueden

trasladar grandes volúmenes de material. El rendimiento del equipo de acarreo, incluye en forma general a los volquetes dentro y fuera de las carreteras, serán calculados con la siguiente fórmula:

$$R = \frac{Q * 60 * E}{T} ; (m^3/hr \text{ o } Tn/hr)$$

Donde:

R= Es el rendimiento de volquete (m3/hora) (Medidos en banco)

Q= La capacidad del equipo (m3).

T= El tiempo necesario para completar un ciclo completo (m)

E= El factor de rendimiento del trabajo

2.2.9.8 Tiempo de ciclo de acarreo

Se refiere a la suma total de los tiempos o intervalos de maniobras que realizan los volquetes para concluir un ciclo, y está conformado por los siguientes elementos:

$$T1 + T2 + T3 + T4 \text{ (min)}$$

T1= Tiempo de maniobras y posicionamiento (min)

T2= Tiempo de ida (min)

T3= Tiempo de descarga (min)

T4= Tiempo de vuelta (min)

2.2.9.9 Tiempo de espera de los volquetes

El tiempo de espera de los camiones en cada uno de los ciclos, puede calcularse mediante la siguiente expresión:

$$Et = (N - 1) Tc - Tt$$

Donde:

Et: Tiempo de espera de los volquetes.

N: Numero de volquetes

Tc: Tiempo de Carga.

Tt: Tiempo de Transporte.

2.2.10 Eficiencia horaria en el proceso de carguío – acarreo

La eficiencia horaria se refiere a la proporción de tiempo en que la máquina está activa durante la jornada de trabajo. Este factor es determinado de acuerdo a las condiciones de horario de trabajo y típicamente es de 5/6 indicando que la máquina trabaja 50 minutos de cada 60. (Manzaneda Castillo, 2015)

La eficiencia máxima solo se logra al combinar una ejecución adecuada de la aplicación y la planificación de las relevantes prácticas operativas adaptadas a las condiciones y circunstancias específicas que surgen en los lugares de trabajo en cada momento.

Cuyo factor de eficiencia (E) está dada por la siguiente formula:

$$E = \frac{\text{Tiempo efectivo de trabajo en una hora (45 – 50min)}}{\text{Duración de tiempo (60 min)}} (\%)$$

Donde:

E: Factor de eficiencia horaria

Entonces las horas trabajadas efectivamente en una jornada de trabajo vendrían a ser:

$$\text{Eficiencia horaria} = Ht * E$$

Donde:

Ht: Horas trabajadas durante una jornada de trabajo

2.2.11 Actividades complementarias para optimizar un proceso de carguío – acarreo

La importancia de la ejecución de actividades complementarias dentro de la operación mina ayudaran a generar alternativas de continua mejora en el proceso de acarreo y carguío, siendo objeto de planificación y programación diaria para el desarrollo de estas actividades en el tiempo y espacio oportuno cuyo aporte será en la minimización de periodos poco productivos de los equipos empleados para el proceso de carguío - acarreo, frente a este concepto la actividad de perforación y voladura jugara un rol importante para el operación unitaria de carguío como así para el proceso de mine to mill, y para el caso del acarreo el mantenimiento de vías, serán el mayor soporte, a continuación desarrollaremos las actividades más principales que son el soporte para el buen desarrollo del carguío – acarreo.

Trabajos auxiliares en operación mina: Los trabajos auxiliares dentro de la operación mina son actividades esenciales para poder generar una operación segura y de alto rendimiento, por ende, darle la importancia en el tiempo y espacio es fundamental, como así mismo tener una planificación diaria, semanal y mensual de estas actividades será una oportunidad de mejora con el único objetivo de poder tener una operación óptima.

- Mantenimiento de vías de acarreo
- Habilitación de frentes de trabajo y puntos de descarga de material botadero

2.2.11.1 Productividad

La productividad relaciona la obtención de la mayor satisfacción empleando el menor costo o fatiga. En términos matemáticos la productividad es el cociente que se obtiene en la división de la producción y los insumos utilizados para obtener dicha producción. Es así que este término es una medida de la excelente utilización de los recursos para cumplir con los resultados esperados. Es así como una organización tiene como objetivo principal en sus procesos el incremento de la productividad, esto se debe a que la empresa prioriza mejorar sus procesos productivos o desaparecer; en otras palabras, avanza para no retroceder o sucumbe. (Riveros, 2016).

También se define como la capacidad de utilizar menos recursos y producir más. En otros términos, significa reducir los costos al emplear correctamente la cantidad adecuada de los equipos; ya sea de carguío o acarreo y que permita menores presupuestos. (Baldeón, 2011).

$$\frac{\$}{tn} = \frac{\$/hr}{tn/hr} = \frac{\text{Costo Horario}}{\text{Rendimiento}} = \frac{\text{Produccion}}{\text{Insumos}} = \text{Productividad}$$

Existen factores que afectan el rendimiento (de la mano de obra y de los equipos), la producción y la utilización de los equipos; por consiguiente, esto influye sobre la productividad de la obra tanto negativa o positivamente. Una de las finalidades de la administración es aumentar los factores positivos y disminuir los negativos, que tienen influencia directa en la productividad. (Cadena, 2013).

2.2.11.2 Factores que afectan la productividad

Existen múltiples factores que afectan a la productividad, esto se debe a la complejidad del trabajo, los más importantes son:

2.2.11.3 Factores que tienen un efecto negativo sobre la productividad

Son factores que influyen negativamente a la productividad como, por ejemplo:

- Cansancio de los operadores por trabajo excesivo.
- Indicaciones incorrectas del supervisor
- Cambios durante la ejecución del trabajo
- Falta de supervisión del trabajo
- Mala voladura genera tamaños inadecuados de material para su transporte
- Condiciones climáticas adversas
- Malas condiciones de trabajo, como falta de iluminación
- Alto índice de accidentes. (Maruri, 2016).

2.2.11.4 Factores que afectan positivamente a la productividad

Algunos de los factores que ayudan a mejorar la productividad son los siguientes:

- Capacitación del personal
- Seguridad en obra
- Mejoramiento de las técnicas de operación del equipo
- Planificación adecuada del trabajo
- Programas de motivación para el personal
- Adecuado mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos
- Diseños de vías y zonas para trabajar con mayor comodidad
- Buena fragmentación de la roca volada
- Comunicación constante y eficaz entre la supervisión y operadores
- Correcta planificación del mantenimiento de los equipos. (Maruri, 2016).

2.2.11.5 Factores que afectan el rendimiento de la maquinaria

Las unidades de trabajo más comúnmente empleadas en movimiento de tierras son los metros cúbicos (m³) o toneladas (ton); mientras que la unidad de tiempo más empleada es la hora, aunque la producción también se expresa por año, mes o día. Siendo el trabajo realizado del equipo y las horas empleadas, la relación que nos calcula el rendimiento de la maquinaria y los factores que afectan el rendimiento de la maquinaria son: (Apaza, 2017).

2.2.11.6 Demoras de rutina

- Periodo de abastecimiento de combustible y lubricante.
- Demoras inevitables
- Factor humano: cansancio, necesidades, etc.

- Mantenimientos de rutina

2.2.11.7 Restricciones en la operación óptima

- Ángulo de giro.
- Profundidad de corte o altura.
- Coeficiente de rodamiento
- Pendientes de ataque.

2.2.11.8 Condiciones del sitio

- Condiciones Físicas: geología, topografía, altura sobre el nivel del mar,
- humedad del terreno, etc.
- Condiciones Climáticas: lluvias, niebla, tormentas, temperatura, lluvias según
- la época del año.
- Condiciones de aislamiento, vías de comunicaciones, periodos de abastecimiento.

2.2.11.9 Por la dirección y supervisión

- Planeación, organización y operación de la obra.
- Experiencia y conocimiento de los responsables de planear la operación.
- Vigilancia y conservación de la maquinaria.
- Talleres.
- Suministro de materiales y personal.
- Servicios auxiliares.

2.2.11.10 Por la actuación del contratante

- Suministro de planos, especificaciones y datos de campo.
- Por el tipo de ingeniero supervisor y/o residente, su disponibilidad y
- permanencia, satisfaga a las autoridades y dirija a su personal, aclare y explique los planos, especificaciones y datos de campo.

2.2.12 Canteras

Canteras es el término genérico que se utiliza para referirse a las explotaciones de minería de no metálicos como son rocas industriales, ornamentales y de materiales de construcción. Constituyen el sector más importante en cuanto a número, ya que se han venido explotando desde hace mucho tiempo para la extracción y abastecimiento de materias primas para la construcción y obras de infraestructura. Antiguamente, debido al poco valor que tenían los

materiales extraídos, las canteras se situaban muy cerca de los centros de consumo y poseían dimensiones reducidas. En líneas generales el método aplicado es el de banqueo, con uno o varios niveles, siendo los más habituales las canteras en laderas. Las canteras se pueden subdividir en dos sub grupos:

- Primeramente, cuando se desea obtener un todo en uno fragmentado apto para alimentar a las plantas de tratamiento y obtener un producto destinado a la construcción en forma de áridos, a la fabricación de cementos, a la fabricación de productos industriales, etc. En estas explotaciones la extracción no es cuidadosa y se dan grandes alturas de banco.
- Después tenemos los métodos destinados a la extracción cuidadosa de grandes bloques paralelepípedos, que posteriormente se cortan y elaboran. Estas explotaciones se caracterizan por el gran número de bancos que se abren para arrancar los bloques y la maquinaria especial necesaria para realizar cortes limpios

2.2.13 Graveras

Los materiales detríticos, como son las arenas y las gravas, albergados en los depósitos de valle y terrazas de los ríos, son objeto de una explotación intensa debido a la demanda de dichos materiales por el sector de la construcción. Las arenas y los cantos rodados se encuentran poco cohesionados, por lo que las labores de arranque se efectúan directamente por equipos mecánicos. Las explotaciones suelen llevarse a cabo en un solo banco, con una profundidad inferior, por lo general, a los 20 m. Cuando las formaciones se encuentran en niveles altos, se utilizan equipos convencionales, como son las palas cargadoras de ruedas y los volquetes. Sin embargo, es frecuente que los materiales se presenten en contacto con el sub alveo o los acuíferos infrayacentes, empleándose entonces otros equipos mineros como son las dragas, las dragalinas o las raspas, dando lugar a la posterior formación de lagunas.

2.2.14 Clasificación de los sistemas de arranque

Después de haber definido el método aplicable, es necesario establecer el sistema de explotación, que estará constituido por los diferentes equipos de arranque, carga y transporte.

Según la continuidad del ciclo básico, se diferencian los siguientes sistemas:

- Sistema totalmente discontinuo
- Sistema mixto con chancadora estacionaria dentro de la explotación
- Sistema mixto con chancadora semimóvil dentro de la explotación.

- Sistema continuo con chancadora móvil y arranque discontinuo
- Sistema de transporte mixto y arranque continuo
- Sistema de arranque y transporte continuos.

A su vez, en cada uno de los sistemas, la maquinaria utilizada puede ser distinta, pues, por ejemplo, en el arranque continuo es posible emplear rotopalas o minadores y, en el transporte continuo, bandas transportadoras convencionales, cintas de alta pendiente, mineroductos, etc.

2.2.14.1 Sistema totalmente discontinuo

La operación de arranque, con o sin voladura, se lleva a cabo con equipos discontinuos y el transporte se efectúa con volquetes mineros. Es, actualmente, el sistema más implantado debido a su gran flexibilidad y versatilidad.

2.2.14.2 Sistema mixto con chancadora estacionaria dentro de la explotación

Una parte de la operación se realiza con medios semejantes al sistema anterior, hasta una trituradora instalada dentro de la explotación, con la que se consigue una granulometría adecuada para efectuar desde ese punto el transporte continuo por cintas.

2.2.14.3 Sistema mixto con chancadora semimóvil dentro de la explotación

Conceptualmente es igual al sistema anterior, pero con mayor flexibilidad, ya que la trituradora puede cambiarse de emplazamiento cada cierto tiempo, invirtiendo en estos traslados varios días o semanas.

2.2.14.4 Sistema de transporte mixto y arranque continuo

Esta es una variante de la alternativa anterior, donde se ha sustituido el arranque discontinuo por una excavadora o equipo similar. Es un sistema poco común, aunque algunas minas lo aplican.

2.2.14.5 Sistema continuo con chancadora móvil y arranque discontinuo

En este sistema se prescinde del transporte con volquete, ya que la chancadora móvil acompaña constantemente por el tajo al equipo de arranque y carga discontinuo.

2.2.14.6 Sistema de arranque y transporte continuos

Es, por excelencia, el sistema que aporta un mayor porcentaje de electrificación, ya que todas las unidades, excepto las auxiliares, van accionadas por motores eléctricos.

2.2.15 Definición de materiales agregados

Las sustancias denominadas “agregados de construcción” o “áridos de construcción” pueden definirse como los materiales que cumplen las siguientes condiciones:

- Ser materiales minerales,
- De origen natural o artificial
- De carácter sólidos y además inertes
- Dimensionados en las granulometrías y formas adecuadas, utilizados, mediante su mezcla íntima con aglomerantes de activación hidráulica (cales, cementos, etc.) o con ligantes bituminosos, para la fabricación de: Hormigones, productos artificiales resistentes, aglomerados asfálticos, zahorras para la construcción de bases y subbases granulares, bases estabilizadas, etc. en construcción de obras de infraestructura), Balastos, Sub-balastos y gravillas de las vías de ferrocarril, escollera como elemento de protección frente a la erosión marina, fluvial o eólica, rellenos de diverso tipo, materias primas para la industria.

2.2.16 Importancia económica de los agregados

El consumo de áridos está íntimamente relacionado con el desarrollo socioeconómico de cada país y, consecuentemente, con la calidad de vida alcanzada en la sociedad.

Los áridos suponen hasta un 50% de la producción minera mundial, a pesar de que, su dispersión y minifundio no permita conocer con buena precisión las producciones. En el Perú hay 150 canteras registradas en el Minem operando en la extracción de estos materiales, y aunque las canteras vayan cerrando y abriendo dependiendo del mercado de la construcción, se prevé que el número de estas aumentara ya que el Perú es un país en crecimiento y por ende la demanda de áridos para la construcción aumentara.

2.2.17 Clasificación de los agregados en cuanto a su origen y naturaleza

2.2.17.1 Naturales

Agregados granulares, obtenidos básicamente de graveras y donde el material extraído se usa tras haber sufrido un lavado y una clasificación. Así mismos agregados de machaqueo, obtenidos a partir de la trituración, molienda y clasificación de diferentes rocas de cantera o de las granulometrías de rechazo de los áridos granulares.

2.2.17.2 Artificiales

Constituidos por subproductos o residuos de procesos industriales, como son las escorias siderúrgicas, las cenizas volantes de la combustión del carbón, estériles mineros, etc.

2.2.17.3 Reciclados

Procedentes de materiales de demolición y derribo de edificaciones (hormigones, cerámicos, etc.) y/o de estructuras de firmes antiguos, etc.

2.2.17.4 Ligeros

Productos naturales o artificiales que se usan para la obtención de piezas o elementos de obra de bajo peso y/o aislantes.

2.2.17.5 Asimilados

Materiales de préstamo, utilizables sin modificación de sus características naturales o con pequeñas modificaciones de adición de productos estabilizantes o tratamientos mecánicos en la construcción de terraplenes y pedraplenes fundamentalmente y materiales de escollera, natural o artificial, constituido por bloques de formas y características variables en función de las condiciones y especificaciones de la obra.

2.2.18 Clasificación de los agregados en cuanto a su tamaño

Su clasificación y su valor económico vienen condicionado por la granulometría, que en general se denomina de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 01: Clasificación de agregados por su tamaño.

Denominación	Tamaño en mm
Escollera	>200
Cantos gruesos	100 – 200
Cantos medios	20 – 100
Grava	2 – 20
Arena	0.02 – 2
Limo	0.002 – 0.02
Arcilla	< 0.002

Fuente: Herrera, 2019.

2.2.19 Tipos de canteras

2.2.19.1 Canteras en terrenos horizontales

Las labores se inician en forma de trinchera, hasta alcanzar la profundidad del primer nivel, ensanchándose a continuación el hueco creado.

La ampliación del hueco en superficie puede compaginarse con la profundización, compensándose distancias de acarreo.

Desventajas:

- Fundamentalmente la necesidad de efectuar el transporte de materiales contra pendiente.
- Mayores costes en el dimensionamiento adecuado de los sistemas de drenaje y bombeo para mantener seca la explotación.

Ventajas:

- Una vez excavado un hueco con las suficientes dimensiones, es posible instalar la planta de tratamiento dentro del mismo, consiguiéndose un menor impacto y una menor ocupación de terrenos.
- Permiten proyectar la pista general de transporte en una posición que no tenga que moverse en mucho tiempo.
- Permiten la instalación de un sistema de cintas transportadoras.



Figura 04: Distribución de Cantera Cerro Chillco.

2.2.19.2 Canteras en ladera

Estas explotaciones son las más numerosas y se caracterizan por un gran número de bancos, aunque hasta hace pocos años la tendencia era trabajar con pocos bancos muy altos.

Según la dirección de los trabajos de excavación, pueden distinguirse las siguientes alternativas:

Avance frontal y frente de trabajo de altura creciente:

- Es la alternativa más frecuente por la facilidad de apertura de las canteras y a la mínima distancia de transporte inicial hasta la planta de tratamiento.
- El frente de trabajo está siempre activo, salvo en alguna pequeña zona.
- El frente es progresivamente más alto, por lo que es inviable proceder a la restauración de los taludes hasta que no finalice la explotación.

Excavación descendente y abandono del talud final en bancos altos:

- Permite iniciar la restauración con antelación y desde los bancos superiores hasta los de menor cota.
- Requieren una definición previa del talud final y, consecuentemente, un proyecto a largo plazo.
- Exigen constituir toda la infraestructura viaria para acceder a los niveles superiores desde el principio y obliga a una mayor distancia de transporte en los primeros años de la cantera.

Avance lateral y abandono del talud final:

- Se puede llevar a cabo cuando la cantera tiene un desarrollo transversal reducido, profundizándose poco en la ladera, pero con un avance lateral amplio.
- Permite recuperar taludes finales una vez excavado el hueco inicial, así como efectuar rellenos parciales
- Permite mantener de forma constante la distancia de transporte siempre que la instalación se encuentre en el centro de la corrida de la cantera.

Excavación troncocónica con pérdida de macizo de protección:

- En todas las variantes mencionadas los sistemas mineros suelen ser discontinuos, ya que por su mayor flexibilidad se adaptan mejor a las condiciones cambiantes que se presentan a lo largo de la vida de las canteras.



Figura 05: Excavación directa en canteras con excavadora.

2.2.20 Explotación de materiales de origen fluvial

Los depósitos fluviales están conformados por sedimentos transportados y depositados por corrientes de agua, tales como gravas, arenas y limos. Este tipo de material se caracteriza por su buena clasificación granulométrica y forma redondeada, lo que los hace aptos para diversas aplicaciones en la industria de la construcción. La explotación de canteras de origen fluvial requiere un estudio detallado del depósito, incluyendo su estratificación, distribución espacial, humedad y granulometría, con el fin de planificar una extracción eficiente y sostenible. Según Romero (2016) menciona que sus características físicas, los depósitos fluviales presentan una disposición geológica influenciada por la dinámica del sistema hidráulico que los formó, lo cual genera variaciones en la granulometría, compactación y contenido de finos a diferentes profundidades. Esta heterogeneidad puede afectar la calidad del material extraído y debe ser considerada en el diseño de la malla de extracción. Por ello, es fundamental realizar estudios geotécnicos y muestreos sistemáticos que permitan establecer perfiles estratigráficos precisos.

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Cantera: Una cantera es una explotación minera, generalmente a cielo abierto, en la que se extraen rocas industriales, ornamentales, áridos o pizarra (Instituto Geológico y Minero de España IGME, 2020).

Material fluvial: Se refiere a los materiales sueltos (como gravas, arenas y limos) depositados por los ríos a lo largo del tiempo, y que son utilizados comúnmente como agregados en la industria de la construcción (Vargas & Salazar, 2017).

Carguío: Es la operación minera en la cual se utiliza maquinaria pesada para recoger el material previamente fragmentado y cargarlo en los equipos de transporte (Camus, 2009).

Acarreo: Consiste en el desplazamiento del material desde el frente de trabajo hasta un punto de descarga o almacenamiento, utilizando volquetes o camiones de carga (Chávez, 2015).

Transporte de material: Es la acción de trasladar el material extraído desde la cantera hacia el sitio de procesamiento, acopio o directamente a su destino final (Sánchez & Rivas, 2018).

Optimización del ciclo de carguío y acarreo: Se refiere a la mejora de las etapas del proceso minero con el fin de reducir tiempos de operación, costos y aumentar la eficiencia productiva (Moreno, 2021).

Productividad minera: Es la relación entre la cantidad de material extraído y los recursos utilizados (tiempo, maquinaria, personal), reflejando la eficiencia de la operación minera (Gómez & Martínez, 2016).

Tiempos improductivos. Las demoras o tiempos improductivos, son los tiempos en el que no se ejecuta un trabajo eficaz, puede estar derivado por numerosos factores, tanto externos como internos al trabajado. (Asunción, 2019).

Movimiento de tierras. Todas las actividades que involucren la remoción, reemplazo y uso de suelos naturales del sitio, de préstamo, o material de roca. (Coimolache, 2018).

Ciclo de carga. Corresponde al lapso que se registra cuando el operador libera la primera carga de material en el camión hasta que concluye cuando el operador de la excavadora señala con la bocina al camión, indicando que este se encuentra lleno.

Acarreo o Transporte. En la etapa de movimiento de tierras el acarreo es la actividad, en la cual los equipos de acarreo después de ser cargados, llevan el material al depósito de material orgánico (DMO) o al depósito de material inadecuado (DMI), dependiendo si es suelo orgánico o inadecuado. (CIJ&RC, 2018)

Camión volquete. Es un vehículo empleado en actividades de construcción y minería diseñado para transportar distintos materiales, compuesto por una caja bascular o tolva.

Excavadora. Una máquina que se distingue por su capacidad para aferrarse eficazmente a cualquier tipo de terreno es este equipo autopropulsado de orugas. Esta maquinaria, con una estructura al chasis independiente, tiene la habilidad de realizar giros continuos de 360° en cualquier dirección. En el ámbito minero, se usa para la excavación de terrenos, pero su función principal es el carguío.

Material Inadecuado. Son materiales no apropiados para la cimentación, tales como, materiales sueltos como suelos residuales; además de suelos blandos como arcillas y limos. (Cárdenas, 2017).

Rendimiento. se refiere a la producción teórica que puede lograrse con una máquina.

Desbroce. Esta labor implica la preparación y acondicionamiento del terreno natural en las áreas destinadas a los trabajos del proyecto vial, así como las zonas laterales asignadas para la vía. Este proceso abarca la eliminación de rastrojos, bosques, maleza, pastizales, cultivos y entre otros, y comprende la extracción de desechos, tocones, escombros y raíces, asegurando que la superficie quede libre de vegetación y lista para las fases subsiguientes.

Vías de transporte. Son las vías internas de una operación minera (explotación) que facilitan el transporte de minerales y materiales estériles, así como el desplazamiento de servicios y equipos entre distintos puntos. Estas rutas se distinguen por su amplitud y su inclinación variable, adaptándose a las condiciones específicas de cada explotación a cielo abierto.

Productividad. La productividad se define como la cantidad de producción de una unidad de producto o servicio, por insumo de cada factor utilizado por unidad de tiempo. En operaciones la productividad sirve para evaluar el rendimiento de las maquinas, los equipos de trabajo y los empleados. (Apaza, 2017)

KPI. Por sus siglas en inglés, Key Performance es una métrica utilizada para evaluar el rendimiento de un proceso, actividad o área específica dentro de una organización, permitiendo medir el grado de cumplimiento de los objetivos establecidos. En el contexto de una cantera, los KPIs son fundamentales para monitorear y mejorar la eficiencia operativa, ya que permiten identificar cuellos de botella, optimizar recursos y tomar decisiones basadas en datos. Algunos ejemplos aplicables al ciclo de carguío, acarreo y transporte incluyen el tiempo promedio del ciclo, las toneladas transportadas por hora, el consumo de combustible por tonelada y la disponibilidad mecánica de los equipos, todos ellos orientados a maximizar la productividad y reducir los costos operativos. (Huarocce, 2014).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1 Geográfica

Geográficamente la investigación se ubica en la hoja 15-e perteneciente a la zona 17S, y a la concesión minera Alma Mia II - Cerro Chilco (catastro minero: 030006518). al SW de la ciudad de Cajamarca, ubicado en el Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM) DATUM WGS-84, que cubre un área aproximada de 20 Km². Sus vértices se describen en la Tabla 13. (*Ver Anexo I*)

Tabla 02: Coordenadas UTM-WGS84 de los vértices de la zona de investigación.

Vértice	Latitud	Longitud
1	9,175,000.00	674,000.00
2	9,174,000.00	674,000.00
3	9,174,000.00	672,000.00
4	9,175,000.00	672,000.00

Fuente: Concesión Minera Alma Mia II - Cerro Chilco

- **Titular:** WILLIAM JUNIOR RAVELLO ALAYO
- **Área:** 200 hectáreas.

3.1.2 Política

El área de investigación se ubica en el departamento de La Libertad, provincia de Pacasmayo, distrito de San Pedro de Lloc y caserío de Duro Alto, específicamente en la zona media–baja de la quebrada Cupisnique - Cerro Chilco (*Ver Anexo. Plano N° 01: Ubicación*).

3.1.3 Accesibilidad

La principal ruta zona de estudio se sigue una vía terrestre asfaltada desde la ciudad de Cajamarca que va a la ciudad de Trujillo, vía asfaltada de doble carril en buen estado que permite un viaje tranquilo y rápido por una zona que nos ofrece un atractivo paisaje y un panorama encantador.

Si viajamos de Cajamarca a Pacasmayo nos dirigimos por la carretera a la Costa. Un recorrido de 4 h aprox. y de 198 Km a una velocidad de 60 Km/h. luego tomamos la ruta Pacasmayo- San Pedro de Lloc y finalmente San Pedro de Lloc - zona de estudio. Un recorrido de aprox. y de 18.9 Km.

Tabla 03: Tiempo y distancia para acceder al área de investigación.

Ruta terrestre	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Cajamarca – Pacasmayo	Asfaltada	189	4.0 horas
Pacasmayo - San Pedro de Lloc	Asfaltada	10	10 min
San Pedro de Lloc – Cantera	Vía afirmada	8.9	10 min

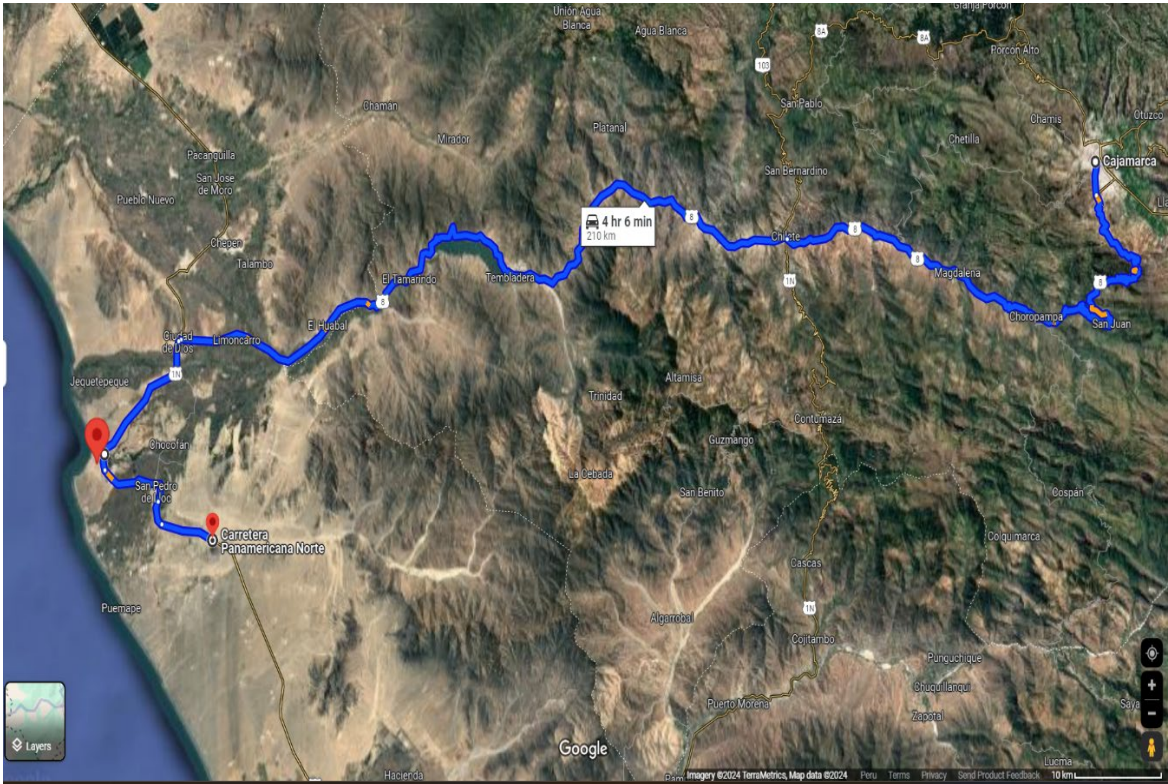


Figura 06: Acceso terrestre para llegar a Cantera cerro Chilco donde se desarrolla la investigación.
Fuente: Google MAPS, 2025.

3.1.4 Clima

San Pedro de Lloc, ubicado en la provincia de Pacasmayo, región La Libertad, presenta un clima desértico cálido, según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2023). Este tipo de clima se caracteriza por temperaturas moderadamente altas durante el día y frescas por la noche, con promedios que oscilan entre los 18 °C y 30 °C. Las precipitaciones son escasas, con un promedio anual que varía entre 50 y 100 mm, concentrándose principalmente entre los meses de diciembre y marzo. La influencia de la brisa marina contribuye a suavizar las variaciones térmicas diarias y a aportar una ligera

humedad al ambiente. Estas condiciones climáticas resultan favorables para el desarrollo de cultivos como el arroz, la caña de azúcar y otros productos agrícolas adaptados a ambientes de baja precipitación (Paredes & Rivas, 2021).

Tabla 04: Tabla climática - datos históricos de 1996 - 2023.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura media (°C)	24	25	25	24	22	21	20	19	19	20	21	22
Precipitación (mm)	6.2	11.7	10.9	6.7	1.7	0.2	0.0	0.0	0.4	2.0	1.6	2.3
Humedad (dd.)	18.6	25.2	25.4	14.9	7.7	4.0	1.6	0.9	0.6	0.4	1.9	7.2
Días lluviosos(dd.)	1.5	2.1	2.4	1.4	0.4	0.1	0.0	0.0	0.2	0.5	0.5	0.7
Horas de sol (horas)	12.5	12.3	12.1	11.9	11.8	11.7	11.8	11.9	12.1	12.3	12.4	12.5

Fuente: SENAMHI, (2025).

3.2 PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS DE RECOPIACIÓN DE DATOS

La metodología de recopilación de datos implica tres etapas: Etapa de pre- campo se comienza con la revisión de la literatura y la compilación de información bibliográfica relacionada con el tema de investigación, luego en la etapa de capo se hace la toma de datos a través de la observación, descripción, medición y toma de muestras, finalmente en la etapa de post campo se procesan los datos y se analizan para finalmente elabora la tesis usando procesador de texto y software aplicado a la geología.

3.2.1 Etapa de pre campo, recopilación bibliográfica

Se hizo la compilación y selección del material bibliográfico de libros, artículos científicos, boletines geológicos, páginas de divulgación geocientíficas (journals), así como tesis de grado y post grado sobre productividad y carguío, acarreo y transporte de materiales fluviales para graveras; asimismo se elabora planos guías con la data de la carta 15-e (Chepen) del INGEMMET.

3.2.2 Etapa de campo

En esta etapa de campo consta de tres fases, la primera consiste en levantamiento topográfico y el análisis geológico, geomorfológico de la cantera mediante la observación, medición, descripción y caracterización de las mismas; la segunda consiste en el cálculo de reservas

mediante caracterización de calicatas y trincheras realizando perfiles estratigráficos y la tercera etapa consta del carguío, acarreo y transporte del material fluvial para la gravera.

3.2.3 Etapa post campo

Consistirá en el procesamiento de la información obtenida en campo, sintetizando, clasificándolo de acuerdo con la metodología apropiada, en cuadros y tablas que servirán de base para el análisis de datos según su área para así poder determinar las reservas existentes en dicha concesión minera no metálica. Serán posteriormente plasmados en los planos y en tablas Excel. Los programas utilizados fueron ArcGis v10.8, AutoCAD v2023, SPS, Microsoft Excel v2021.

3.2.4 Técnicas

Las técnicas que se utilizarán para la recolección de datos en esta investigación serán principalmente de campo, con el objetivo de obtener información precisa y directa sobre el proceso de carguío, acarreo y transporte de material fluvial. Las técnicas específicas son las siguientes:

3.2.4.1 Técnica de la observación directa

Se llevará a cabo la observación directa del proceso operativo en la cantera Cerro Chilco, con especial énfasis en la dinámica de los equipos de carguío y acarreo, los tiempos de operación y las demoras que se presenten durante la jornada laboral.

Esta técnica permitirá obtener información cualitativa sobre las condiciones operativas y el comportamiento de los equipos y operadores.

3.2.4.2 Técnica de análisis documental

Se revisarán los registros históricos de producción, informes operativos y registros de mantenimiento de los equipos, así como los reportes de desempeño de los indicadores previos a la implementación de la optimización.

Esto permitirá analizar las tendencias y patrones históricos en la producción y eficiencia operativa.

3.2.4.3 Toma de Muestras y Análisis Granulométrico

Se tomará una serie de muestras del material fluvial para realizar análisis granulométricos y determinar la calidad del material extraído, lo cual influye en los costos de producción y el tiempo de carguío.

Los análisis de laboratorio permitirán clasificar el material y optimizar las técnicas de carguío y transporte.

3.2.4.4 Uso de Software Especializado

Los datos recolectados serán procesados con software como ArcGIS v10.8 para el análisis geoespacial y AutoCAD v2023 para el diseño de planos y rutas de transporte.

El software Excel se utilizará para realizar cálculos de eficiencia, costos y productividad, y para analizar los resultados obtenidos en las pruebas de rendimiento.

3.2.4.5 Recolección de Datos de Campo

Durante la fase de recolección de datos, se utilizarán formatos de campo y checklist que se completarán para registrar todos los aspectos operativos relevantes de cada jornada de trabajo, incluyendo horas de operación, tiempos muertos, demoras y condiciones del equipo. Con estas técnicas, se buscará obtener un panorama completo y detallado de las condiciones actuales de la cantera y de cómo se puede mejorar la eficiencia de los procesos de carguío, acarreo y transporte mediante la implementación de los indicadores de desempeño.

3.3 TIPO Y MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Según el tipo de investigación, esta es cuantitativa, según su nivel es, descriptivo y explicativo, teniendo un diseño no experimental y transversal en el tiempo, usando un método analítico.

Tabla 05: Tipo, Nivel, Diseño y Método de Investigación.

CLASIFICACIÓN	TIPO DE INVESTIGACIÓN
Según el tipo	Cuantitativa: Porque se designan características medibles para el cálculo de reservas con las trincheras y calicatas además de la tener la contabilidad del número de viajes en el transporte del material fluvial.
Según el nivel	Descriptivo - Analítica: es descriptivo ya que se enfoca en escribir y analizar las estructuras, geología y cálculo de reservas, tal como es, sin manipular ninguna variable. y es explicativa dado que se parte de una hipótesis que se somete a prueba, para determinar si la variable independiente tiene un impacto sobre la variable dependiente.
Según su diseño	No experimental - Transversal: No es experimental ya que se enfoca en la observación y medición de variables en situaciones naturales, sin manipular deliberadamente ninguna variable independiente. Es trasversal dado que realiza en un momento específico en el tiempo.
Según el método	Analítico: Implica la descomposición y el cálculo de los datos para identificar patrones como también variables.

Fuente: Modificado de Hernández et al, 2010.

3.3.1 Población de estudio

La población está conformada por equipos de carguío y acarreo destinados al traslado del material de la concesión minera Alma Mia II - Cerro Chilco, abarca un área total de 200 ha.

3.3.2 Muestra

Está conformada por 01 excavadora CAT 336DL, 01 cargador frontal CAT 966H, 06 volquetes Volvo FMX 440/480 6x4R, de acuerdo al número de vueltas destinados al traslado del mineral.

3.3.3 Unidad de análisis

Agregados finos (Arena gruesa), Agregado grueso (Piedra chancada $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{4}$ "), y el agregado global (Hormigón), para el movimiento de tierras.

3.3.4 Definición de variables

Para la investigación se ha identificado variables independientes y dependiente, las cuales se relacionan directamente como se muestra en la Tabla 06.

Tabla 06: Tabla de identificación de variables.

Variables Independientes	Variables Dependientes
Producción	Optimización de carguío y acarreo
Control de tiempos	
Topografía	

3.3.5 Instrumentos y Equipos

Durante el desarrollo de la investigación se utilizaron una amplia variedad de instrumentos y equipos debidamente calibrados para recopilar datos precisos y confiables, los cuales se detallan en la Tabla 07.

Tabla 07: Instrumentos y equipos de campo.

Instrumentos	Descripción
GPS Garmín Oregon 700:	Ubicación de trincheras y calicatas; a través de sus coordenadas en el sistema UTM-WGS 84.
Cámara digital (13 MPX)	Servirá para tomar fotografías en la zona de estudio.
Picota de Geólogo	Para obtener la resistencia de las rocas y extracción de muestras.

Flexómetro de 5 m y Wincha de 30 m	Para mediar potencia de bancos, estratos, horizontes y tamaño de granulometría.
Ácido Clorhídrico diluido al 10 %	Para determinar el contenido de carbonatos en la muestra de mano y del afloramiento.
Libreta de campo	Para registrar observaciones, mediciones y datos relevantes en el campo.
Protactor	Protactor multiescala para platear puntos y datos estructurales.
Lupa 20X	Ver la cristalización de minerales
Laptop Thinkpad Core i7	Para procesar la información de campo, elaborar los planos temáticos, redactar la tesis.
Tablero de campo	Trasportar y utilizar los planos
Lapiceros, Colores, lápiz	Hacer anotaciones en la libreta y planos

3.4 CONTEXTO GEOLÓGICO

3.4.1 Geología Local

La geología local esta subdividida en unidades Geológicas, en la localidad San Pedro de Lloc:

Cenozoico

En la localidad de San Pedro de Lloc, el Cenozoico está representado principalmente por depósitos sedimentarios del Neógeno y el Cuaternario. Se acumularon sedimentos marinos y continentales como areniscas, limolitas y arcillas, asociados a antiguos ambientes costeros y fluviales. Posteriormente, en el Cuaternario se desarrollaron extensas terrazas aluviales, gravas, depósitos eólicos y de playa, vinculados a procesos climáticos.

Volcánicos Llama

Estos volcánicos Llama está conformado por una secuencia de volcánicos que afloran infrayeciendo a los volcánicos Porculla; en esta Región son rocas resistentes a la erosión que constituyen escarpes al NE de San Pedro de Lloc y en algunas zonas caracterizado por un moderado intemperismo generando colinas y cerros elevados. Litológicamente conforma con un conglomerado basal rojizo intercalado con capas de tobas andesíticas de color morado, los fragmentos del conglomerado son clastos redondeados de cuarcita, caliza y

rocas volcánicas, mayormente consiste en andesitas generalmente bien estratificado en capas medianas, se relaciona como la parte inferior del volcánico calipuy.



Foto 01: Estribaciones del Volcánico Llama.

Cuaternario Pleistoceno

Esta unidad está conformada por depósitos de origen eólico, compuestos principalmente por acumulaciones de arena fina con contenido variable de limo. Estos sedimentos han sido transportados y depositados por acción del viento, dando lugar a formaciones características en el paisaje, como dunas, lomas y colinas. Estos depósitos se distribuyen en diversos sectores del área de estudio, dentro de una zona geomorfológica influenciada por procesos de deflación y sedimentación eólica activa durante el Pleistoceno.

Depósitos Aluviales (Qh-al)

Conformada a lo largo de la faja Costanera conforman los depósitos aluviales, fluviales, eólicos constituidos por conglomerados, gravas, arenas, limos etc., que conforman los pisos de los Valles y planicies que se ubican en las áreas de cultivo de San Pedro de Lloc, hacia la zona Costanera donde se encuentran los depósitos aluviales sobre estos se encuentran con los depósitos eólicos que son transportadas por los vientos.

Depósito aluvial 1 (Qh-al): En el área de estudio se visualiza acumulaciones de bloques, gravas, arenas y limos formando terrazas y conos aluviales en las bases de las colinas y lomadas.



Foto 02: Depósito fluvio-aluvial en la parte baja de la microcuenca del Cupisnique.

Depósito aluvial 2 (Qh-al): Así mismo en el área de estudio también se encuentran acumulaciones de bloques, cantos, gravas, gránulos, arenas y limos en los cauces de ríos y quebradas, se acumulan a modo de estratos, en relación a la estacionalidad de las lluvias.



Foto 03: Depósito aluvial.

Depósito antropógeno (Q-an): Corresponde a suelos transportados y utilizados en la construcción de la vía PE-1N, su granulometría va desde bloques y cantos, hasta arenas y gravas.



Foto 04: Depósito Antropogénicos, carreta panamericana Norte Km 698.

3.5 GEOLOGÍA ECONÓMICA

3.5.1 Tipo de yacimiento

El tipo de yacimiento no metálico presenta características de Depósitos fluvioaluviales, son sedimentos que se acumulan en las riberas de los ríos y en las áreas adyacentes debido a la acción del agua y por gravitación de cono aluvial. La energía del movimiento corresponde a las precipitaciones pluviales excepcionales del Fenómeno El Niño Costero.

La zona de investigación se encuentra en la parte baja de la quebrada Cupisnique por la acumulación de grava y otros sedimentos que se depositan por el flujo de agua durante eventos de lluvia y avenidas. Estos depósitos se forman debido a la disminución de la energía del agua al salir de áreas más empinadas, provocando la acumulación de material por la pendiente misma que es favorable. En el contexto litológico se tienen terrenos con depósitos aluviales de arenas mal graduadas, compuesto de bloques, cantos, gravas, gránulos, arenas y limos, mientras que los macizos rocosos de las colinas corresponden a rocas intrusivas y flujos de lavas andesíticas, poco fracturados y ligeramente meteorizados.

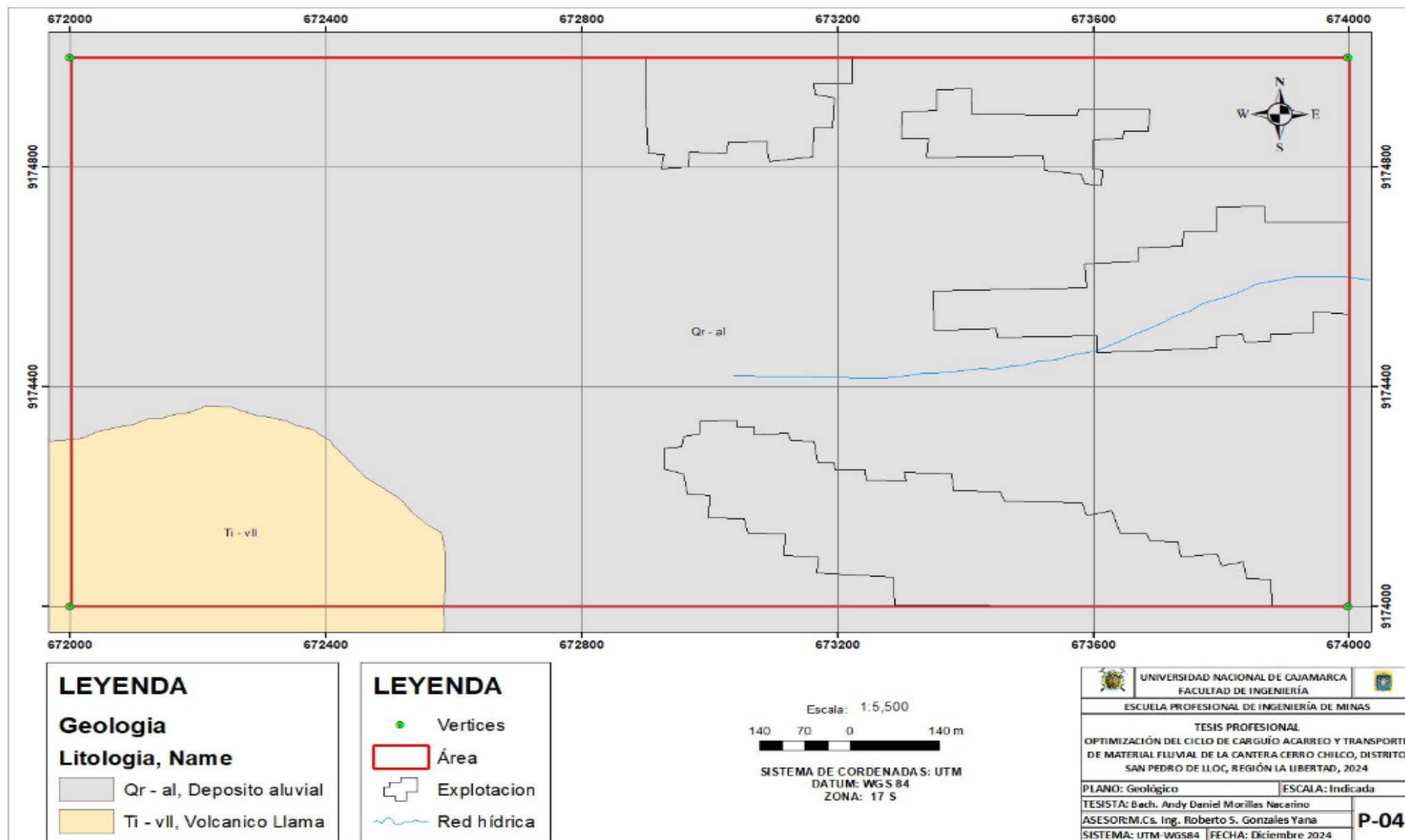


Figura 07: Plano Geológico de la cantera Cerro Chilco.

3.6 DATOS GENERALES DE LA CANTERA

- Área de Exploración (A_{Er}): 3177362.08 m² < > 317.73 ha
- Área de Explotación (A_{ex}): 336119.63 m² < > 33.61 ha
- Espesor prom. Material orgánico (E_{org}): 0.05 m
- Prof. Prom. de excavación de calicata (P_c): 1.60 m
- Secciones de la Cantera (Morfología plana)

Tabla 08: Área de material aprovechable de la cantera.

DIMENSIONES EN SUPERFICIE			
Zona	Área (M ²)	Potencia (M)	Total, M ³
A1	248772.49	2.60	646808.47
A2	413833.85	2.60	1075968.01
A3	559456.00	2.60	1454585.60
Total, Área			3177362.08

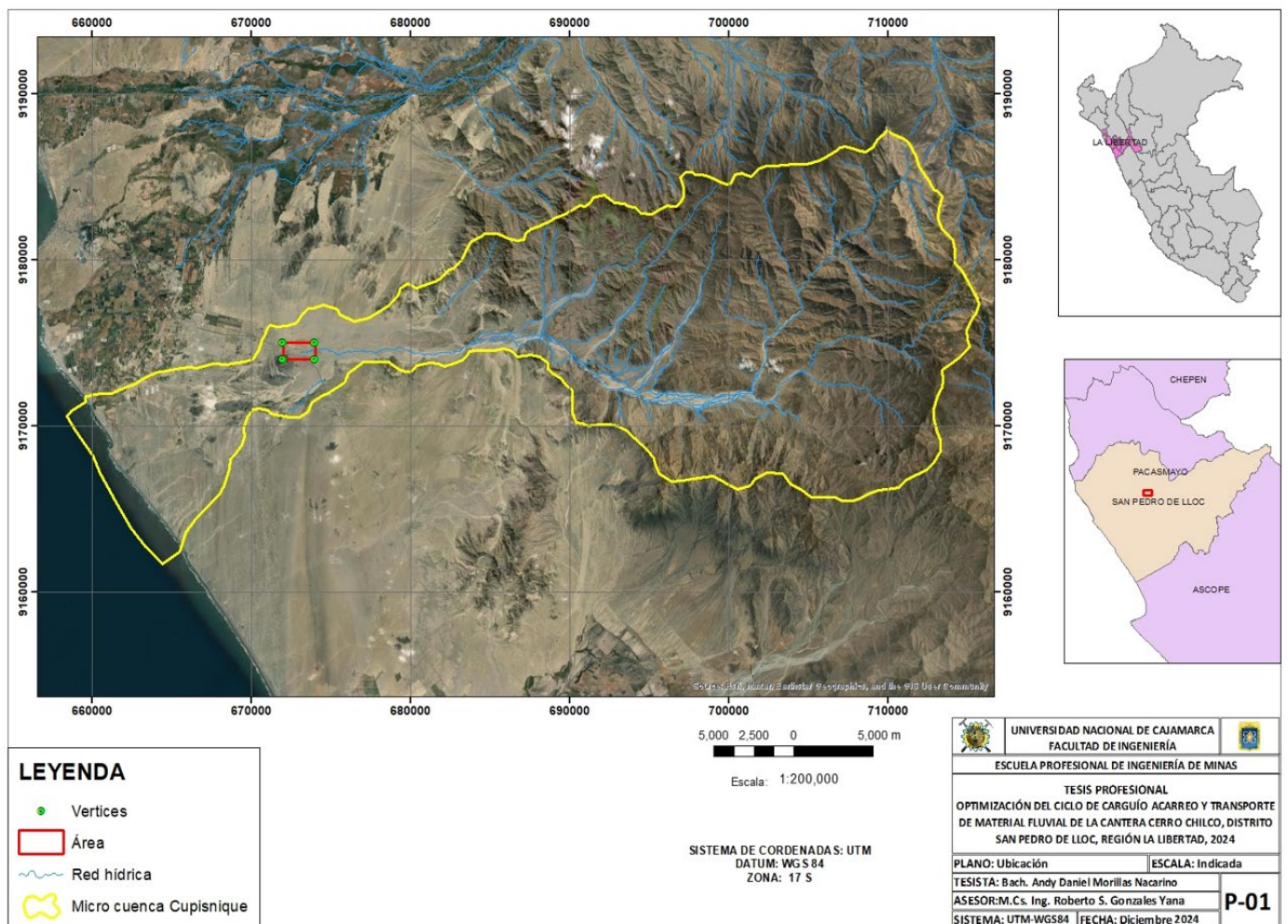


Figura 08: Plano de Ubicación de la cantera Cerro Chilco

3.6.1 Cálculo de Potencias

i. Espesor Promedio de extracción (Epex):

$$E_{pex} = P_c + 1 \text{ ("1.6 m", Según criterio geológico)}$$

$$E_{pex} = 2.60 \text{ m}$$

ii. Potencia total bruto (PB)

$$PB = A_{ex} * E_{pex}$$

$$PB = 3\,177\,362.08 \text{ m}^3$$

iii. Potencia total de desmonte (PD)

$$PD = A_{ex} * E_{org}$$

$$PD = 158\,868.10 \text{ m}^3$$

iv. Potencia total neto o aprovechable (PN)

$$PN = PB - PD$$

$$PN = 3\,018\,493.98 \text{ m}^3$$

Tabla 09: Cálculo de potencia aprovechable de material de la cantera.

CÁLCULO DE POTENCIAS DE LA CANTERA	
Total, área (m3)	3177362.08
Promedio de extracción (Epex) (m)	2.60
Potencia total bruto (PB) (m3)	8261141.42
Potencia total de desmonte (PD) (m3)	158868.10
Potencia total neto o aprovechable (PN) (m3)	3018493.98

3.6.2 Distribución granulométrica de los agregados

Teniendo en cuenta que los agregados cumplen con las disposiciones normativas, los agregados deben dividirse en productos para comprender mejor lo que se va a producir, para tal efecto se dividirán de la siguiente manera:

Tabla 10: Distribución granulométrica de los agregados.

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE LOS AGREGADOS				
Muestra 01 de 5.220 Kg cuarteado				
MALLA ASTM	PESO RETENIDO (Gr)	% RETENIDO	% RET. ACUMULADO	% QUE PASA
AGREGADO GRUESO				
3"	0.0	0.00%	0.00%	100.00%
2 1/2"	606.0	15.20%	15.20%	84.80%
2"	198.0	4.96%	20.16%	79.84%
1 1/2"	524.0	13.14%	33.30%	66.70%
1"	1244.0	31.19%	64.49%	35.51%
3/4"	336.0	8.43%	72.92%	27.08%
1/2"	540.0	13.54%	86.46%	13.54%
3/8"	250.0	6.27%	92.73%	7.27%
1/4"	290.0	7.27%	100.00%	0.00%
TOTAL	3988.0	100.00%		
AGREGADO FINO				
N° 4	69.60	5.65%	5.65%	94.35%
N° 10	286.10	23.22%	28.87%	71.13%
N° 20	155.20	12.60%	41.47%	58.53%
N° 30	51.00	4.14%	45.61%	54.39%
N° 40	49.00	3.98%	49.59%	50.41%
N° 60	190.40	15.45%	65.04%	34.96%
N° 100	344.60	27.97%	93.01%	6.99%
N° 200	86.10	6.99%	100.00%	0.00%
TOTAL	1232.00	100.00%		



Foto 05: Análisis granulométrico en laboratorio y su caracterización física de los agregados hasta la malla 3"



Foto 06: Peso retenido de acuerdo a la malla en el análisis de laboratorio.

3.6.3 Vida útil y ritmo de la explotación

La vida útil de la cantera está determinada de acuerdo al consumo de los agregados. Un estudio de mercado determinará este consumo promedio mensual y en qué sectores se usará dicho agregado. Teniendo en cuenta que La planificación y programación está sujeto a la vida útil de la cantera.

$$\text{Reservas/Producción Anual} = \text{Vida Útil}$$

- Reservas: 6110311.70 m3 (Potencia Neta Total)
- Consumo anual: 720000 m3
- Vida Útil: 8.5 años (Sin considerar recargas periódicas).

Tabla 11 Vida útil de la cantera Cerro Chilco.

VIDA ÚTIL DE CANTERA CERRO CHILCO			
Reserva Potencial (m3)	Producción diaria (m3)	Producción mensual (m3)	Producción anual (m3)
6110311.70	3000.00	60000.00	720000.00
Vida Útil Años - Reservas Probadas			8.49

3.6.4 Método de explotación de la cantera

Debido a las características físicas de los materiales de la Cantera Alma Mia II - Cerro Chilco, las cuales son materiales sedimentarios Terciarios-Cuaternarios sueltos, no se

requiere de voladura para el proceso de explotación. Se está utilizando el método de corte simple, con una distribución del método de explotación promedio de 1 banqueo, de los cuales se está estimando una altura de banco de 5.8 m en cada banqueo, teniendo, además, futura profundización debido a que la explotación está ligada a la presencia de calicatas.

El sistema más apropiado es un sistema totalmente discontinuo, porque permite una gran flexibilidad y versatilidad, la operación de arranque se lleva a cabo con equipos discontinuos y el transporte se efectúa con volquetes.

3.6.5 Equipos presentes en la cantera

3.6.5.1 Equipos de Carguío

- Excavadora CAT 336DL
- Cargador Frontal CAT 966H

3.6.5.2 Equipos de transporte

- Camión Volquete Volvo FMX de 15 m³

		C 80	C 100	C 96	C 106	C 116	C 3054	C 110	C 125	C 140	C 145	C 160	C 200
Anchura de la abertura de alimentación mm		800	1000	930	1060	1150	1375	1100	1250	1400	1400	1600	2000
Profundidad de la abertura de alimentación en mm		570	760	580	700	800	760	850	950	1070	1100	1200	1500
Potencia en KW		75	110	90	110	132	160	160	160	200	200	250	400
Velocidad en RPM		350	260	330	280	260	260	230	220	220	220	220	200
Tamaño del producto en mm	Lado cerrado reglaje mm	t/h	t/h	t/h	t/h	t/h	t/h	t/h	t/h	t/h	t/h	t/h	t/h
0-30	20												
0-35	25												
0-45	30												
0-60	40	55-75											
0-75	50	65-95											
0-90	60	80-110		105-135									
0-105	70	95-135	125-175	125-155	150-185	165-205	210-270	160-220					
0-120	80	110-150	145-200	140-180	165-215	180-235	240-300	175-245					
0-135	90	125-175	160-220	160-200	190-235	205-255	260-330	190-275					
0-150	100	140-190	180-250	175-225	205-265	225-285	285-365	215-295	245-335				
0-185	125	175-245	220-310	220-280	255-325	270-345	345-435	260-360	295-405	325-445	335-465		
0-225	150	210-290	265-365	265-335	305-385	320-405	405-515	310-430	345-475	380-530	395-545	430-610	
0-260	175	245-335	310-430	310-390	355-450	370-465	465-595	350-490	395-545	435-605	455-625	495-695	630-890
0-300	200		355-490		395-500	410-520	530-670	405-555	445-615	495-685	510-710	560-790	710-1000
0-340	225								495-685	550-760	570-790	625-880	785-1105
0-375	250								545-755	610-840	630-870	685-965	865-1215
0-410	275										690-950	745-1055	940-1320
0-450	300											815-1145	1015-1435

Figura 09: Especificaciones técnicas de las máquinas encargadas del carguío

3.6.6 Zonas de explotación

Primeramente, el depósito de la cantera Cerro Chillco es un yacimiento no metálico constituyendo depósitos de ladera con pendientes planas a empinadas de origen fluvioaluvial y coluvial, formado por bancos compactos de gravas y arena fina.

3.6.6.1 Ciclo de minado

a) Corte/Arranque El corte y/o arranque esta fase es crucial, ya que establece las bases para el éxito de las etapas siguientes en el ciclo de minado. Se realiza por medio de excavadoras (terreno blando) estos remueven el material para posteriormente ser cargado en la tolva de los Volquetes.

- Excavadora CAT 336DL
- Cargador Frontal CAT 938H

b) Carguío

El material removido (arrancado), mediante el uso de una excavadora es cargado en la tolva de los volquetes los cuales tienen entre 15 y 20 m³ de capacidad. La fase de carguío es un componente fundamental en el ciclo de minado, donde se carga el material extraído para su transporte.

c) Acarreo.

Los volquetes se dirigen con el material a la zona destinada de la cantera, donde dejan el material en acopios cerca de las plantas, para que estas luego puedan ser alimentadas. El volquete vuelve a la zona de carguío y el ciclo se reinicia.

d) Transporte del material: El acarreo de la cantera se realiza mediante la maquinaria presente.



Foto 07: Acarreo de material con volquete Volvo FMX de 15 m³ y cargador Frontal CAT 938H.



Foto 08: Transporte del material a acopio de agregados.

3.6.6.2 Ciclo de Selección y Separación de Materiales

a) Tolveo del material

Una vez realizado el acarreo del material, se realiza el tolveo para el abastecimiento de las plantas. Esta labor la realizan los cargadores frontales, alimentando las tolvas de las plantas ya sean chancadoras o zarandeadoras creando un flujo constante de alimentación.

En esta etapa se separa el material sobredimensionado (Over) el cual es llevado luego al botadero.



Foto 09: Planta de selección y separación de materiales.

b) Chancado Primario

El chancado primario es hecho por una chancadora de mandíbulas donde ingresa material de hasta 4" y retorna material de 2" – 1½" en promedio. Este material puede ser separado, de acuerdo al tipo de agregado que se requiera o seguir siendo procesado en el chancado secundario.

En esta etapa se obtiene el material conocido como agregado grueso.



Foto 10: Planta procesadora de chancado primario y secundario

c) Chancado Secundario

El chancado secundario es hecho por una chancadora de cono donde ingresa el material proveniente del zarandeo previo o si es en serie de la misma chancadora primaria. Este nos retorna materiales con un diámetro máximo de 1".

En esta etapa se obtiene el material conocido como agregado fino. También se obtiene como resultado los finos, que es el material de menor tamaño que no pasa de los 3/8" y es llevado a una nueva etapa.



Foto 11: Planta de selección y separación chancado secundario.

d) Zarandeo

Se usan cribas móviles como plantas de zarandeo para separar el material y clasificarlo dependiendo de lo que se esté despachando y de la necesidad de los clientes. Las cribas pueden separar los materiales hasta en 4 tipos de granulometrías teniendo así en un ciclo cerrado que consta de chancadora primaria más criba primaria más chancadora secundaria más criba secundaria, se pueden obtener hasta siete tipos de agregados; todos los materiales

se van acumulando en acopios temporales que serán despachados o almacenados correspondientemente.



Foto 12: Zarandeo separador de arena de la grava.

e) Lavado de arena

Actualmente este método es materia de investigación, debido a que se debe probar que se puede realizar sin el uso del recurso hídrico.

En condiciones normales (convencionalmente) el lavado de arena se realiza de la siguiente manera:

El material fino ($<3/8''$) es llevado a una lavadora de arena donde, mediante el uso de agua, se separa la arena de los finos perjudiciales para el concreto, como son las arcillas y los limos, y cualquier otro material que no sea retenido por la malla N° 200.

La arena es almacenada en acopios temporales. Los lodos van a unas pozas de decantación, para separar el agua de éstos, en total son 3 pozas de decantación de capacidad de 50 m³ cada una; aquí es donde se recupera el agua para que se pueda recircular.

Los lodos secos son llevados al botadero de lodos, estos lodos se usarán en el cierre de la cantera.

La arena lavada o relavada obtenida se usa para la elaboración de concretos por ello es importante la separación de los finos.



Foto 13: Lavado de arena con el material fino ($<3/8''$)

3.6.6.3 Transporte y almacenamiento

En cada proceso los materiales procesados y clasificados eran almacenados en acopios temporales, estos materiales son transportados por volquetes, que son cargados por cargadores frontales, hacia su lugar de destino ya sea a las canchas preparadas para almacenarlos o para despachar a los clientes.



Foto 14: Acopio de material procesado y listo para distribución.



Foto 15: Material procesado para el transporte y distribución

3.6.6.4 Descripción de los equipos

Los equipos usados para la operación de transporte en la cantera Cerro Chilco son los volquetes volvo FMX 440/480 6x4R. Son usados por la facilidad de acople a las excavadoras. Son equipos montados sobre ruedas neumáticas, tienen una capacidad de tolva de 15 m³ y de hasta 32 000 Kg de capacidad de carga. Cuentan con una caja de 14 (12 + 2) velocidades.

3.6.6.5 Distribución de los volquetes

Para la operación de transporte ha hecho uso de un total de 06 volquetes distribuidos en toda la cantera, son distribuidos de acuerdo a la necesidad de la operación ya sea en traslado a la chancadoras o distribución a puntos de acopio o botadero de desmonte.

Tabla 12: Equipos de transporte de la cantera Cerro Chilco el año 2024

EQUIPO	CÓDIGO	PLACA	CAPACIDAD	CLASIFICACIÓN
Volquete	VOL-CCH001	F9Z-944	15m3	Volquete
	VOL-CCH002	AKU-860	15m3	Volquete
	VOL-CCH003	ACR-852	15m3	Volquete
	VOL-CCH004	M2R-795	15m3	Volquete
	VOL-CCH005	DTV-835	15m3	Volquete
	VOL-CCH006	F1R-734	15m3	Volquete

3.6.6.6 Tiempo total del ciclo carguío – transporte

Para encontrar el tiempo del ciclo de carguío y transporte se suma el tiempo de carguío, tiempo de transporte más maniobras y tiempo de descarga que invierten los camiones volquete en dicha operación.

En la tabla 18 y tabla 19 se muestran el tiempo promedio del ciclo de carguío y transporte de los meses agosto, septiembre, octubre y noviembre que invierten los equipos en cargar y realizar el recorrido.

Tabla 13: Promedio de tiempos durante 04 meces de carguío y transporte de material.

TIEMPO DEL CICLO CANTERA CERRO CHILCO (hh:mm:ss)				
Tiempos	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
Tiempo de carguío + Excavación	00:12:08	00:12:08	00:13:22	00:13:22
Tiempo de recorrido (ida + retorno)	00:29:05	00:27:00	00:26:07	00:27:48
Tiempo de maniobras				
Tiempo de descarga	00:03:27	00:03:27	00:03:28	00:03:27
Tiempo total	00:44:40	00:42:35	00:42:43	00:44:13

3.7 CICLO DE CARGUÍO, ACARREO Y TRANSPORTE ACTUAL

3.7.1 Descripción de la Cantera Cerro Chilco

La cantera Cerro Chilco se localiza en el distrito de San Pedro de Lloc, provincia de Pacasmayo, región La Libertad. Se dedica a la explotación de material fluvial (grava y arena) para abastecer obras civiles y proyectos de infraestructura en la zona. La explotación se realiza de forma artesanal y semi-mecanizada, utilizando maquinaria pesada.

La operación actual no cuenta con un análisis técnico formal del ciclo de carguío y acarreo, lo que ha generado pérdidas de tiempo y baja productividad.

3.7.2 Equipos utilizados: tipo, capacidad, eficiencia

La operación minera en la cantera Cerro Chilco se apoya en una combinación de maquinaria pesada diseñada para realizar con eficiencia las labores de carguío, acarreo y apoyo operativo. La siguiente tabla resume los equipos principales utilizados, detallando su modelo, capacidad operativa y eficiencia estimada en condiciones de trabajo reales.

Tabla 14: Equipos utilizados, tipo, capacidad, eficiencia

Tipo de equipo	Modelo	Capacidad	Eficiencia (%)	Observaciones
Cargador frontal	CAT 966H	3.5 m ³	85 %	Carga a camiones en banco y carga de material zarandeado
Volquete	Volvo FMX 8x4	18 m ³	80 %	Acarreo a botadero /planta
Excavadora	CAT 336DL	0.8 m ³	80 %	Apoyo en carguío de los volquetes

3.7.3 Rutas y distancias actuales

Actualmente se utilizan dos rutas principales:

- **Ruta 1:** Frente de carguío → Planta chancadora (2.5 km)
- **Ruta 2:** Frente de carguío → Zona de acopio externo (2.7 km)

Ambas rutas son de tierra compactada y presentan irregularidades que afectan la velocidad de desplazamiento.

3.7.4 Tiempos operativos actuales

a) Carguío (min)

Tiempo estimado para cargar 15 m³ con una pala de 3.5 m³ $\approx$ 12.0 minutos

b) Acarreo (min)

Velocidad media en ruta irregular $\approx 15 \text{ km/h} \rightarrow 2.5 \text{ km} \rightarrow 28 \text{ min}$

Ruta de 2.7 km $\rightarrow 30 \text{ min}$

Se toma promedio ponderado $\approx 28.0 \text{ minutos}$

c) Descarga (min)

Descarga por gravedad en chancadora o acopio: 3.5 minutos

d) Retorno (min)

Velocidad promedio ligeramente superior (vacío): 15 km/h

Tiempo estimado $\approx 20.0 \text{ minutos}$

Tabla 15: Tiempos operativos actuales

Actividad	Tiempo promedio por ciclo (min)
Carguío	12.0
Acarreo	15.0
Descarga	3.0
Retorno	13.0
Total, ciclo	43.0

Tabla 16: Simulación del Tiempo Total del Ciclo por Volquete

Nosotros	Carguío (min)	Transporte (min)	Descarga (min)	Tiempo Total (min)
Agosto	12.1	29.1	3.2	44.7
Septiembre	12.1	27.0	3.5	42.6
Octubre	13.4	26.1	3.5	42.9
Noviembre	13.4	27.8	3.5	44.7

La presente tabla muestra el tiempo total requerido por cada volquete para completar un ciclo de operación, el cual incluye las fases de carguío, transporte y descarga del material fluvial. Los datos corresponden a un promedio mensual durante los meses de agosto a noviembre, con pequeñas variaciones producto de las condiciones operativas del frente de trabajo, tráfico interno, o cambios en la eficiencia del equipo.

Se observa que el tiempo total del ciclo oscila entre 42.6 y 44.7 minutos, siendo septiembre el mes con menor duración promedio y agosto y noviembre los de mayor duración. La etapa

de transporte representa la mayor proporción del tiempo del ciclo, lo que indica un potencial de optimización en las rutas y condiciones de acarreo.

Esta simulación permite identificar patrones de operación y ajustar la programación de transporte para mejorar el rendimiento general del ciclo de carguío y acarreo.

3.7.5 Identificación de cuellos de botella

Durante el análisis del ciclo operativo en la cantera Cerro Chilco se han identificado los siguientes factores que limitan la eficiencia del proceso:

- Demoras excesivas en el acarreo y retorno, generadas principalmente por el mal estado de las rutas internas de transporte, lo que reduce la velocidad de desplazamiento de los volquetes y prolonga los tiempos de ciclo.
- Disminución del rendimiento del cargador frontal en horas de mayor demanda, debido a la acumulación de unidades esperando carguío, lo que provoca tiempos muertos y congestión operativa en el frente de carga.
- Retrasos durante la descarga del material en los puntos de acopio, ocasionados por la falta de una adecuada coordinación entre el personal de operación y transporte, lo que deriva en tiempos de espera innecesarios para los volquetes.

3.7.6 Producción diaria promedio

La operación de extracción y transporte en la cantera Cerro Chilco se desarrolla bajo un régimen de trabajo de 8 horas por jornada. En este proceso intervienen 6 camiones volquetes, cada uno con una capacidad de carga de 15 m³. De acuerdo con los registros operativos, cada unidad realiza un promedio de 9 viajes por día.

En base a esta configuración, la producción diaria promedio se estima mediante la siguiente fórmula:

Producción diaria = N.º de volquetes × Capacidad por unidad × N.º de viajes por día

Producción diaria = 6 × 15 m³ × 9 = 810 m³/día

Este valor representa el volumen promedio de material fluvial movilizado diariamente desde los frentes de carga hacia los puntos de procesamiento, acopio o disposición final.

Tabla 17: Producción diaria promedio por volquete

Volquete	Capacidad (m³)	Viajes por día	Producción diaria (m³)
VOL-CCH001	15	9	135
VOL-CCH002	15	9	135
VOL-CCH003	15	9	135
VOL-CCH004	15	9	135
VOL-CCH005	15	9	135
VOL-CCH006	15	9	135
Total			810 m³/día

La tabla muestra el rendimiento individual de cada uno de los seis volquetes operativos en la cantera Cerro Chilco durante una jornada laboral estándar. Cada unidad cuenta con una capacidad de carga de 15 m³ y realiza en promedio nueve viajes diarios, lo que se traduce en una producción individual de 135 m³ por día.

Al considerar el total de los seis volquetes operativos bajo las mismas condiciones, se obtiene una producción total diaria promedio de 810 m³. Esta información permite establecer la capacidad operativa real del sistema de acarreo y sirve como base para evaluar posibles mejoras o ajustes en la programación de transporte.

Tabla 18: Rendimiento Diario por Tipo de Agregado (post-zarandeo)

Tipo de Agregado	% Obtenido	Producción Diaria (m³)	Producción Estimada (ton/día)
Arena fina	25%	135	202.5
Importante	35%	189	283.5
Piedra de 1"	20%	108	162
Piedra de 1½"	15%	81	121.5
Multas	5%	27	40.5
Total	100%	540	810

Esta tabla presenta la distribución porcentual y el rendimiento diario de los distintos tipos de agregados obtenidos luego del proceso de zarandeo del material fluvial extraído en la cantera Cerro Chilco. Se muestra tanto el volumen producido en metros cúbicos como la producción estimada en toneladas por día. Los agregados principales son la arena fina (25%), el material importante (35%) y la piedra de 1" (20%), que en conjunto representan el 80% del total procesado. Las fracciones restantes corresponden a piedra de 1½" ((15%) y multas (5%). El volumen total zarandeado diario es de 540 m³, lo que equivale a 810 toneladas por día, considerando una densidad promedio estimada de 1.5 t/m³.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis de los indicadores clave de desempeño (KPI) aplicados en la cantera Cerro Chilco permitió identificar con claridad el comportamiento operativo de los equipos involucrados en el ciclo de carguío, acarreo y transporte. Se evaluaron variables como la disponibilidad mecánica, utilización de maquinaria, productividad horaria, consumo específico de combustible, frecuencia de ciclos y tiempos no productivos. Los resultados evidenciaron su eficiencia operativa real se mantiene por debajo del 50 % de su capacidad teórica, lo que indica un uso subóptimo de los recursos disponibles.

Además, durante las jornadas de producción evaluadas en la cantera Cerro Chilco, se registraron rendimientos diferenciados según el tipo de agregado extraído. Los cálculos se realizaron en base a la medición de las áreas trabajadas, su profundidad media, el volumen resultante y la densidad promedio del material, permitiendo así obtener el tonelaje movilizado diariamente.

Tabla 19: Rendimiento Diario por Tipo de Agregado (post-zarandeo)

Zona / Sector	Área (m²)	Profundidad media (m)	Volumen (m³)	Densidad (t/m³)	Tonelaje (t)
Zona Norte	15,000	3.5	52,500	1.80	94,500
Zona Central	10,000	4.0	40,000	1.85	74,000
Zona Sur	8,000	3.8	30,400	1.82	55,328
Totales	33,000	—	122,900	—	223,828

4.1.1 Análisis de KPI

Se procedió a evaluar cada KPI de acuerdo a los valores objetivo que deben alcanzar y que tan eficientes han sido en el proceso de carguío. El resumen de los targets o valores recomendados se muestra a continuación:

Tabla 20: Valores objetivo de KPIs para equipos de carguío

KPI	Valor Objetivo - Target
Disponibilidad Mecánica	90%
Utilización de Máquina	65%
Usage	60%
Gestión de Demoras	80%
Uso de la Disponibilidad	75%

4.1.1.1 Disponibilidad Mecánica

La disponibilidad mecánica calculada para los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre del 2024 en la operación de carguío muestra una pequeña variación porcentual entre los valores hallados del 71% y el valor recomendado.

Tabla 21: Disponibilidad mecánica y target recomendado.

Mes	Disponibilidad Mecánica (%)	Target (%)	Variación (%)
Agosto	71,08	90	18,92
Septiembre	71,32	90	18,68
Octubre	71,35	90	18,65
Noviembre	71,30	90	18.70

4.1.1.2 Utilización de la maquina

La utilización de máquina calculada para los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre del 2024 en la operación de carguío muestra una amplia variación porcentual entre los valores hallados del 29% y el valor recomendado del 65%. Este índice toma como base para los cálculos a las horas operativas y a las horas totales. Si bien no alcanza el valor target establecido; sin embargo, es una indicación que el equipo no está en el frente de trabajo sino realizando otras actividades. Por lo tanto, es necesario coordinar con el área de planeamiento para lograr el objetivo deseado del 65%.

Tabla 22: Utilización de máquina y target recomendado.

Mes	Utilización de Máquina (%)	Target (%)	Variación (%)
Agosto	28,56	65	36,44
Septiembre	29,15	65	35,85
Octubre	29,22	65	35,78
Noviembre	29,30	65	35,70

4.1.1.3 Usage

El usage calculado para los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre del 2024 en la operación de carguío muestra una pequeña variación porcentual cercana al 20% entre los valores hallados del 40% y el valor recomendado del 60%.

Este índice toma como base para los cálculos a las horas operativas, horas demora y horas standby, no tomando en cuenta el mantenimiento. Si bien está lejos del valor target establecido es necesario evaluar las demoras y el standby del cargador frontal. Optimizando se logrará el objetivo deseado del 60%.

Tabla 23: Usage y target recomendado.

Mes	Usage (%)	Target (%)	Variación (%)
Agosto	40,18	60	19,82
Septiembre	40,87	60	19,13
Octubre	40,96	60	19,04
Noviembre	41,06	60	18,94

4.1.1.4 Gestión de demoras

La gestión de demoras calculado para los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre del 2024 en la operación de carguío muestra una pequeña variación porcentual cercana al 16% entre los valores hallados del 64% y el valor recomendado del 80%. Este índice toma como base para los cálculos a las horas operativas y horas de demora. Si bien está cercano al valor target establecido es necesario evaluar las demoras operativas del cargador frontal para mejorar el rendimiento. Rediciendo los tiempos muertos en las demoras se logrará el objetivo deseado del 80%.

Tabla 24: Gestión de demoras y target recomendado

Mes	Gestión de demoras (%)	Target (%)	Variación (%)
Agosto	63,46	80	16,54
Septiembre	64,13	80	15,87
Octubre	64,21	80	15,79
Noviembre	64,29	80	15,71

4.1.1.5 Uso de la disponibilidad

El uso de la disponibilidad calculado para los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre del 2024 en la operación de carguío muestra una pequeña variación porcentual cercana al 12% entre los valores hallados del 63% y el valor recomendado del 75%. Este índice toma como base para los cálculos a las horas operativas, horas de demora y horas standby. Si bien está cercano al valor target establecido es necesario evaluar las horas standby del cargador frontal y reducir los tiempos en las actividades relacionadas. Rediciendo los tiempos muertos en las horas standby se logrará el objetivo deseado del 75%.

Tabla 25: Uso de la disponibilidad y target recomendado.

Mes	Uso de Disponibilidad (%)	Target (%)	Variación (%)
Agosto	63,31	75	11,69
Septiembre	63,73	75	11,27
Octubre	63,79	75	11,21
Noviembre	63,86	75	11,25

4.1.1.6 Índice de mantenimiento

El índice de mantenimiento calculado para los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre del 2024 en la operación de carguío muestra una ligera igualdad entre las horas operativas y las horas de mantenimiento, por lo que el equipo de carguío se encuentra mayormente fuera del área de operaciones, ya sea en demoras, standby o mantenimiento.

Tabla 26: Índice de mantenimiento del cargador frontal

Mes	Operativo (h)	Mantenimiento (h)	Índice de Mantenimiento
Agosto	70,52	71,40	0,99
Septiembre	80,36	79,05	1,02
Octubre	78,04	76,50	1,02
Noviembre	75,86	75,42	1,00

4.1.1.7 Sumas de KPIs

El resumen de los KPIs calculados para el equipo de carguío, cargador frontal 938H, en los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre del 2024.

Tabla 27 Índice de mantenimiento del cargador frontal.

Mes	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Promedio	Target	Variación
Disponibilidad mecánica	71,08%	71,32%	71,35%	71,30%	71,26%	90%	18,74%
Utilización de máquina	28,56%	29,15%	29,22%	29,30%	28,06%	65%	36,94%
Usage	40,18%	40,87%	40,96%	41,06%	40,77%	60%	19,23%
Gestión de demora	63,46%	64,13%	64,21%	64,29%	64,02%	80%	15,98%
Uso de la disponibilidad	63,31%	63,73%	63,79%	63,86%	63,67%	75%	11,33%
Índice de mantenimiento	0,99	1,02	1,02		1,01	> 1	-

4.1.2 Factores para la optimización de carguío y acarreo

Calculado los KPIs es necesario optimizar el proceso de carguío y acarreo de la cantera, la cual se consideró los siguientes factores clave:

1. Tiempo de ciclo: Reducir el tiempo total de cada ciclo de carguío, acarreo y descarga, aumentando la eficiencia operativa en cada fase del proceso.

2. Capacidad de los equipos: Maximizar la utilización de los equipos de carguío (excavadoras, cargadores) y transporte (camiones, volquetes), asegurándose de que operen a su capacidad máxima sin sobrecargar ni subutilizar.
3. Condiciones del terreno: Optimizar las rutas de acarreo, considerando la topografía y las condiciones del terreno para evitar caminos ineficientes o peligrosos, lo que reduce el tiempo de viaje y el desgaste de los equipos.
4. Mantenimiento preventivo: Asegurarse de que todos los equipos estén en buen estado, lo que minimiza el tiempo de inactividad y reduce los costos de reparación inesperados.
5. Logística y planificación: Organizar de manera eficiente la asignación de equipos y la secuencia de operaciones. La coordinación efectiva entre carguío, acarreo y descarga mejora el flujo general y reduce los tiempos muertos.
6. Capacitación del personal: Entrenar a los operadores para que optimicen el rendimiento de los equipos y manejen las máquinas de manera eficiente, reduciendo errores y aumentando la productividad.
7. Control y monitoreo: Implementar tecnologías como sistemas GPS o software de gestión de flotas para monitorear en tiempo real el desempeño de los equipos y las rutas, lo que facilita la toma de decisiones informadas para mejorar la eficiencia.

Estos factores son fundamentales para lograr una operación más ágil, rentable y sostenible en el proceso de carguío, acarreo y transporte de material en una cantera según el desarrollo de la presente investigación se puede llegar al análisis que la cantera Cerro Chilco no tiene mapeado todos estos factores por lo que tiene tiempos muertos improductivos.

4.1.3 Optimización del Ciclo de Carguío, Acarreo y Transporte

4.1.3.1 Optimización del carguío

Propuesta: Reubicar temporalmente el frente de carguío más cerca al banco de producción para reducir el tiempo muerto de posicionamiento del cargador.

Justificación: Actualmente se emplea un promedio de 12 a 13 minutos por carguío. Una mejor coordinación con el volquete (sin tiempos muertos de espera) puede reducir este tiempo a 10 minutos, mejorando la productividad hasta en un 15%.

4.1.3.2 Mejorar la ruta de acarreo

Propuesta: Acondicionar la vía de acarreo (mejorar el afirmado, nivelar la pendiente, eliminar curvas innecesarias).

Justificación: El tiempo promedio de transporte de ida es de 36 a 39 minutos. Con una mejora en el camino, este podría reducirse hasta 32 minutos (ahorro del 15-18%), disminuyendo también el desgaste del equipo y el consumo de combustible.

4.1.3.3 Implementar sistema de señalización y comunicación por radio

Propuesta: Dotar de radios a todos los operadores y establecer señalización en puntos estratégicos (curvas cerradas, ingresos a planta).

Justificación: La comunicación efectiva reduce esperas innecesarias en zonas de cruce, mejorando la seguridad y disminuyendo demoras en la descarga o en el ingreso al frente.

4.1.3.4 Incrementar el número de viajes por volquete

Propuesta: Con la reducción de tiempos de ciclo, se propone pasar de 9 a 11 viajes diarios por unidad.

Justificación: Esto aumentaría la producción diaria de 810 m³ a 990 m³, incrementando la eficiencia operativa en un 22.2%, sin necesidad de incorporar más equipos.

4.1.3.5 Mantenimiento preventivo más riguroso

Propuesta: Establecer un cronograma de mantenimiento semanal y diario para cargador, volquetes y caminos.

Justificación: Minimiza paradas imprevistas y reduce el consumo de combustible. Aumenta la disponibilidad mecánica del equipo hasta un 95%.

Simulación de impacto en la producción con la optimización

Tabla 28 Tiempos promedios actuales del ciclo de carguío vs tiempos optimizados

Actividad	Tiempo Prom. Actual (min)	Tiempo Optimizado (min)
Carguío	12.7	10.0
Acarreo	28.0	24.0
Descargar	3	2.5
Total, Ciclo	44.6	36.5

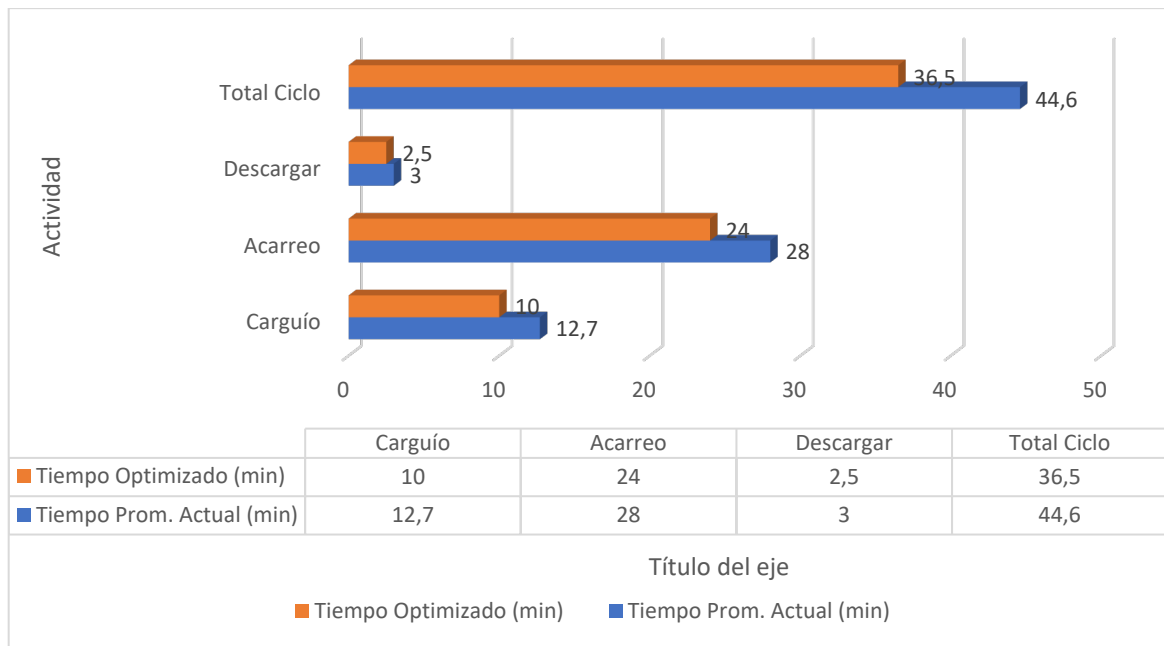


Figura 10: Tiempos promedios actuales del ciclo de carguío vs tiempos optimizados.

En esta tabla se presentan los tiempos promedios actuales del ciclo de carguío, acarreo y transporte, comparados con los tiempos simulados tras aplicar mejoras operativas. Las optimizaciones consideran la reducción del tiempo de carguío mediante una mejor coordinación del cargador frontal, el acondicionamiento de rutas de acarreo para permitir velocidades más altas y la mejora del proceso de descarga para reducir tiempos muertos. Con estas mejoras, el tiempo total del ciclo se reduce de 44.6 minutos a 36.5 minutos, lo que representa una ganancia significativa en eficiencia operativa.

Tabla 29: Tiempos promedio de cada fase del ciclo de transporte en la cantera

Indicador	Actual	Optimizado
Volquetes operativos	6	6
Capacidad por viaje	15 m³	15 m³
Viajes por turno (8 h)	9	11
Producción diaria (6×15×viajes)	810 m³	990 m³
Incremento de producción diaria	—	180 m³

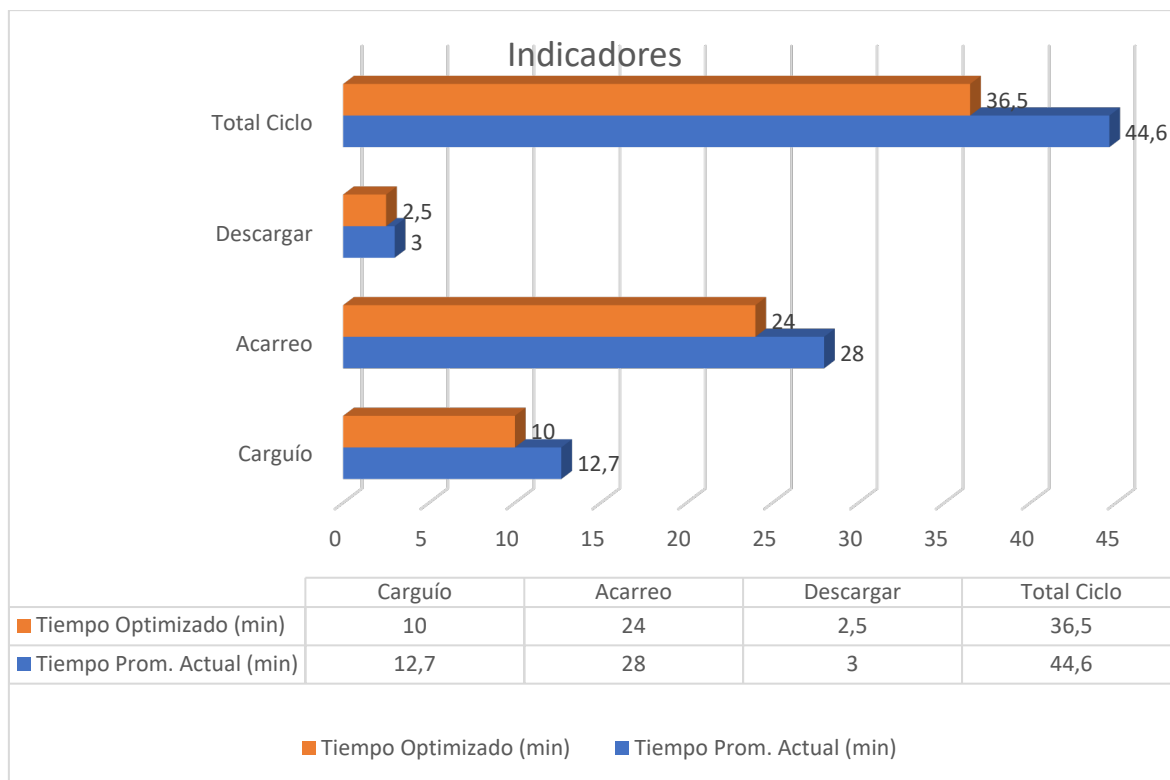


Figura 11: Tiempos promedio de cada fase del ciclo de transporte en la cantera.

Esta tabla muestra la estimación de producción diaria, comparando la situación actual con el escenario optimizado. Bajo las condiciones actuales, cada volquete realiza en promedio 9 viajes por turno de 8 horas, generando una producción diaria de 810 m³. Al reducir el tiempo de ciclo a 36.5 minutos, cada volquete puede realizar hasta 11 viajes diarios, incrementando la producción a 990 m³. Esto representa un incremento del 22.2% en la capacidad diaria de extracción y transporte de material fluvial, sin necesidad de adquirir nuevos equipos.

Tabla 30: Tiempos Producción Mensual Estimada (24 días laborables)

Producción Mensual	Actual	Optimizada
Total m³/mes	19 440	23 760 m ³
Incremento	—	+4.320 m ³

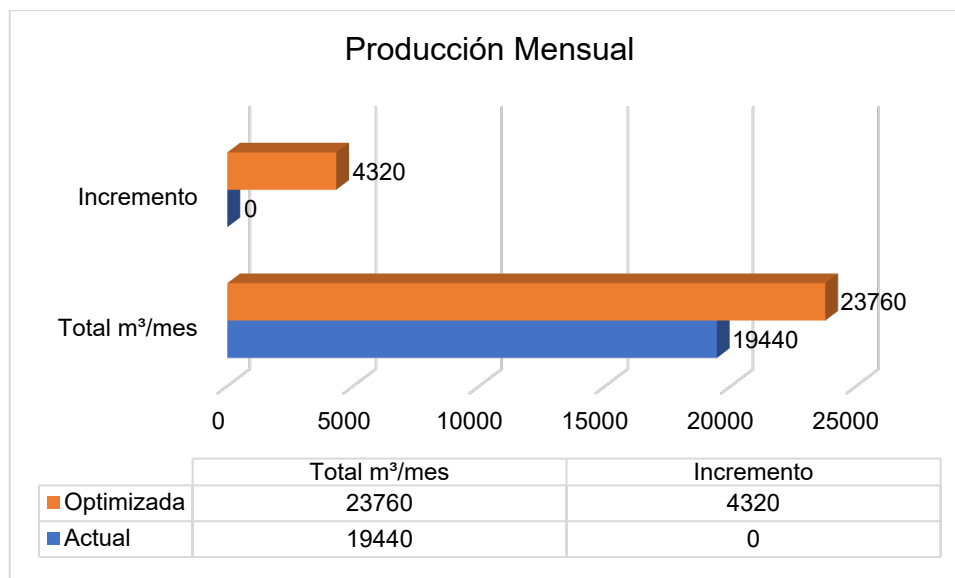


Figura 12: Tiempos Producción Mensual Estimada (24 días laborables).

La tabla muestra la proyección de la producción mensual para ambos escenarios (actual y optimizado), considerando 24 días laborables al mes. Actualmente, la cantera produce aproximadamente 19 440 m³ de material por mes. Con la optimización del ciclo, se puede alcanzar una producción mensual de hasta 23 760 m³, generando un aumento de 4,320 m³. Este incremento se traduce en mayores ingresos y una utilización más eficiente de los recursos disponibles, principalmente el parque automotor y la maquinaria de carguío.

4.1.3.6 Análisis e Interpretación del carguío y acarreo

El tiempo de ciclo es uno de los principales indicadores de eficiencia en los procesos de carguío y acarreo. Un ciclo más corto implica que se transporta más material en menos tiempo, lo que aumenta la productividad.

Carguío: Si el proceso de carguío (por ejemplo, el uso de excavadoras o cargadores) es lento, esto afectará negativamente el tiempo total del ciclo. Un carguío más eficiente se logra mediante el uso de equipos adecuados para el tipo de material, técnicas de carga rápidas y una adecuada distribución de las cargas.

Acarreo: El tiempo de acarreo depende tanto de la capacidad de los camiones como de las condiciones de las rutas. Si las rutas son largas o presentan obstáculos, el tiempo de acarreo se incrementa. Optimizar las rutas mediante un diseño adecuado o el uso de tecnología para monitoreo de rutas puede reducir este tiempo significativamente.

Malimba, A. (2019), ha realizado un estudio de tiempos de los ciclos de carguío y transporte que los tiempos óptimos para cumplir con la producción y sea económico cada volquete; además de elaborar una herramienta de diseño de flotas para el movimiento de tierras que simplifique el dimensionamiento de flota adecuada que reduzca los costos unitarios de carguío y transporte que son los más significativos de los costos mina.

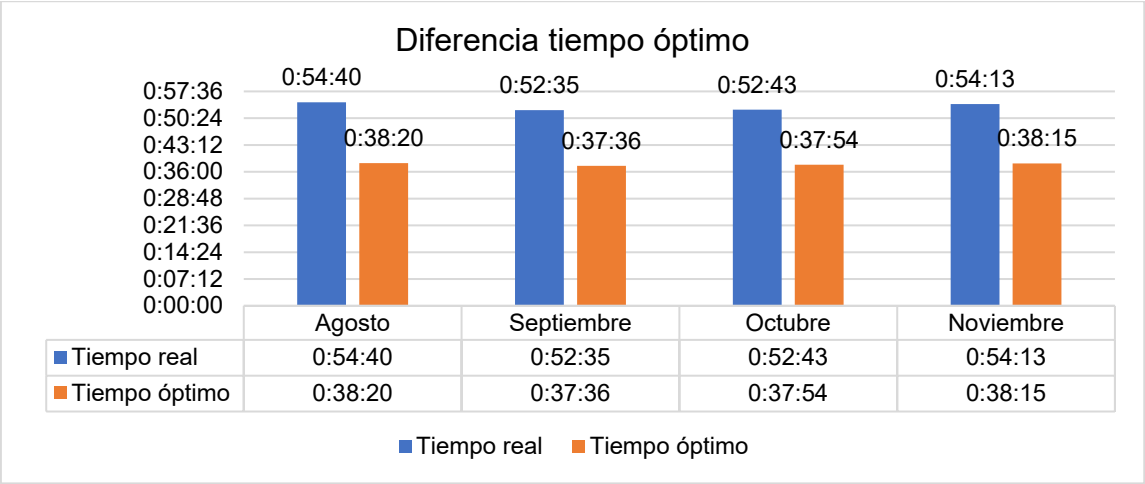


Figura 13: Tiempos de carguío y transporte de material de agosto a noviembre del 2024.

En las gráficas 13, existe una brecha de tiempo entre el tiempo real y tiempo estimado. Esta diferencia de tiempos ha sido causada por alguno(s) de los factores tales como: Calidad de vías, Control de pisos en los frentes de carguío y descarga, Velocidad de recorrido de los camiones volquete, Distancia, Polvo, Floteo, Estandarización del tiempo del ciclo de carguío y transporte, Experiencia del operador, Maniobra de posicionamiento para cargar, Maniobras de posicionamiento para descargar, inadecuado factor de acoplamiento, discordancia de las velocidades de los equipos de transporte, la calidad de vías derivadas del mantenimiento, mal control de pisos en los frentes de carga y descarga, carguío de bolonería producto de una fragmentación inadecuada de la roca, la presencia de polvo que dificulta la visibilidad de los operadores, el floteo ocasional de maquinaria pesada o de la gente de la comunidad y la experiencia. Sin embargo, en dichas gráficas se puede observar también una característica en común de la diferencia de tiempos, y es que en los meses de agosto a octubre tienen la tendencia a disminuir. La explicación a este comportamiento, parte de la importancia de la experiencia que los involucrados en la operación van ganando al transcurrir el tiempo, quienes van corrigiendo los factores influyentes en el incremento del tiempo del ciclo.

Tabla 31: Acciones para minimizar factores influyentes en el tiempo del ciclo

Factores	Medidas propuestas
Calidad de vías	Vías bien construidas y mantenidas permiten que los vehículos o equipos se desplacen de manera más rápida y eficiente.
Control de pisos en los frentes de carguío y descarga	Un piso estable y bien gestionado facilita la movilidad de los equipos de carguío si el terreno es irregular, blando o no está bien preparado, los vehículos pueden sufrir deslizamientos, atascos o dificultades de maniobra, lo que retrasa las operaciones y reduce la eficiencia.
Velocidad de recorrido de los camiones volquete	Mantener una velocidad de operación óptima asegura que el camión no pierda tiempo innecesariamente durante el carguío y el acarreo. Si la velocidad es demasiado baja, el tiempo total por ciclo, Sin embargo, si la velocidad es demasiado alta en los trayectos de transporte, puede ser más difícil controlar el carguío, ya que los materiales pueden moverse dentro del camión
Distancia	La distancia entre el frente de carga y el sitio de descarga afecta directamente el tiempo de ciclo de los camiones o vehículos de acarreo. Cuanto mayor sea la distancia, mayor será el tiempo total para cargar, transportar y descargar el material. Además, el desgaste de llantas y combustible es mayor.
Polvo	El polvo generado por el movimiento de camiones volquete, cargadores y otros equipos de transporte puede reducir significativamente la visibilidad en las operaciones. Esto aumenta el riesgo de accidentes o colisiones entre vehículos, y también dificulta la supervisión de los trabajadores y las operaciones. Además del mantenimiento constante de los equipos
Floteo	Reducción de la velocidad y aumento de los tiempos de ciclo
Estandarización del tiempo del ciclo de carguío y transporte	Para lograr una estandarización precisa, es esencial medir las variables que influyen en cada fase del ciclo: Tiempo de carguío, velocidad de transporte, tiempo de descarga y condiciones del camino.

Experiencia del operador	Mantener a los operadores durante todo el periodo de duración del proyecto.
Maniobra de posicionamiento para cargar	Este posicionamiento debe ser preciso y eficiente para asegurar que la carga se realice de la forma más rápida y segura posible.
Maniobras de posicionamiento para descargar	Este posicionamiento debe ser preciso y eficiente para asegurar que la carga se realice de la forma más rápida y segura posible.

4.2 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

El estudio realizado en la cantera Cerro Chilco, concesión minera Alma Mía II, ha permitido identificar que los actuales tiempos de carguío, acarreo y transporte presentan espacios vacíos e intervalos improductivos. A través del análisis y evaluación de estas operaciones, se plantea una optimización del proceso, lo que permitirá incrementar la producción diaria y alcanzar los objetivos establecidos por el área de planeamiento. Asimismo, la implementación de indicadores de gestión y desempeño, facilitará el monitoreo continuo y la mejora progresiva del sistema operativo de la cantera, permitiendo determinar un nivel óptimo de producción que garantice la extracción eficiente y oportuna del material, asegurando su calidad. Como parte de este proceso, se ha analizado también el desempeño del cargador frontal mediante la aplicación de indicadores clave de desempeño (KPI), incluyendo la disponibilidad mecánica, la utilización de maquinaria, el uso efectivo (usage), la gestión de demoras, el índice de mantenimiento y el uso de disponibilidad. Estos indicadores permitieron evaluar de manera integral la eficiencia real del equipo frente a su capacidad teórica, identificando oportunidades claras de mejora operativa. La disponibilidad mecánica del cargador se encontró por encima del 90 %, sin embargo, su eficiencia real fue inferior al 35 %, lo cual evidenció un subuso significativo frente a su potencial operativo. La investigación ha identificado como principales factores que generan tiempos improductivos la mala calidad y el mantenimiento deficiente de las vías, el deficiente control de pisos en los frentes de carguío y descarga, la baja velocidad de recorrido de los camiones volquete, las distancias prolongadas de acarreo, la presencia excesiva de polvo que limita la visibilidad, el floteo ocasional de maquinaria pesada o personal ajeno, la falta de estandarización en los tiempos del ciclo de carguío y transporte, la inexperiencia de los operadores, las maniobras ineficientes de posicionamiento en los puntos de carga y descarga, el inadecuado factor de acoplamiento entre equipos, la discordancia entre las velocidades de los equipos de transporte, y el carguío de botonería debido a una fragmentación inadecuada de la roca. El control y mejora de estos aspectos críticos, sumado a una gestión efectiva de los KPI de los equipos, permitirá alcanzar una optimización integral del proceso de explotación, haciéndolo más eficiente, seguro y económicamente rentable.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

A través de la evaluación integral de los tiempos de carguío, acarreo y transporte en la cantera Cerro Chilco, se identificaron ineficiencias operativas significativas, reflejadas en intervalos improductivos y tiempos muertos que afectan directamente la producción diaria. Esto confirma la necesidad de reorganizar el ciclo de trabajo y optimizar la coordinación entre los equipos.

La implementación de indicadores clave de desempeño (KPI), especialmente en el cargador frontal, resultó fundamental para diagnosticar el uso real de los equipos frente a su capacidad teórica. A pesar de contar con una alta disponibilidad mecánica, se evidenció una baja eficiencia operativa, lo que resalta la importancia de una gestión más rigurosa en el control de demoras y uso del equipo.

Entre los principales factores que contribuyen a la improductividad se encuentran la falta de mantenimiento oportuno, demoras en las maniobras de descarga, deficiente programación de actividades y limitada capacitación del personal. Estos elementos incrementan los tiempos no operativos y reducen la eficacia del sistema.

Tras la implementación de una mejor secuencia de ingreso a la zona de vaciado y una comunicación más precisa entre operadores y supervisores, se logró reducir significativamente los tiempos de espera en esa etapa crítica, mejorando así el rendimiento global del sistema de acarreo.

Finalmente, la reubicación estratégica del frente de carguío, el acondicionamiento de rutas y la mejora operativa general permitieron reducir el tiempo promedio de ciclo por volquete en un 18.1 %, aumentando la frecuencia diaria de viajes de 9 a 11 por unidad. Esta optimización elevó la producción de 810 m³ a 990 m³ por día (+22.2 %), equivalente a un incremento mensual de 4 680 m³, sin necesidad de adquirir nuevos equipos.

5.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda instaurar un sistema continuo de monitoreo de KPIs (tiempos de ciclo, disponibilidad de equipos, consumo de combustible) y un programa riguroso de mantenimiento preventivo. Asimismo, explorar la automatización parcial de la señalización y el uso de tecnología GPS en tiempo real para seguir mejorando la gestión del transporte.

Utilizar el software minero RecMin para las actualizaciones de la topografía, modelos geológicos, estimación de recursos, etc., facilitando el cálculo y disminuyendo los tiempos de investigación y proceso de datos, por ser un software gratuito en la web.

Continuar con la capacitación regular del personal para asegurar que todos los operadores estén actualizados en cuanto a las mejores prácticas y el uso eficiente de los equipos.

Evaluar y mejorar las rutas de acarreo con un análisis más detallado del terreno y considerar posibles alternativas tecnológicas para la mejora continua.

Invertir en nuevas tecnologías de monitoreo y gestión que permitan una visión más precisa y en tiempo real de las operaciones, facilitando la optimización constante.

Revisar y ajustar el mantenimiento preventivo de los equipos para maximizar su vida útil y reducir el tiempo de inactividad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amau, G. 2019 ‘Optimización de equipos de carguío y transporte para el incremento de producción en la CIA Minera Antapaccay Espinar – Cusco’, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Apaza, E. 2017. Disminución de tiempos improductivos para incrementar la utilización de los equipos de carguío y acarreo en la mejora continua de la productividad en el tajo Chalarina en Minera Shahuindo S.A.C. Universidad Nacional de Trujillo, 2017.
- Baldeon, Z. 2014. Gestión en las operaciones de transporte y acarreo para el incremento de la productividad En CIA. Minera Condestable S.A. Tesis profesional, Pontificia Universidad Catolica del Peru. Lima. Perú.
- Ballena Paredes, R. 2023. Optimización del ciclo de carguío y acarreo para evitar tiempos muertos y reducir costos operativos en la empresa Elohim S.A.C.
- Berneio, E., & Calderón, J. 2020. Diseño de un modelo de optimización de rutas de transporte. Revista Ingeniería y Competitividad, 22(1), 1–12.
- Bonzi, J. 2016. Propuestas de mejora de la utilización efectiva en base a la disponibilidad de la flota de carguío y transporte en minera los pelambres ubicada en Santiago de Chile.
- Camus, J. P. 2009. Planificación minera. Ediciones Universidad de Chile.
- Chávez, R. 2015. Operaciones unitarias en minería superficial. Fondo Editorial de la UNI.
- Condori, R. 2020. Estudio del sistema de acarreo de interior mina para optimizar tiempos, disminuir costos e incrementar la producción en E.E. NCA Servicios Mina Morococha.
- 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.
- Garcia, D. 2015. Propuesta de un nuevo diseño para incrementar la producción de una cantera de agregados ubicada en el estado de México.
- Gómez, P., & Martínez, H. 2016. Gestión de operaciones mineras: productividad y costos. Editorial Minera.

- Gurreonero Mamani, M. W. 2021. Optimización de tiempos del ciclo de carguío y acarreo en la empresa minera La Arena, Huamachuco - La Libertad.
- IGME. 2020. Guía técnica para la explotación sostenible de canteras. Instituto Geológico y Minero de España.
- Inga Espinoza, C. J. 2023. Optimización de la ruta de transporte de mineral en labores de avance para aumentar la producción en la Unidad Minera Parcoy, Consorcio Minero Horizonte S.A.
- Inga, C. 2023. Optimización de la ruta de transporte de mineral en labores de avance para aumentar la producción en la Unidad Minera Parcoy, Consorcio Minero Horizonte S.A.
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico 2023. Evaluación del peligro geológico por inundación fluvial en la Quebrada Cupisnique, distrito San Pedro de Lloc, provincia Pacasmayo, departamento La Libertad.
- Ministerio de Energía y Minas. 2008. Guía de inversiones de la gran y mediana minería.
- Moreno, L. 2021. Optimización de ciclos mineros en operaciones a cielo abierto. Editorial Geomine.
- Murga, A.E. 2016 ‘Mejora de la productividad en el ciclo de carguío y acarreo en mina Pucamarca - MINSUR SA.
- Puente, E. & Reyes, R. 2023. Indicadores claves de desempeño y producción en el carguío y acarreo en una mina a tajo abierto – Huamachuco 2022.
- Quiliche, R., & Torres, R. 2021. Evaluación del sistema de transporte de mineral en una mina subterránea-Pataz La-Libertad-2021.
- Quiroga, P. 2016. Diseño de herramienta computacional para control de kpi de operadores de carguío y transporte – mina los bronce. Santiago de Chile: Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Tesis (Ingeniero civil en Minas): universidad de Chile, 2016.

- Ramos Crisóstomo, M. J., & Salomón De la Peña, E. 2021. Optimización del ciclo de carguío, transporte y descarga de mineral para aumentar la producción de mineral en la Unidad Minera Andaychagua.
- Saldaña, A. 2013. Productividad en el ciclo de carguío y acarreo en el tajo Chaquicocha bajo clima severo – Minera Yanacocha. Cajamarca. Perú.
- Sánchez, F., & Rivas, M. 2018. Transporte de materiales en minería superficial. Editorial TecMin.
- Vargas, C., & Salazar, E. 2017. Geomorfología fluvial y aprovechamiento de áridos. Revista de Geociencias, 24(2), 33-42.
- Zaragoza, M., & Islas, V. 2016. Análisis de los sistemas de transporte. México.

ANEXOS

A. PLANOS

- Plano 01: Ubicación
- Plano 02: Satelital
- Plano 03: Topográfico (Modelo Digital De Elevaciones)
- Plano 04: Geológico – Estructural

ESTUDIO DE MATERIALES PRESENTES EN EL ÁREA DE ESTUDIO

REGISTRO DE CARACTERIZACIÓN DE CALICATA O TRINCHERAS

PROYECTO: OPTIMIZACIÓN DEL CICLO DE CARGUÍO ACARREO Y TRANSPORTE DE MATERIAL FLUVIAL DE LA CANTERA CERRO CHILCO, DISTRITO SAN PEDRO DE LLOC, REGIÓN LA LIBERTAD, 2024

UBICACIÓN: SAN PEDRO DE LLOC - PACASMAYO - TRUJILLO

CANTERA: Alma Mia II - Cerro Chilco

TIPO DE SONDEO : Calicata excavada a mano (1.20m x 0.70m)

PROFUNDIDAD: 1.60 m

TIPO DE EXCAVACIÓN: Mecánica

NIVEL FREÁTICO: No registrado

SONDAJE Nº : CT-01

COTA: 112.00 m.s.n.m.

COORDENADAS: N= 9174432

E= 673002

Nº DE MUESTRA: CT_O1

REGISTRADO POR : ADMN

REVISADO POR:ADMN

FECHA: 15-11-24

PROF. m	SUCS	SIMBOLO DE CLASIFICACION	DESCRIPCIÓN VISUAL DEL SUELO	MUESTRA		REGISTRO FOTOGRÁFICO
				IDEN.	TIPO	
		GP	0.00 - 0.40 m Grava arcillosa mal gradada, plasticidad baja, seca, mediananmente densa, color gris - amarillento, sin olor, heterogeneo, Presenta bolonería sub redondeado y sub angulosa TM=12" (75%), arena (20%)	M1	-	
0.40		SP-SC	0.40 - 1.30 Arena limosa con lentes de gravas, plasticidad media, seca mediananmente densa, color gris amarillento, sin olor, homogeneo, semi compacto. Presencia de gravas subredondeadas TM: 02"	M2		
1.30		GP	1.30 - 1.60 Grava arcillosa mal gradada, plasticidad baja, seca, mediananmente densa, color gris - amarillento, sin olor, heterogeneo, Presenta bolonería sub redondeado y sub angulosa TM=18" , grava (60%), areana (30%), finos (10%)	M3		

NOTA:

CUBIERTA VEGETAL

PT

GRAVA

GP o GW

GRAVA LIMOSA

GP o GW

GRAVA ARCILLOSA

GC

ARENAS

SP o SW

ARENAS LIMOSA

SP o SW

ARENAS ARCILLOSA

SC

LIMOS

ML o MH

ARCILLAS

CL o CH

ARCILLA LIMOSA

CM

ENSAYOS IN SITU

qu :Ensayo con petròmetro de mano

T :Ensayo con veleta de mano

D :Densidad in situ

DPL: Auscultaciòn dinàmica con penetròmetro ligero

TIPO DE MUESTRA

MI :Muestra inalterada

MA :Muestra alterada

BL :Bloque (Muestra inalterada)

M-1*:Muestra inalterada en tubo de PVC

CM :California Modificado

ESCALA GRÁFICA

0.0

0.5

1.0

RUC: 20602101488

Dirección: Psj. Diego Ferre N° 295 – Barrio San Martín – Cajamarca.

CORREO: guersaningenieros@gmail.com

ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS

PROYECTO:

“PROPIEDAD DE MATERIALES”

SOLICITANTE:

ANDY MORILLAS

UBICACIÓN:

-

CAJAMARCA, 20 DE SEPTIEMBRE DEL 2024.

GUERSAN INGENIEROS S.R.L.


Ledy Jhulisa Chingay Paredes
INGENIERO CIVIL
REG. CIP N° 208534

	GUERSAN INGENIEROS S.R.L				
	GI-EMS-031-09-24			FECHA: 20/09/2024	
	CONTENIDO DE HUMEDAD			ASTM D2216 AASHTO T 265	
PROYECTO:	"PROPIEDADES DE MATERIALES"				
UBICACIÓN:	-				
SOLICITANTE:	ANDY MORRILLAS			COORDENADAS DE CALICATA C-01	
CALICATA:	C-01	MATERIAL:	AGREGADO DE RIO	ESTE	NORTE
MUESTRA:	M-1	PROFUNDIDAD:	De 0.20m a 3.00m	-	-

CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE SECADO DE MUESTRA			
TEMPERATURA DE SECADO	110 °C	TIEMPO DE SECADO	16 h

CONTENIDO DE HUMEDAD	
Identificación de Tara	B-9
Masa de tara (g)	362.00
M. Tara + M.Húmeda (g)	9287.00
M. Tara + M. Seca (g)	9236.00
Masa de agua (g)	51.00
Masa de Muestra Seca (g)	8874.00
W (%)	0.57%

GUERSAN INGENIEROS S.R.L.

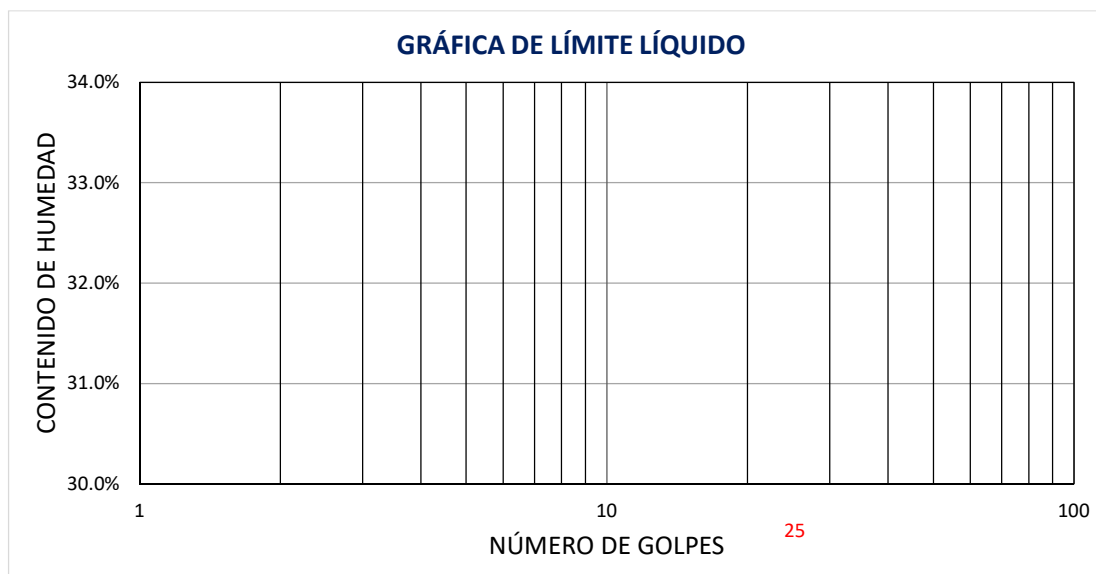

 Ledy Jhulisa Chingay Paredes
 INGENIERO CIVIL
 REG. CIP N° 208534

	GUERSAN INGENIEROS S.R.L				
	GI-EMS-031-09-24			FECHA: 20/09/2024	
	LÍMITES DE ATTERBERG			ASTM D4318 AASHTO T 89	
PROYECTO:	"PROPIEDADES DE MATERIALES"				
UBICACIÓN:	-				
SOLICITANTE:	ANDY MORRILLAS			COORDENADAS DE CALICATA C-01	
CALICATA:	C-01	MATERIAL:	AGREGADO DE RIO	ESTE	NORTE
MUESTRA:	M-1	PROFUNDIDAD:	De 0.20m a 3.00m	-	-

CONDICIONES DEL ENSAYO			
MUESTRA A ENSAYAR		CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D2216)	
TEMP. DE SECADO:	60 °C	TEMP. DE SECADO:	110 °C
TIPO DE MATERIAL:	Pasa la malla N° 40	TIEMPO DE SECADO:	16 h
AGUA USADA:	Potable		

LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO		
TARA N°	1	2	3	TARA N°	4	5
M tara (g)				M tara (g)		
Mt+ M.Húmeda (g)				Mt+ M.Húmeda (g)		
Mt+ M. Seca (g)				Mt+ M. Seca (g)		
M agua (g)				M agua (g)		
M M.Seca (g)				M. Muestra Seca (g)		
W(%)				W(%)		
N.GOLPES						

LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE DE PLASTICIDAD
NP	NP	NP



GUERSAN INGENIEROS S.R.L.

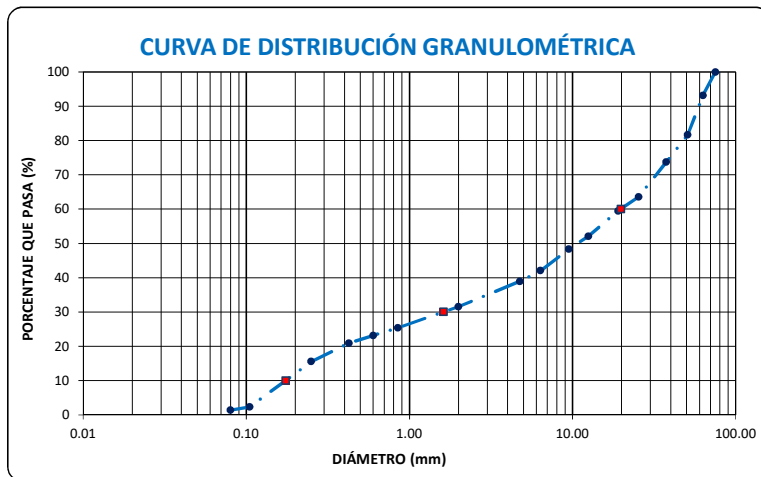
Ledy Jhulisa Chingay Paredes
INGENIERO CIVIL
REG. CIP N° 208534

	GUERSAN INGENIEROS S.R.L				
	GI-EMS-031-09-24			FECHA: 20/09/2024	
	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			ASTM D6913/D6913M-17 AASHTO T 88	
PROYECTO:	"PROPIEDADES DE MATERIALES"				
UBICACIÓN:	-				
SOLICITANTE:	ANDY MORRILLAS			COORDENADAS DE CALICATA C-01	
CALICATA:	C-01	MATERIAL:	AGREGADO DE RIO		ESTE NORTE
MUESTRA:	M-1	PROFUNDIDAD:	De 0.20m a 3.00m		- -

CONDICIONES DEL ENSAYO	
TEMPERATURA DE SECADO DE LA MUESTRA:	110 °C
CONDICIONES INICIALES DE LA MUESTRA	
PESO TOTAL MUESTRA SECA (g)	8800.00
PESO TOTAL MUESTRA SECA < N° 4 (g)	3426.00
PESO TOTAL MUESTRA SECA > N° 4 (g)	5374.00
CONDICIONES INICIALES FRACCIÓN FINA	
PESO SECO FRACCIÓN FINA (g)	250.00
CORRECCIÓN DE MUESTRA CUARTEADA	0.1557

ANÁLISIS FRACCIÓN GRUESA					
Tamiz		Peso Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que Pasa
N°	Abertura (mm)				
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00
2 ½"	63.50	604.00	6.86	6.86	93.14
2"	50.80	1007.00	11.44	18.31	81.69
1 ½"	38.10	697.00	7.92	26.23	73.77
1"	25.40	896.00	10.18	36.41	63.59
¾"	19.05	364.00	4.14	40.55	59.45
½"	12.70	647.00	7.35	47.90	52.10
⅜"	9.52	330.00	3.75	51.65	48.35
¼"	6.35	554.00	6.30	57.94	42.06
N°4	4.75	275.00	3.13	61.07	38.93
TOTAL	W G =	5374.00			

ANÁLISIS FRACCIÓN FINA					
Tamiz		Peso Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que Pasa
N°	Abertura (mm)				
N 10	2.00	47.50	7.40	68.47	31.53
N 20	0.85	39.40	6.14	74.60	25.40
N 30	0.60	14.40	2.24	76.84	23.16
N 40	0.43	14.60	2.27	79.12	20.88
N 60	0.25	34.40	5.36	84.47	15.53
N 140	0.11	84.90	13.22	97.70	2.30
N 200	0.08	5.80	0.90	98.60	1.40
Cazoleta	--	--	--	--	--
TOTAL					



PROPIEDADES DE LA MUESTRA			
PORCENTAJE DE GRAVA, ARENAS Y FINOS			% TOTAL
GRAVA (%):		61.07	100.00
ARENA GRUESA (%):		18.05	
ARENA FINA (%):		19.5	
FINOS (%):		1.40	
COEFICIENTES		DÍAMETROS EFECTIVOS	
Cu =	113.48	D60 =	19.741
Cc =	0.76	D30=	1.615
		D10 =	0.174
LÍMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318 / AASHTO T 89			
LÍMITE LÍQUIDO:		NP	
LÍMITE PLÁSTICO:		NP	
ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP):		NP	
CLASIFICACIÓN			
S.U.C.S. :		GP	

OBSERVACIONES:	LA MUESTRA EN ESTUDIO HA SIDO CLASIFICADA UTILIZANDO EL METODO S.U.C.S. Y CORRESPONDE A UNA GRAVA MAL GRADUADA, COLOR MARRÓN, MEZCLADA CON 61.07% DE GRAVA DE TM 3" Y CON 1.4% DE PARTÍCULAS FINAS MENORES QUE 0.075MM.
----------------	---

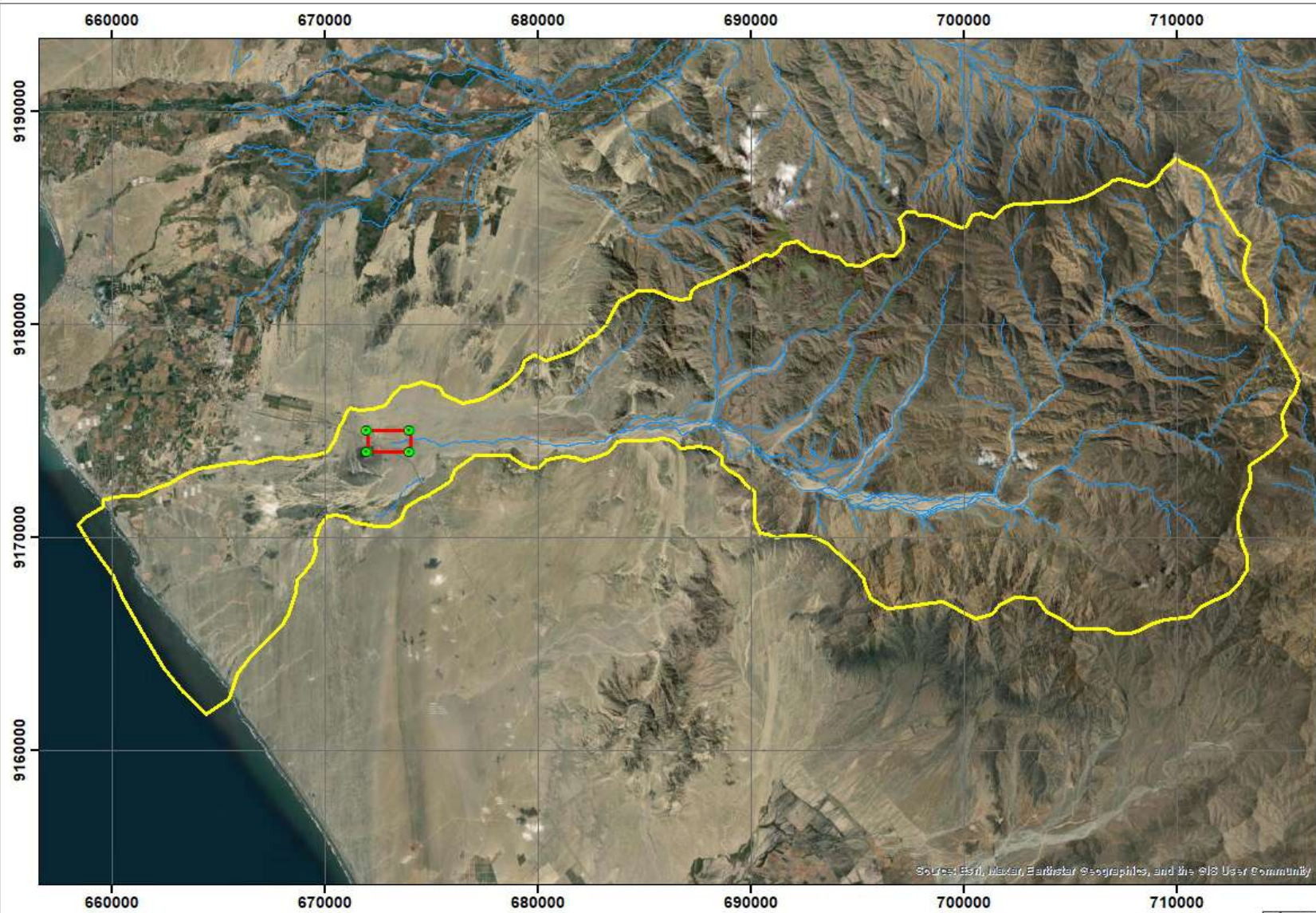
GUERSAN INGENIEROS S.R.L.

Andy Morrillas

Andy Morrillas Chingay Paredes

INGENIERO CIVIL

REG. CIP N° 208534



LEYENDA

- Vertices
- Área
- Red hídrica
- Micro cuenca Cupisnique

5,000 2,500 0 5,000 m

Escala: 1:200,000

SISTEMA DE CORDENADAS: UTM
DATUM: WGS 84
ZONA: 17 S



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESIS PROFESIONAL
OPTIMIZACIÓN DEL CICLO DE CARGUÍO ACARREO Y TRANSPORTE
DE MATERIAL FLUVIAL DE LA CANTERA CERRO CHILCO, DISTRITO
SAN PEDRO DE LLOC, REGIÓN LA LIBERTAD, 2024

PLANO: Ubicación

ESCALA: Indicada

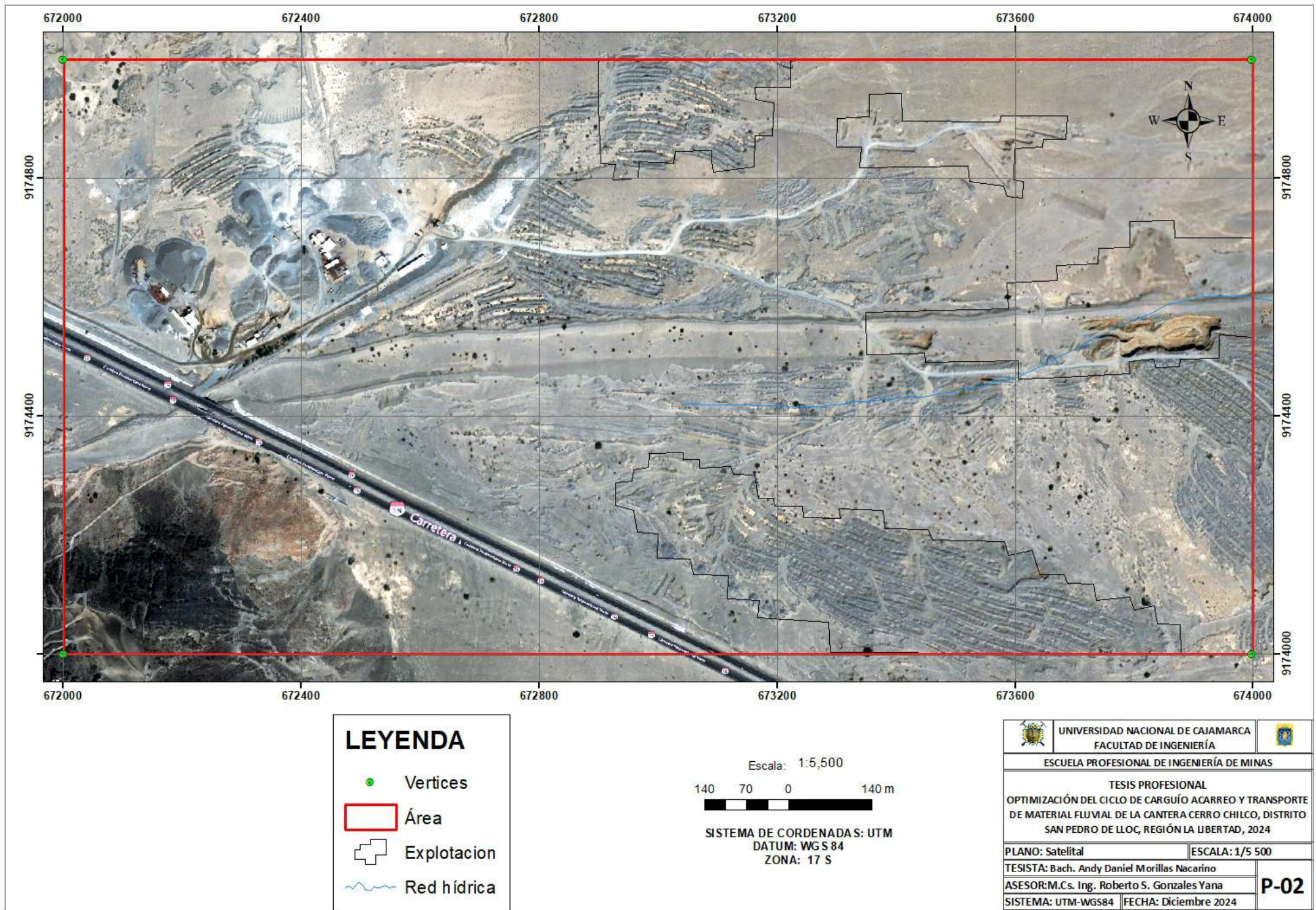
TESISTA: Bach. Andy Daniel Morillas Nacarino

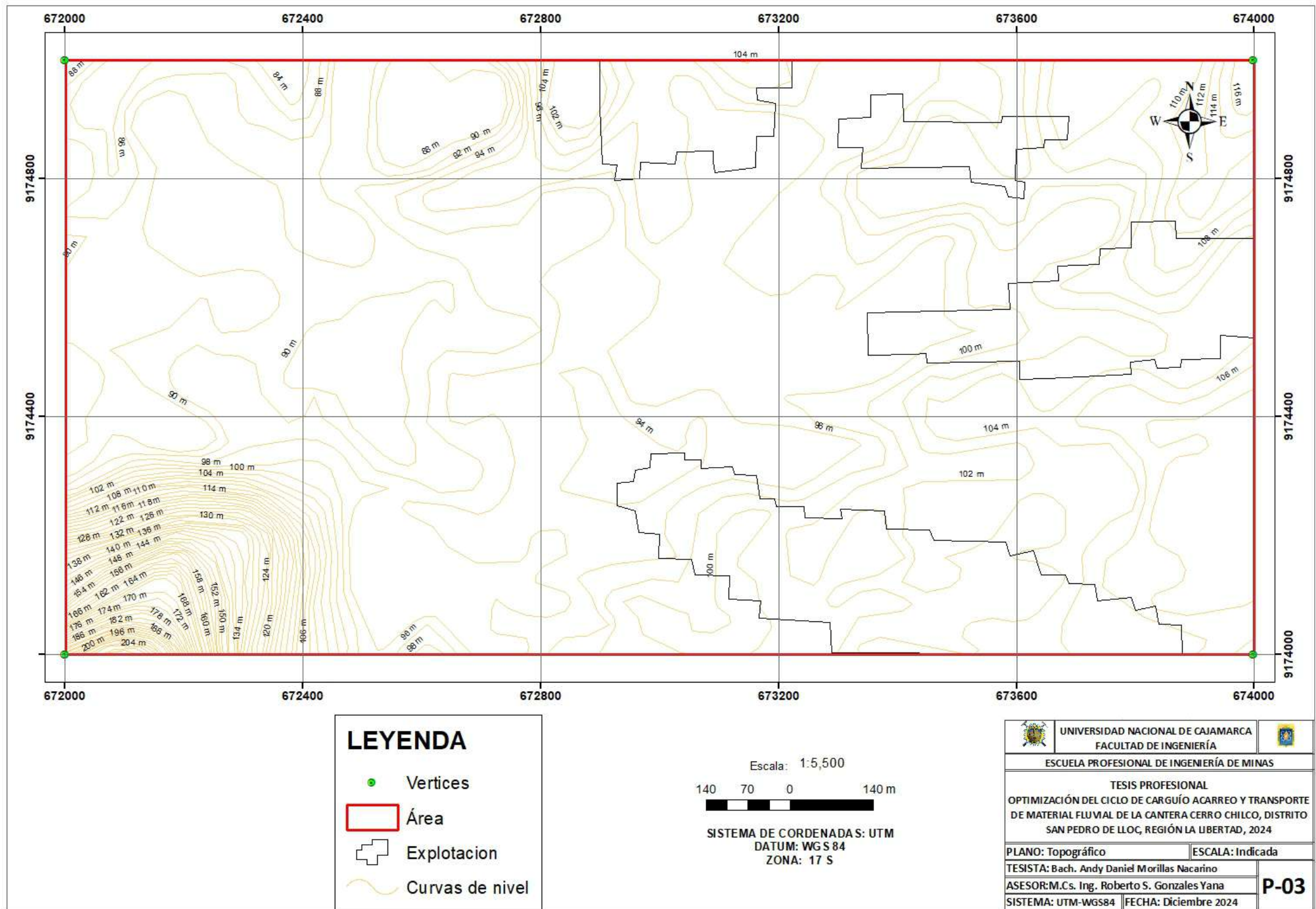
ASESOR: M.Cs. Ing. Roberto S. Gonzales Yana

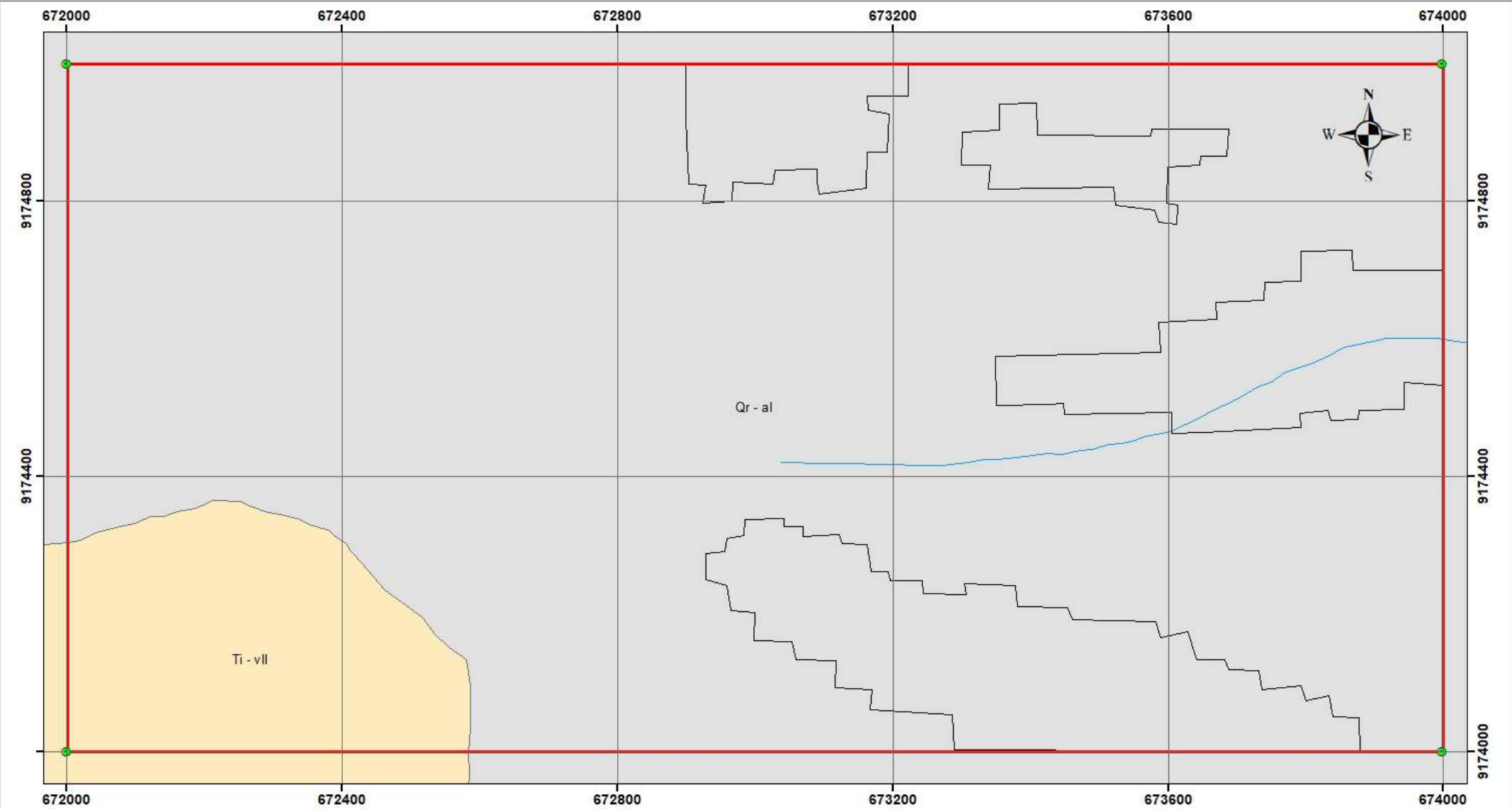
SISTEMA: UTM-WGS84

FECHA: Diciembre 2024

P-01







LEYENDA
Geologia
Litologia, Name

Qr - al, Deposito aluvial

Ti - vll, Volcanico Llama

LEYENDA

•

 Vertices

Área

Explotacion

Red hídrica

Escala: 1:5,500

140

70

0

140 m

SISTEMA DE CORDENADAS: UTM
DATUM: WGS 84
ZONA: 17 S

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS		
TESIS PROFESIONAL OPTIMIZACIÓN DEL CICLO DE CARGUÍO ACARREO Y TRANSPORTE DE MATERIAL FLUVIAL DE LA CANTERA CERRO CHILCO, DISTRITO SAN PEDRO DE LLOC, REGIÓN LA LIBERTAD, 2024		
PLANO: Geológico		ESCALA: Indicada
TESISTA: Bach. Andy Daniel Morillas Nacarino		
ASESOR: M.Cs. Ing. Roberto S. Gonzales Yana		
SISTEMA: UTM-WGS84		FECHA: Diciembre 2024
		P-04