



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS

**“Diseño y planificación de la explotación a cielo abierto en el libre aprovechamiento Paccha
1 del GAD municipal del cantón Cuenca”**

Trabajo de graduación previo a la obtención del grado académico de:

INGENIERO EN MINAS

Autores:

VICENTE DAVID ORELLANA MÉNDEZ

DANNY ALEXANDER ROMÁN GUTIÉRREZ

Director:

ING. LEONARDO ANÍBAL NÚÑEZ RODAS

CUENCA, ECUADOR

2025

Vicente David Orellana Méndez

Danny Alexander Román Gutiérrez

Ing. Leonardo Aníbal Núñez Rodas

Junio 2025

**“Diseño y planificación de la explotación a cielo abierto en el libre aprovechamiento Paccha
1 del GAD municipal del cantón Cuenca”**

DEDICATORIA

A mi madre, Elizabeth, quien desde el primer día me enseñó el valor del esfuerzo. Su amor incondicional y apoyo constante han sido mi fortaleza.

A Lobito, mi fiel amigo, quien me acompañó en mi travesía universitaria y sigue presente desde el cielo.

Mi abuela Alicia, cuyo apoyo y resiliencia me ayudaron en mis mayores dificultades.

Finalmente, a todas las personas que contribuyeron a que este sueño se hiciera realidad.

Vicente David Orellana Méndez

A mi madre Carmita, motor en mis momentos de incertidumbre, quien me enseñó que rendirse nunca es opción. A mi padre Patricio, quien me inculcó la pasión por la minería y fue la chispa que encendió mi vocación.

Patricia, ejemplo constante del valor de la educación, y a mi hermano Esteban, compañero inseparable en este camino, Mi abuela Celia, por su apoyo incondicional en cada etapa y sobre todo, a Dios por su infinita sabiduría y amor.

Danny Alexander Román Gutiérrez

AGRADECIMIENTOS

A las tres mujeres fundamentales en mi vida: mi madre Elizabeth, mi tía Cristina y mi abuela Alicia, por haberme criado con tanto amor y dedicación.

A mi compañero Danny y mis docentes, en especial al Ing. Leonardo Núñez, director de tesis, por su guía valiosa.

Y a ti, Lobito, mi querido amigo peludo, cuya compañía y amor incondicional fueron esenciales para alcanzar esta meta.

Vicente David Orellana Méndez

A mi madre por su esfuerzo incansable y ejemplo de fortaleza, inspiración constante en mi vida. A Patricio mi padre, por sus sabios consejos y guía en valores fundamentales. Patty y Esteban, pilares de motivación diaria y ejemplo de superación personal. Cuzy, mi compañero de cuatro patas, por brindarme compañía y afecto incondicional en cada jornada. A todas las personas con quienes compartí estos años, S. Castillo por su apoyo crucial en la universidad.

Danny Alexander Román Gutiérrez

Agradecimiento especial al Mgs. Leonardo Nuñez quien promovió con sus consejos y sabiduría la cual la adquirido por años de dedicación a esta carrera.

Vicente y Danny

RESUMEN

El presente trabajo plantea un modelo de explotación a cielo abierto para el aprovechamiento racional de materiales pétreos en la parroquia de Paccha, cantón Cuenca. La propuesta fue desarrollada en conjunto con el GAD Municipal de Cuenca y la Facultad de Ingeniería en Minas de la Universidad del Azuay. Basado en estudios geotécnicos, topográficos y ensayos de laboratorio, se validó la idoneidad del material para uso en balasto y aceras, conforme a la norma MOP-001-F-2002. Se emplearon técnicas de georreferenciación satelital, fotogrametría aérea y análisis de estabilidad de taludes para diseñar bancos descendentes que eviten la afectación a cuerpos de agua. El plan de acción incluye una planificación operativa detallada, cálculos volumétricos y un plan ambiental que garantice una operación técnica, segura y ambientalmente responsable.

Palabras clave: Explotación a cielo abierto, agregados pétreos, planificación operativa, estabilidad de taludes, georreferenciación, fotogrametría, sostenibilidad minera.

ABSTRACT

This study proposes an open-pit mining design for the rational extraction of rock aggregates in Paccha parish, Cuenca. The project was developed jointly with the Municipal GAD of Cuenca and the University of Azuay's Faculty of Mining Engineering. Based on geotechnical, topographic, and laboratory studies, the material was validated for use in ballast and sidewalks according to MOP-001-F-2002 standards. Satellite georeferencing, aerial photogrammetry, and slope stability analyses were applied to design descending benches that prevent impact on water bodies. The action plan includes detailed operational planning, volumetric estimates, and an environmental management plan to ensure a safe and sustainable operation.

Keywords: Open-pit mining, rock aggregates, operational planning, slope stability, georeferencing, photogrammetry, mining sustainability.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
INDICE DE TABLAS	xiii
INDICE DE ANEXOS	xiv
INTRODUCCION	1
CAPITULO 1.....	2
ANTECEDENTES	2
1.1 Explotación minera a cielo abierto	2
1.1.1 Cantera	3
1.2 Normativas mineras	4
1.3 Normativa Local del GAD Municipal de Cuenca.....	5
1.4 Planificación minera	7
1.5 Propiedades geotécnicas del material	8
1.6 Maquinaria y equipos en canteras.....	9
1.7 Software en la planificación.....	13
1.7.1 Agisoft Metashape	13
1.7.2 QGIS	14
1.7.3 AutoCad.....	14
1.7.4 CivilCad	15

1.7.5 Exel	15
1.8 Normativas de mantenimiento vial en el Ecuador	15
1.8.1 Nacionales.....	15
CAPITULO 2.....	16
CARACTERISTICAS PRINCIPALES Y TRABAJOS TECNICOS	16
2.1 Datos generales	16
2.2 Ubicación geográfica	17
2.3 Vías de acceso.....	19
2.4 Geología regional y local	21
2.5 Levantamiento topográfico y cartográfico.....	26
2.6 Curvas de nivel	28
2.7 Profundidad del frente la cantera	30
2.8 Propiedades físicas y mecánicas del material	32
2.8.1 Clasificación del material	32
2.8.2 Propiedades de compactación (Proctor).....	33
2.8.3 Capacidad de soporte (Ensayo CBR).....	33
2.8.4 Propiedades adicionales	34
2.9 Análisis de costos operativos	35
2.9.1 Costos directos.....	35
2.9.2 Costos indirectos.....	37
2.9.3 Mantenimiento y transporte	38
2.10 Seguridad en las operaciones de explotación.....	39
2.10.1 Capacitaciones periódicas y seguridad.....	40

2.11 Control de polvo	41
2.12 Señalización y delimitación de áreas peligrosas	41
2.12 Supervisiones periódicas y auditorias	41
CAPITULO 3.....	43
DISEÑO DE EXPLOTACION.....	43
3.1 Selección del método de explotación.....	43
3.1.1 Estabilidad de taludes y bermas	43
3.1.2 Condiciones geológicas	43
3.2 Diseño del plano de explotación	44
3.3 Evaluación de la Calidad del Macizo Rocosos y Su Influencia en el Diseño	46
3.4 Puntaje de ajuste por orientación de discontinuidades.	48
3.5 Cálculo de volúmenes y vida útil.....	49
3.6 Programación por etapas anuales de extracción.	52
3.7 Plan de manejo ambiental	54
3.8 Evaluación de alternativas de diseño	56
3.9 Planificación del uso del material	57
CAPITULO 4.....	59
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	59
4.1 Análisis de ensayos de laboratorio.....	59
4.2 Evaluación del diseño de explotación propuesto	59
4.3 Análisis económico del proyecto.	60
CONCLUSIONES.....	62
RECOMENDACIONES.....	63

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
ANEXOS	67

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1</i> Parámetros que definen la geometría de un talud minero.	4
<i>Figura 2</i> Parámetros y Especificaciones de la Cat 320 - Tier 3.	10
<i>Figura 3</i> Excavadora Caterpillar 320 – TIER 3 Vista Lateral.	11
<i>Figura 4</i> Dimensiones de la Excavadora Caterpillar 320 – Tier 3.	11
<i>Figura 5</i> Especificaciones de la Volqueta Sinotruck T5G 330.	12
<i>Figura 6</i> Volqueta Sinotruck T5G 330 entregada por la alcaldía a las parroquias de Cuenca. .	12
<i>Figura 7</i> Vista frontal y lateral de la volqueta Sinotruck T5G 330.	13
<i>Figura 8</i> Logo de Agisoft.	13
<i>Figura 9</i> Logo QGIS.	14
<i>Figura 10</i> Logo AutoCAD.	14
<i>Figura 11</i> Logo Civil 3D.	15
<i>Figura 12</i> Logo Excel.	15
<i>Figura 13</i> Mapa de Ubicación "Paccha 1"	18
<i>Figura 14</i> Mapa de acceso.	20
<i>Figura 15</i> Mapa de predios.	21
<i>Figura 16</i> Mapa de ríos y quebradas.	23
<i>Figura 17</i> Leyenda del mapa de ríos y quebradas.	23
<i>Figura 18</i> Mapa Geológico.	24
<i>Figura 19</i> Mapa Geomorfológico.	25
<i>Figura 20</i> Mapa de Movimiento de Masas.	26
<i>Figura 21</i> Ortofoto.	27
<i>Figura 22</i> Curvas de Nivel.	30

<i>Figura 23 Equipos de Protección Personal.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 24 Diseño de explotación.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 25 Vistas laterales del diseño de explotación.</i>	<i>46</i>
<i>Figura 26 Diseño de explotación y Perfiles trazados sobre la zona de intervención.</i>	<i>51</i>
<i>Figura 27 Ilustración de mantenimiento vial.</i>	<i>58</i>

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Datos Generales.</i>	17
<i>Tabla 2 Coordenadas de Ubicación.</i>	19
<i>Tabla 3 Propiedades físicas y mecánicas del material, Sector “PACCHA 1”.</i>	34
<i>Tabla 4 Detalle de costos directos unitarios.</i>	36
<i>Tabla 5 Detalle de costos indirectos estimados.</i>	37
<i>Tabla 6 Costos de mantenimiento y transporte.</i>	38
<i>Tabla 7 Estimación de costos operativos por metro cúbico.</i>	39
<i>Tabla 8 Evaluación de estabilidad de parámetros de diseño.</i>	44
<i>Tabla 9 Parámetros de clasificación.</i>	47
<i>Tabla 10 Puntaje de ajuste por orientación de discontinuidades.</i>	48
<i>Tabla 11 Clasificación de la roca de acuerdo al puntaje ajustado.</i>	49
<i>Tabla 12 Calidad del macizo rocoso de acuerdo a clasificación.</i>	49
<i>Tabla 13 Calculo de Corte y Relleno.</i>	52
<i>Tabla 14 Programación por etapas anuales de extracción del sector “PACCHA 1”.</i>	53
<i>Tabla 15 Comparación de costos unitarios de material.</i>	61

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Recoleccion de muestras en la zona de prospección.....	67
Anexo 2 Realización de estudios de suelo, específicamente CBR.	68
Anexo 3 Toma de puntos con equipo RTK.	69
Anexo 4 Equipo RTK.	70
Anexo 5 Aterrisaje del dron despues del levantamiento aereo.	71
Anexo 6 CBR PACCHA Pagina 1.....	72
Anexo 7 CBR “PACCHA 1” Pagina 2.	73
Anexo 8 CLASIFICACIÓN “PACCHA 1” Pagina 1.....	74
Anexo 9 CLASIFICACIÓN “PACCHA 1” Pagina 2.....	75
Anexo 10 CLASIFICACIÓN “PACCHA 1” Pagina 3.....	76
Anexo 11 CLASIFICACIÓN “PACCHA 1” Pagina 4.....	77
Anexo 12 PROCTOR "PACCHA 1".....	78

INTRODUCCION

La explotación minera engloba dos sistemas, el presente estudio utiliza la explotación a cielo abierto, la cual es el principal sistema utilizado para la extracción de áridos y pétreos alrededor del mundo, esto se debe a su eficacia y capacidad de manejar grandes volúmenes de material extraído, en el presente trabajo se desarrolla un análisis y diseño de explotación de un yacimiento a cielo abierto, considerando todos los aspectos técnicos, operacionales y ambientales para el caso, asegurando y garantizando una explotación segura y sostenible con el medio ambiente y las zonas pobladas aledañas.

El diseño se fundamenta en estudios sistemáticos para la caracterización de el yacimiento, como son las propiedades físicas del suelo mediante la extracción de material en diferentes puntos distribuidos minuciosamente a lo largo y ancho de la zona de extracción, se puede realizar estudios de suelo como son: Proctor, CBR, índice de plasticidad, entre otros, los cuales nos ayudan a definir el uso que se le puede otorgar al material que se va a explorar., teniendo en cuenta también los análisis de estabilidad de taludes, creación de bancos, rampas de acceso, así también los equipos recomendados para las condiciones del terreno, además se incorporan criterios de seguridad y normativas vigentes, con el fin de minimizar el impacto ambiental en el área intervenida.

A través de este diseño de explotación se evalúa la viabilidad técnica del proyecto, determinando los parámetros óptimos de operación y los desafíos que puedan surgir durante la ejecución del proyecto minero, además los resultados obtenidos servirán como base para la toma de decisiones futuras en caso de que se presentes imprevistos naturales, forzados o de expansión.

CAPITULO 1

ANTECEDENTES

1.1 Explotación minera a cielo abierto

Siendo conscientes de la importancia de la gestión territorial y con el fin de tener un mantenimiento integral de la red vial rural que pertenece al cantón Cuenca, el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal (GAD) del cantón Cuenca, a través de la Dirección General de Áridos y Piedras, ejecutó un proyecto dirigido al fortalecimiento técnico de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Parroquiales en la gestión y planificación de los materiales no metálicos (GAD Municipal Cuenca, 2023).

En los procesos de diagnóstico técnico realizados en las diferentes parroquias rurales de dicho cantón, se ha identificado como un tema transversal la falta de regulación en las zonas de extracción de áridos y piedras, como arena, gravilla y piedra, que son elementos de relevancia estratégica para la implementación de obras de infraestructura, construcción y mejoramiento de las comunidades. Esta brecha se debe, ya sea a la ausencia de una planificación técnica o al desconocimiento sobre los procedimientos regulatorios necesarios para el uso responsable de estos recursos.

El proyecto fue elaborado en respuesta a este problema y se llama "Apoyo técnico al GAD Municipal del cantón Cuenca en la gestión sostenible de áreas para la extracción de materiales de construcción", que tiene como objetivo proporcionar asistencia técnica a los GAD rurales, para lograr la planificación racional de la actividad extractiva, bajo la ley vigente y posibles criterios ambientales de sostenibilidad (GAD Municipal Cuenca, 2023).

Para cumplir con estos requisitos, se llevó a cabo una coordinación interinstitucional entre la "Dirección General de Áridos y Piedras del GAD Municipal del cantón Cuenca" y la

Facultad de Ciencia y Tecnología, Escuela de Ingeniería en Minas de la Universidad de Azuay para la elaboración del estudio técnico. Adicionalmente, como parte de la metodología, se realizó una inspección técnica en el sector PACCHA 1, ubicado en la parroquia Paccha, para llevar a cabo actividades como la recogida de muestras, análisis geotécnico preliminar y levantamiento topográfico del área, con el objetivo de formular un diseño de proyecto para la explotación de áridos y piedras que responda en términos de estabilidad, eficiencia operativa y compatibilidad ambiental.

1.1.1 Cantera

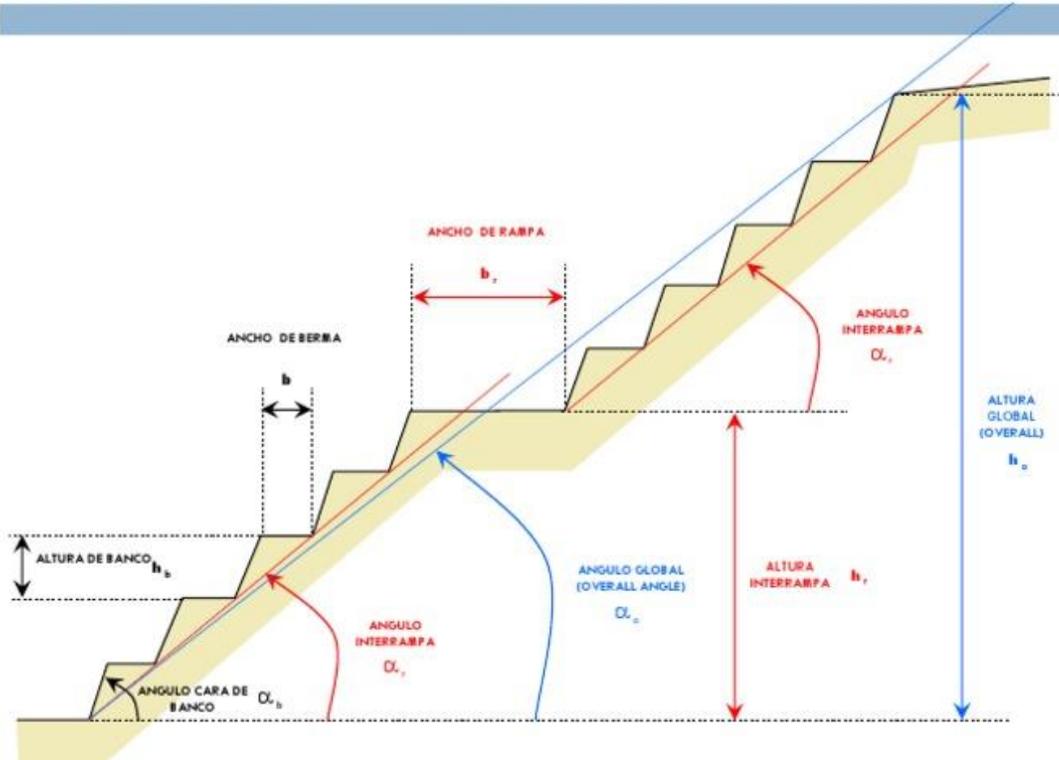
Para la explotación a cielo abierto, se cuenta con un área de trabajo significativamente mayor en superficie en comparación con la minería subterránea, lo que implica la incorporación de diversos elementos geométricos y operativos que permiten el desarrollo seguro, eficiente y técnico del proceso extractivo, entre estos elementos se encuentran:

- Banco: Un banco se refiere a un escalón o nivel horizontal que se forma entre dos alturas dentro de una excavación, ya sea de material útil o estéril. Este escalón constituye la unidad básica de extracción en operaciones a cielo abierto y su diseño (altura, ancho y ángulo de talud) es crucial para garantizar la estabilidad del terreno, la seguridad operativa y la eficiencia del proyecto. (Ministerio de Minas y Energía de Colombia, 2003)
- Talud: Se refiere a una superficie inclinada del suelo cuando naturalmente o no está en pendiente y cuando es hecha por el hombre la superficie se llama talud. Su perfil es de diferentes alturas y ángulos.
- Altura del talud: Esta es la altura desde el pie del talud (base) hasta la cresta o el punto más alto del talud a lo largo del eje vertical.

- Ancho de la berma: Se refiere al espacio entre taludes. Esto se utiliza como una plataforma de trabajo y, al mismo tiempo, como una característica de seguridad para prevenir o detener la caída libre de material suelto de mayores elevaciones.
- Ángulo de banco: Indica el grado de inclinación que presenta el talud con respecto a la horizontal de la berma, lo que es de gran importancia para garantizar la estabilidad del trabajo.

Figura 1 Parámetros que definen la geometría de un talud minero.

Parámetros que definen la geometría de un talud minero



Fuente: (Escriba L, 2019).

1.2 Normativas mineras

En el contexto legal ecuatoriano, esta actividad está regulada por la Ley de Minería (Registro Oficial Suplemento 517, 2009), la cual establece que las operaciones mineras deben

garantizar la seguridad de los trabajadores, la estabilidad geotécnica de las estructuras y la protección del ambiente. Además, el Reglamento General a la Ley de Minería (Decreto Ejecutivo No. 119, 2013) determina los lineamientos técnicos y de control para la explotación a cielo abierto, exigiendo el diseño de bancos, bermas, y planes de manejo ambiental para minimizar los impactos negativos y garantizar condiciones seguras de operación (Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2013).

1.3 Normativa Local del GAD Municipal de Cuenca

Esta ordenanza establece el marco regulatorio para la explotación de materiales áridos y pétreos en Cuenca, definiendo las competencias del GAD Municipal, los requisitos para obtener permisos y concesiones, las obligaciones ambientales de los titulares mineros, y las sanciones por incumplimientos. Destaca la responsabilidad de la Dirección General de Minas en la autorización y control de estas actividades, así como la coordinación con la Comisión de Gestión Ambiental para asegurar la sostenibilidad del entorno.

En el ámbito local, el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cuenca ha dictado ordenanzas específicas para regular la minería de áridos y proteger las fuentes hídricas del cantón. Destaca la Ordenanza que regula la actividad minera para materiales áridos y pétreos en el Cantón Cuenca (aprobada el 29 sep. 2016). Esta norma faculta a la Dirección General de Minas municipal para otorgar concesiones y permisos de explotación de áridos (grava, arena, arcilla, piedra, etc.) y establece requisitos ambientales obligatorios. Por ejemplo, obliga a los concesionarios a cumplir con todas las disposiciones legales (nacionales y locales) y a seguir “buenas prácticas ambientales”, señalando expresamente la restauración inmediata del entorno y la mitigación de impactos negativos conforme avanzan las labores de explotación. Esto refleja el

espíritu constitucional: la ordenanza insiste en que incluso la minería de materiales de construcción debe ejecutarse con responsabilidad ambiental.

El mismo cuerpo normativo municipal prioriza la remediación ambiental desde el inicio de la actividad. Su Artículo 2 indica que la Dirección de Minas debe “otorgar, administrar y controlar” toda explotación de áridos y pétreos en el cantón, ya sea a gran, mediana, pequeña escala o artesanal, así de esta manera “priorizando bajo prevención de ley la remediación ambiental desde el inicio y durante el tiempo dedicado a esa actividad”.

En la práctica significa que para cualquier concesión es necesario un permiso ambiental, certificados de uso de suelo y garantías económicas que cubran la restauración post-explotación, de hecho, la ordenanza exige presentar la Licencia Ambiental otorgada por el Ministerio del Ambiente junto con la solicitud, y tipifica sanciones (hasta la caducidad del permiso) por incumplimiento de las obligaciones ambientales.

Otras iniciativas locales refuerzan la prohibición de la minería en zonas críticas, por ejemplo, en 2013 el GAD Cuenca creó un subsistema de áreas protegidas denominado “ACUS” (Áreas de Conservación y Uso Sustentable) para resguardar fuentes hídricas, páramos y ecosistemas estratégicos. Aunque esta ordenanza no menciona explícitamente la minería, protege de hecho zonas de recarga hídrica ante las cuales cualquier actividad extractiva queda bajo limitaciones severas. Más recientemente, la voluntad popular también ha jugado un rol importante, como fue en la consulta por el agua de febrero 2021, la población de Cuenca votó masivamente por prohibir la minería en cinco zonas de recarga hídrica del cantón. Si bien, este resultado aún no es una ordenanza, el Concejo Cantonal emitió resoluciones reafirmando la defensa de las fuentes de agua ante proyectos mineros futuros como es el de “Loma Larga”.

En conclusión, las normativas locales de Cuenca fortalecen el control ambiental, imponiendo requisitos de remediación, restringiendo la minería a cielo abierto en áreas sensibles del cantón.

1.4 Planificación minera

La planificación minera constituye una etapa fundamental dentro del ciclo de vida de un proyecto extractivo, ya que permite definir, estructurar y programar de manera secuencial las actividades requeridas para llevar a cabo la explotación de un yacimiento bajo criterios de eficiencia técnica, seguridad operativa y sostenibilidad ambiental. Este proceso integra información proveniente de estudios geológicos, geotécnicos, topográficos, ambientales y económicos, a fin de establecer las condiciones técnicas bajo las cuales se ejecutará la operación minera, considerando el tipo de material, la geomecánica del macizo, la accesibilidad del terreno y la normativa vigente.

En el caso de la minería de áridos y materiales pétreos, la planificación contempla elementos específicos que garantizan la explotación eficaz del recurso. Entre ellos se encuentran: la delimitación del área de extracción denominada (polígono), la selección del método de explotación (por banqueo descendente, terrazas o tajos sucesivos), el diseño geométrico de bancos y bermas, la proyección del cronograma de avance por fases, así como el establecimiento de zonas de acopio, vías de acarreo, y plataformas auxiliares. Estos componentes deben ser definidos considerando la minimización de impactos ambientales y el cumplimiento de medidas de control y mitigación.

Adicionalmente, se integran variables ambientales tales como el control de emisiones de material particulado y la gestión de ruido, aplicando medidas correctivas y preventivas establecidas en el Plan de Manejo Ambiental. Asimismo, se contemplan aspectos de seguridad

minera, entre ellos la estabilidad de taludes, la señalización de frentes activos, y la capacitación del personal técnico y operativo.

De acuerdo con el Reglamento Ambiental para Actividades Mineras, en su Art. 18, se establece que “la planificación deberá contemplar el diseño de fases operativas que incluyan medidas de control ambiental y acciones para la rehabilitación progresiva del área intervenida” (Ministerio del Ambiente, 2014, p. 33). En ese sentido resulta indispensable incorporar dentro de la planificación minera un cronograma de cierre progresivo que contemple la recuperación del paisaje, revegetación de áreas impactadas y tratamiento adecuado de pasivos ambientales, conforme al principio de responsabilidad extendida del titular minero.

Una planificación técnica bien estructurada permite optimizar los volúmenes de extracción en función del tiempo, minimizar los riesgos operativos y asegurar la viabilidad del proyecto a largo plazo, en cumplimiento con la Ley de Minería (2009), su Reglamento General, y los lineamientos técnicos establecidos por el Ministerio de Energía y Minas, así como por la autoridad ambiental correspondiente. Esta planificación constituye además un instrumento de gestión que respalda la toma de decisiones estratégicas durante todo el desarrollo de la operación minera.

1.5 Propiedades geotécnicas del material

El conocimiento de las propiedades geotécnicas del material es fundamental para garantizar la estabilidad de la explotación minera de áridos y pétreos, además, la eficiencia de las operaciones de extracción, estas propiedades definen el comportamiento mecánico del suelo y rocas frente a los esfuerzos inducidos durante las labores de corte, carga y transporte, almacenamiento del material, desastres naturales y climas lluviosos.

Entre los parámetros más relevantes se encuentran la densidad aparente, la resistencia al corte, el ángulo de fricción interno, la cohesión, la permeabilidad y el índice de compactación. Posteriormente la determinación de estas características permite establecer las condiciones de estabilidad de taludes, definir los ángulos seguros de trabajo, dimensionar bermas y rampas, y evaluar el comportamiento del material frente a la acción del agua y otros agentes erosivos.

Para el caso de la explotación de áridos y pétreos, estos parámetros influyen directamente en el diseño del método de explotación, en la selección de maquinaria adecuada, en el rendimiento de extracción y en las medidas de seguridad operativa. Por ello, su evaluación debe ser realizada mediante ensayos de laboratorio complementados con observaciones de campo, siguiendo las metodologías establecidas en las normas ASTM y las recomendaciones del “Reglamento Ambiental para Actividades Mineras.”

“Los estudios geotécnicos deberán considerar el análisis de estabilidad de taludes, comportamiento del macizo rocoso, grado de fracturamiento, propiedades físicas y mecánicas del material, y comportamiento ante la presencia de agua” (Ministerio del Ambiente, 2014, p. 33).

Un conocimiento adecuado de estas propiedades también permite predecir la estabilidad global del yacimiento a lo largo de las fases de explotación, facilitando la implementación de sistemas de drenaje, control de erosión y medidas de mitigación de riesgos geotécnicos.

1.6 Maquinaria y equipos en canteras

La actividad minera a cielo abierto, particularmente en el contexto de explotación de canteras, requiere la utilización de maquinaria especializada que permita ejecutar las labores de remoción, carga, transporte y procesamiento del material presente en el yacimiento. Cada equipo seleccionado debe cumplir funciones específicas dentro del ciclo operativo de la explotación,

respondiendo a las condiciones geomecánicas del terreno, al volumen de producción proyectado y a las características del material a extraer.

La elección adecuada de maquinaria influye directamente en la eficiencia operativa, seguridad del personal y continuidad del proceso extractivo, por lo que resulta imprescindible definir con precisión las capacidades técnicas de los equipos que intervendrán en las distintas fases del desarrollo del proyecto, desde la preparación del terreno hasta el acarreo del material hacia zonas de acopio o procesamiento.

En función de los requerimientos del diseño de explotación y considerando las condiciones topográficas del sector “PACCHA 1”, a continuación, se recomienda la utilización de los siguientes equipos, cuyas características técnicas se detallan posteriormente:

Figura 2 Parámetros y Especificaciones de la Cat 320 - Tier 3.

Parámetro	Especificación
Marca / Modelo	Caterpillar 320C Tier 3
Potencia neta	110 kW (147 hp)
Peso operativo	21.900 kg
Capacidad del cucharón	0.80 – 1.54 m ³
Profundidad máxima de excavación	6.7 m
Altura máxima de descarga	6.9 m
Alcance máximo a nivel del suelo	9.9 m
Radio de giro de la cola	2.75 m
Velocidad de desplazamiento	5.5 km/h (máxima)
Ancho total de la máquina	2.98 m
Longitud total para transporte	9.54 m
Tipo de tren de rodaje	Sobre orugas (zapatas de 600 mm)
Combustible	Diésel

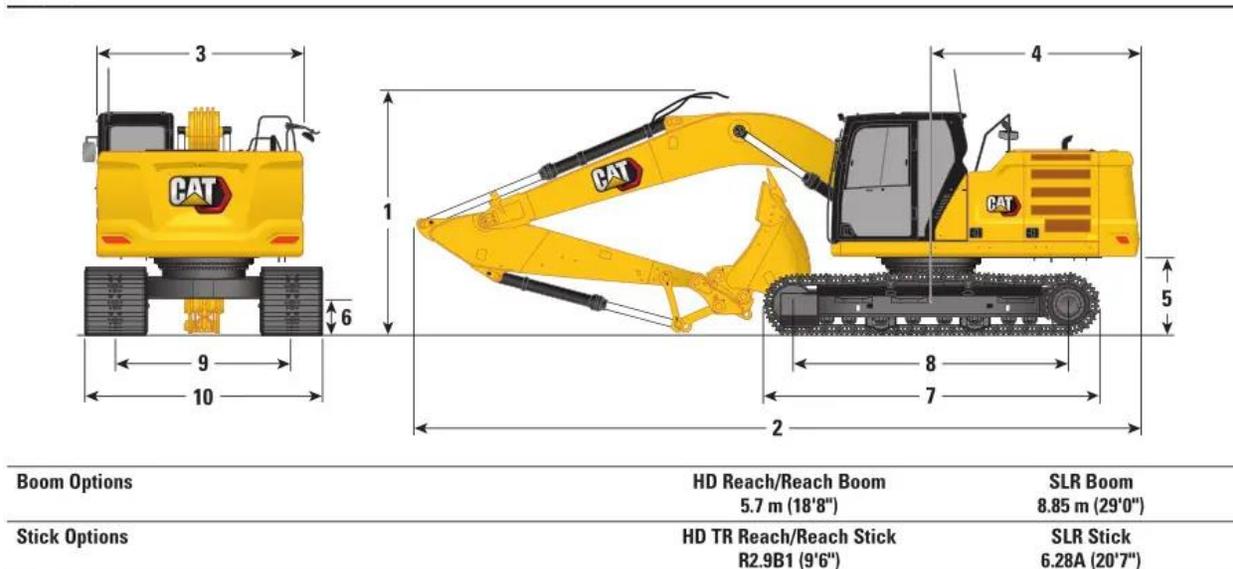
Fuente: (Cat,2025).

Figura 3 Excavadora Caterpillar 320 – TIER 3 Vista Lateral.



Fuente: (Cat,2025).

Figura 4 Dimensiones de la Excavadora Caterpillar 320 – Tier 3.



Fuente: (Manuals.plus, s.f.)

Figura 5 Especificaciones de la Volqueta Sinotruck T5G 330.

Parámetro	Especificación
Motor	Modelo MC07.33-50 con tecnología MAN
Potencia máxima	330 HP a 1,900 RPM
Torque máximo	920 lb-ft entre 1,200 y 1,800 RPM
Tipo de combustible	Diésel
Norma de emisiones	Euro V
Combustible	400 litros
Peso bruto vehicular	28,300 kg (62,390 lbs)
Peso del vehículo	8,300 kg (18,298 lbs)
Capacidad de carga útil	20,000 kg (44,092 lbs)
Ángulo de aproximación	30°

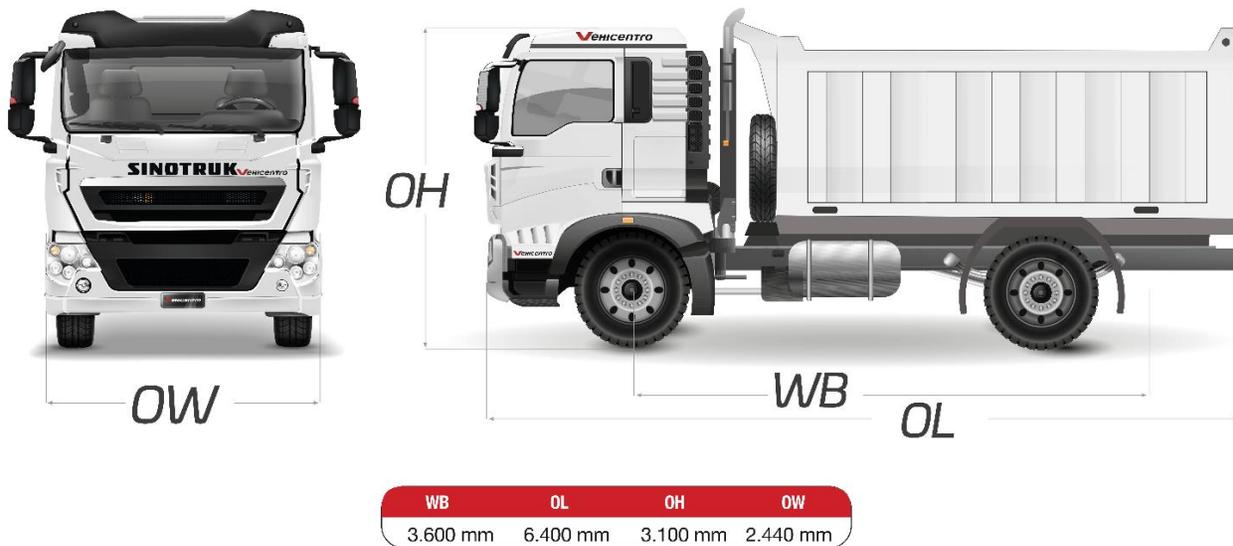
Fuente: (Sitrak Cuautitlán, 2023)

Figura 6 Volqueta Sinotruck T5G 330 entregada por la alcaldía a las parroquias de Cuenca.



Fuente: (Cuenca al día, 2025)

Figura 7 Vista frontal y lateral de la volqueta Sinotruck T5G 330.



Fuente: (Vehicentro, s.f.)

1.7 Software en la planificación

1.7.1 Agisoft Metashape

Agisoft Metashape es un producto de software independiente que realiza el procesamiento fotogramétrico de imágenes digitales y genera datos espaciales 3D para ser utilizados en aplicaciones SIG, documentación del patrimonio cultural y producción de efectos visuales, así como para mediciones indirectas de objetos de diversas escalas. (Agisoft LLC, s.f.)

Figura 8 Logo de Agisoft.



Fuente: (MapaMedia,2025).

1.7.2 QGIS

QGIS es un Sistema de Información Geográfica profesional de fácil uso, gratis y de código abierto, que posibilita la creación, visualización, análisis, edición y publicación de información geoespacial. Al igual que los demás Sistemas de Información Geográfica existentes, QGIS permite la creación de mapas con numerosas capas que pueden ser ensambladas bajo diferentes formatos, dependiendo de la aplicación. (QGIS Development Team, s.f.)

Figura 9 Logo QGIS.



Fuente: (QGIS,2025).

1.7.3 AutoCad

AutoCAD es un software de diseño asistido por computadora (CAD) que se utiliza para dibujar, diseñar y modelar en 2D y 3D de forma precisa con sólidos, superficies, objetos de malla, características de documentación, etc. Incluye características para automatizar tareas y aumentar la productividad, como la comparación de dibujos, el recuento, la adición de objetos y la creación de tablas. (Autodesk, 2025)

Figura 10 Logo AutoCAD.



Fuente: (Autodesk,2025).

1.7.4 CivilCad

Utiliza los materiales y la información de sección o perfil para crear tanto informes de volúmenes, comparando las superficies de diseño y existentes, como de estimación de cantidades. (Autodesk, 2025)

Figura 11 Logo Civil 3D.



Fuente: (Autodesk,2025).

1.7.5 Excel

Excel es una herramienta eficaz para el análisis de datos. Puede usar Excel para realizar un seguimiento de los datos, crear modelos para analizarlos, escribir fórmulas para realizar cálculos con esos datos, generar gráficos y mucho más. (Microsoft, s.f., párr. 1).

Figura 12 Logo Excel.



Fuente: (Microsoft Office Excel, 2019).

1.8 Normativas de mantenimiento vial en el Ecuador

1.8.1 Nacionales

Cualquiera de las normativas locales, deben armonizarse con las nacionales, por ejemplo: un GAD puede detallar procedimientos, crear tasas o distribuir responsabilidades internas

mediante ordenanzas, pero las especificaciones técnicas de los trabajos como son (materiales, diseños, espesores y estándares de calidad) usualmente se basan en las normas MTOP (MOP-001-F, NEVI-12) para asegurar uniformidad y calidad a nivel de todo el país. Ahora muchas ordenanzas o pliegos municipales de contratación citan explícitamente a la MOP-001-F-2002 como referencia para las especificaciones técnicas de bacheo, recapeo, construcción de bases y subbases, conformación de veredas, etc. De manera que los criterios técnicos estandarizados lleguen a lo todo el país.

Ahora, las normativas de mantenimiento vial en el Ecuador varían según su provincia, cantón y parroquia, ya que los GAD tienen la potestad de imponer sus propias normativas sobre la utilización de suelos, sin embargo, existen normativas bases en las cuales la mayoría de explotaciones mineras se basan, en este caso el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Cuenca mediante su normativa llamada “ORDENANZA MINERA MATERIALES ÁRIDOS Y PÉTREOS EN EL CANTÓN CUENCA” maneja sus propias pautas para la explotación, manejo y uso de áridos y pétreos, la cual se encuentra en el portal web.

CAPITULO 2

CARACTERISTICAS PRINCIPALES Y TRABAJOS TECNICOS

2.1 Datos generales

El área prospectada denominada “PACCHA 1” se encuentra localizada en la parroquia Paccha, cantón Cuenca, provincia del Azuay. Las coordenadas geográficas del sitio, en el sistema geodésico WGS84 zona 17 Sur. Corresponden a X: 732753, Y: 9679133.

Desde el punto de vista ambiental y social, el área presenta un grado de intervención alto, ausencia de cuerpos de agua a menos de 250 metros y no se encuentra dentro de zonas de conservación oficial, además, no se identificaron viviendas afectadas en el sitio de extracción, aunque se registraron 3 viviendas dentro del área de influencia directa, por lo cual se recomienda considerar su presencia en el diseño de explotación.

Tabla 1 Datos Generales.

Datos Generales	
Provincia	Azuay
Cantón	Cuenca
Parroquia	Paccha
Sector	Paccha
Área a intervenir	160000 m ²
Material Tipo	Lastre

Fuente: Elaboración Propia.

2.2 Ubicación geográfica

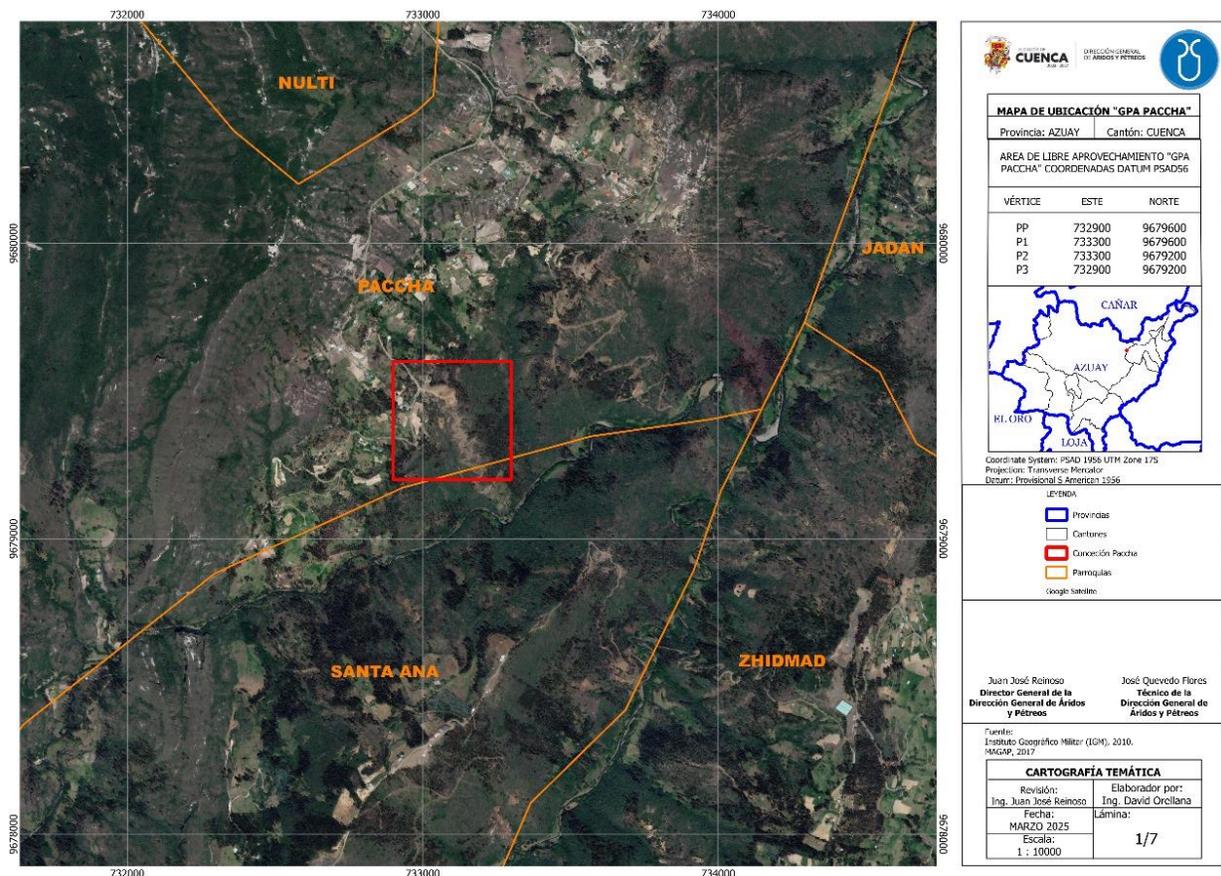
Después de una revisión técnica detallada, consideramos remplazar el polígono de concesión inicial por uno de mayor extensión superficial, esta decisión se tomó en base a dos factores fundamentales: las condiciones geológicas del terreno y la necesidad de establecer una franja de retiro obligatoria respecto a las quebradas que atraviesan o colindan con el sitio de intervención.

Desde el punto de vista geotécnico, se evidenció que las características litológicas del nuevo sector propuesto presentan una continuidad favorable del macizo rocoso, lo cual permite

proveer una mayor estabilidad en las labores de explotación. A su vez, esta zona ofrece una topografía más uniforme, facilitando la planificación de accesos operativos, así como el emplazamiento de bermas de seguridad, plataformas de trabajo y zonas de acopio.

Profundizando con el cumplimiento de la normativa ambiental vigente, este exige establecer distancias de protección respecto a cuerpos hídricos naturales, lo que limita parcialmente el aprovechamiento efectivo del terreno dentro del polígono inicial. En ese sentido, la ampliación del perímetro concesionado permite no solo compensar el área restringida por las zonas de retiro, sino también optimizar el desarrollo de las actividades extractivas sin comprometer la integridad ambiental del ecosistema de la zona.

Figura 13 Mapa de Ubicación "Paccha 1"



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2 Coordenadas de Ubicación.

Ubicación según sus coordenadas.				
Puntos	WGS 84 Zona 17		PSAD 56 Zona 17	
	X	Y	X	Y
PP	732641	9679227	732900	9679600
P1	733041	9679227	733300	9679600
P2	733041	9678827	733300	9679200
P3	732641	9678827	732900	9679200

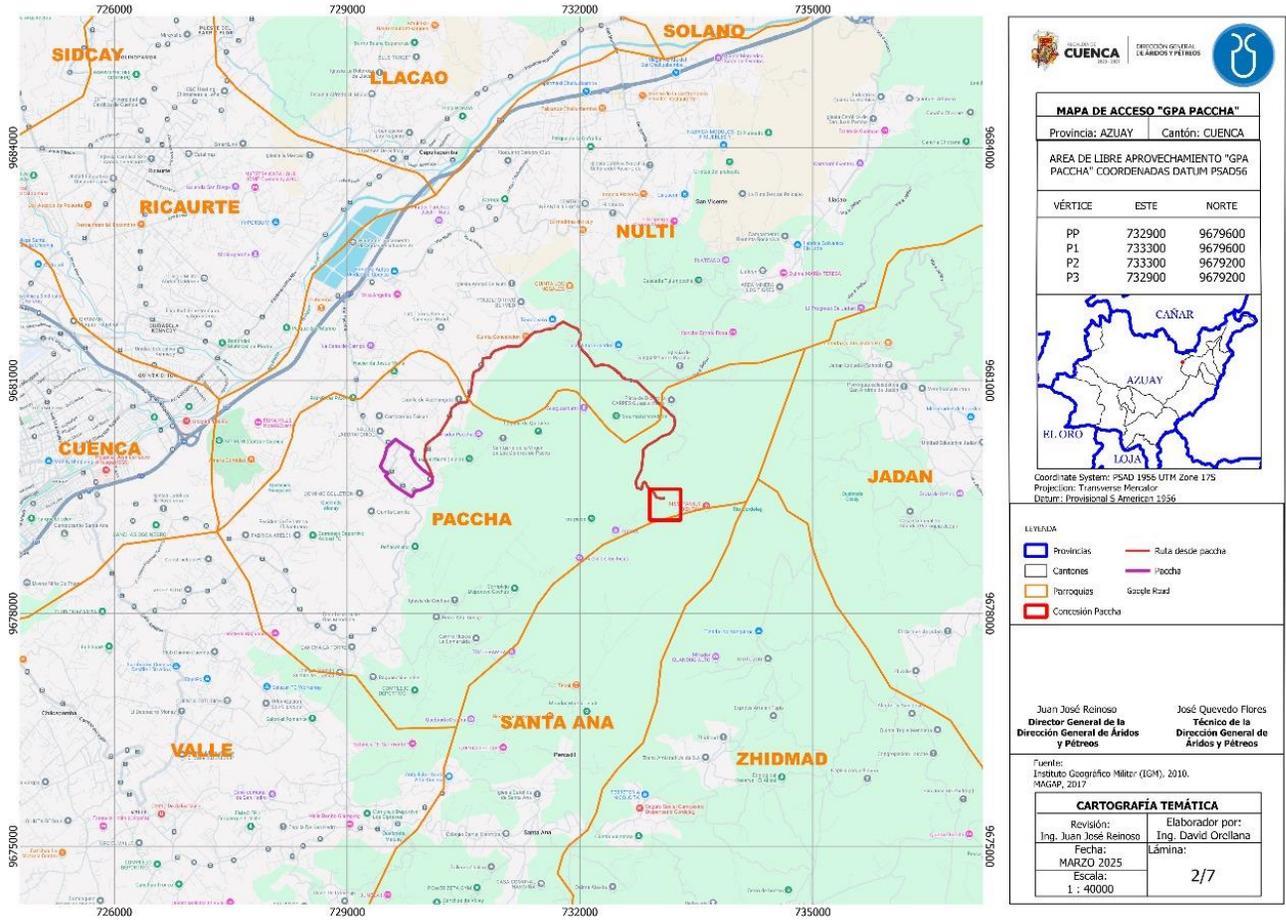
Fuente: Elaboración Propia

2.3 Vías de acceso.

En el sector “PACCHA 1” existe una vía lastrada preexistente, ubicada al noreste del área de intervención, la cual será empleada como acceso principal. Esta vía presenta un ancho operativo aproximado de 4,50 m, pendiente longitudinal media inferior al 12 % y conexión directa con el eje de explotación, siendo adecuada para el tránsito de maquinaria pesada y liviana.

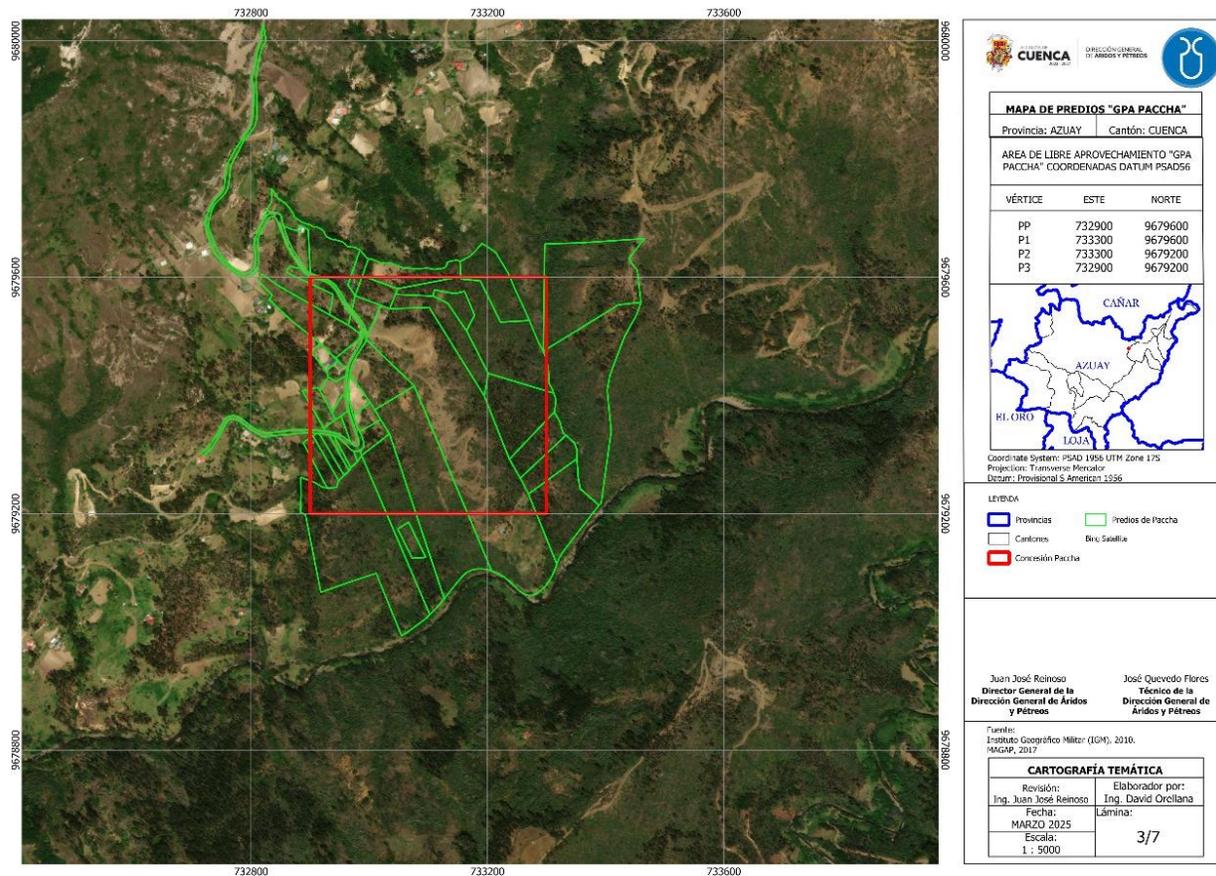
Durante las etapas de explotación se prevé el mantenimiento periódico de esta vía mediante perfilado y aplicación de material granular, así como la habilitación progresiva de accesos internos hacia los bancos activos. Estas vías internas deberán cumplir con pendientes menores al 10 % y radios mínimos de curvatura compatibles con las dimensiones de la maquinaria utilizada.

Figura 14 Mapa de acceso.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 15 Mapa de predios.



Fuente: Elaboración Propia.

2.4 Geología regional y local

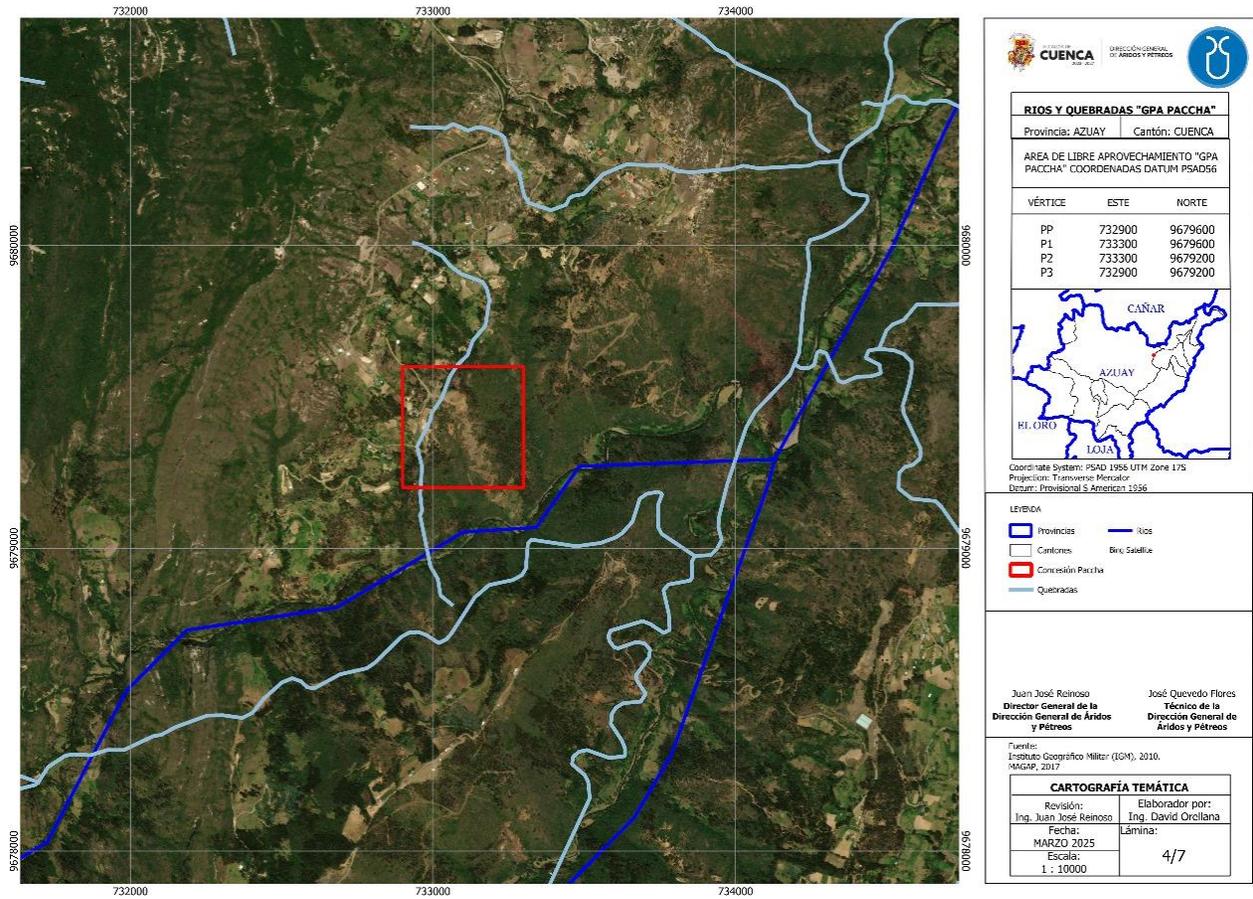
En el presente informe técnico – académico identificamos dos depósitos, Yunguilla y Tarqui, por ende, describiremos sus características litológicas, así como también, los procesos geológicos asociados a su formación, utilizando la terminología geológica adecuada y sus mapas que se presentan a continuación.

En la región sur, cantón Cuenca, correspondiente a las parroquias de Tarqui y Yunguilla, se encuentra emplazada dentro del dominio geológico de la Cordillera Occidental, caracterizado por la presencia predominante de rocas volcánicas, volcanoclásticas y sedimentos continentales del Terciario y Cuaternario. El área presenta una configuración geológica compleja que responde

a procesos tectónicos compresivos y extensivos sucesivos, generadores de fracturamientos y desplazamientos que condicionan tanto la litología como la geomorfología del territorio.

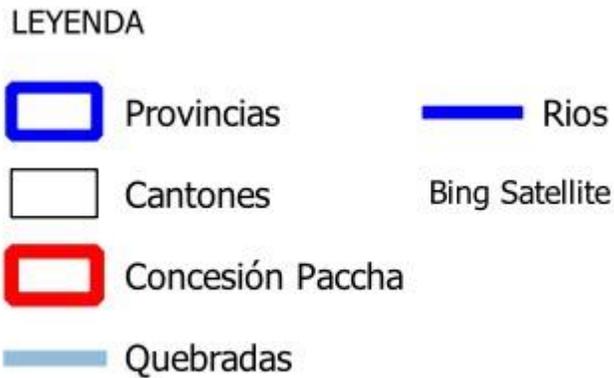
En particular, el área de estudio localizada dentro del polígono “GPA PACCHA” se encuentra influenciada por formaciones geológicas del grupo Tarqui, compuesto principalmente por tufos, lavas andesíticas y aglomerados volcánicos, así como depósitos coluviales recientes asociados a remoción en masa. Estas unidades han sido cartografiadas en base a la información del Instituto Geográfico Militar (IGM, 2010) y MAGAP (2017), lo que permitió elaborar un mapa geológico interpretativo de escala 1:25000. En dicho mapa se evidencian las diferentes formaciones litológicas y su distribución espacial, determinante para el análisis de estabilidad, permeabilidad y aptitud para actividades extractivas.

Figura 16 Mapa de ríos y quebradas.



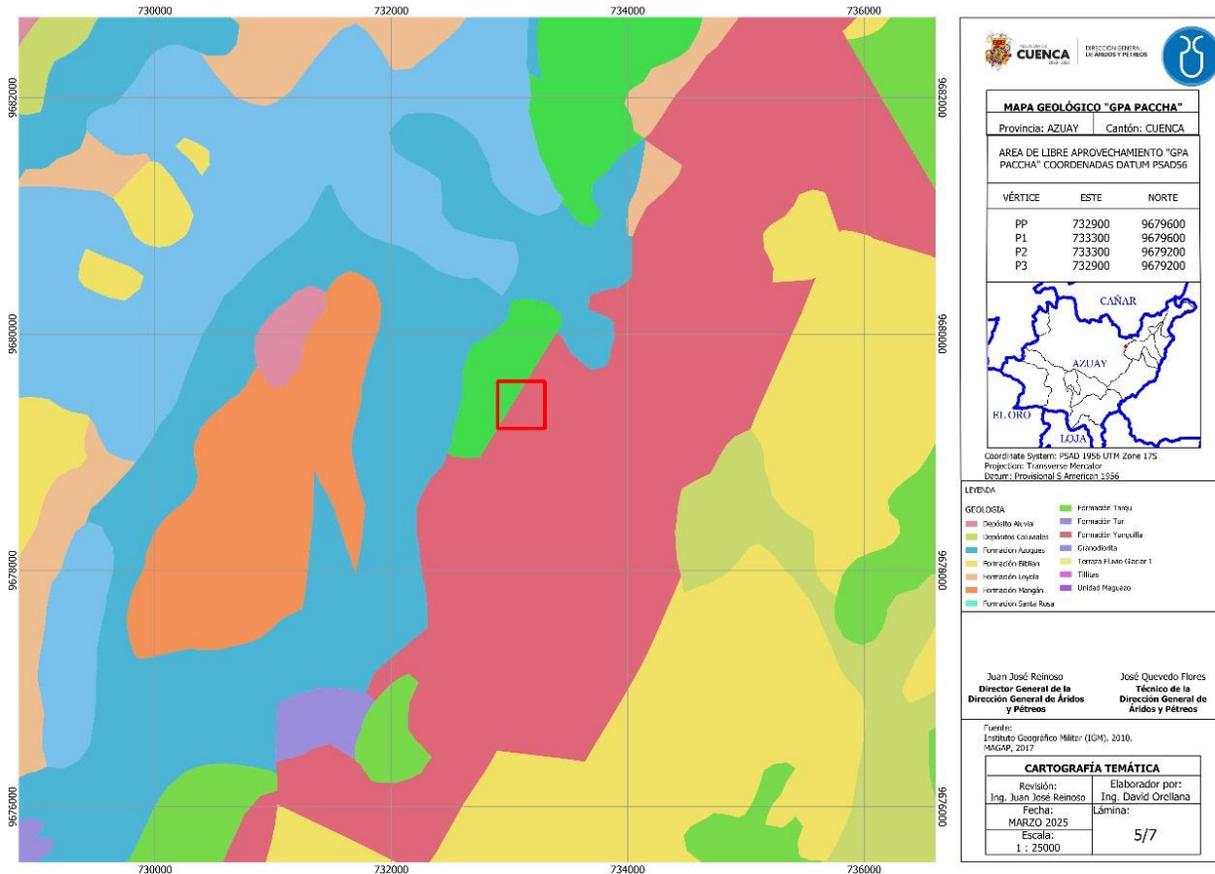
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 17 Leyenda del mapa de ríos y quebradas.



Fuente: Elaboración Propia.

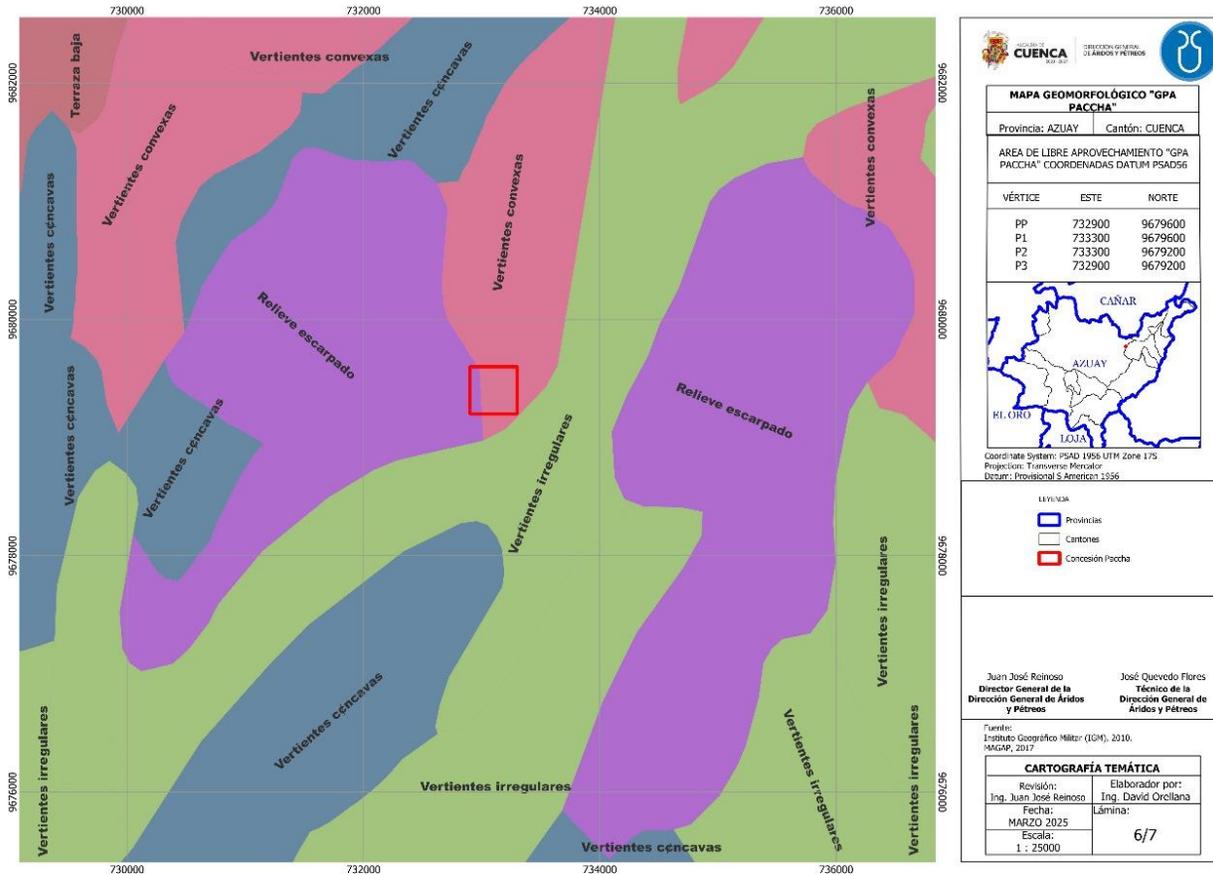
Figura 18 Mapa Geológico.



Fuente: Elaboración Propia

Desde el punto de vista estructural, el sector presenta un relieve de moderada a alta pendiente, con vertientes escarpadas, convexas e irregulares que definen el sistema geomorfológico local. Estas características condicionan la conformación del paisaje y representan factores críticos para la planificación de actividades mineras. La evaluación morfodinámica, realizada mediante la interpretación de unidades geomorfológicas, indica que el área de intervención se encuentra dominada por un relieve escarpado de origen tectónico-erosivo, con presencia de vertientes irregulares hacia los flancos del polígono.

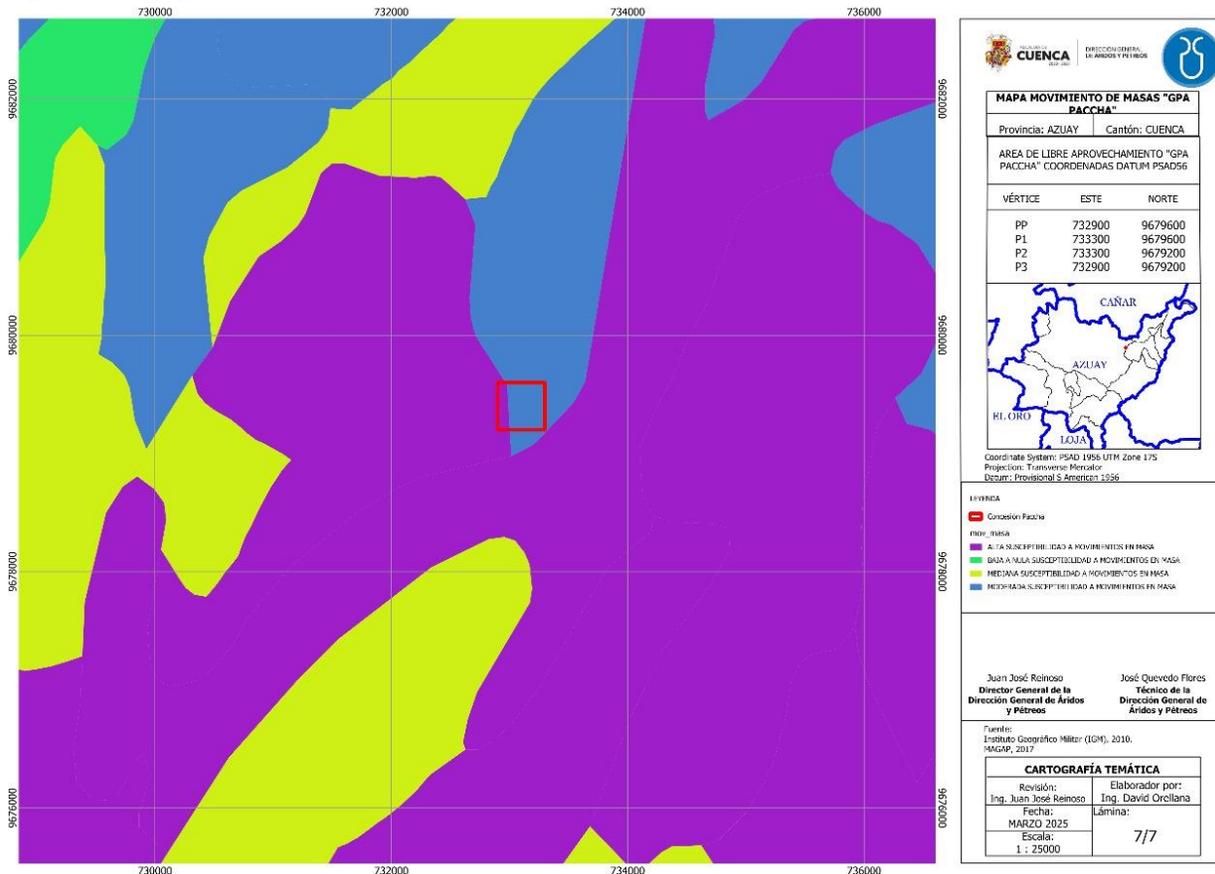
Figura 19 Mapa Geomorfológico.



Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, en lo referente al comportamiento geodinámico, el análisis del mapa de susceptibilidad a movimientos en masa permitió identificar que el polígono delimitado se encuentra en una zona de susceptibilidad media, con sectores colindantes que presentan susceptibilidad alta y baja, respectivamente. Este dato reviste especial relevancia en la etapa de diseño de explotación, ya que incide en la definición de taludes, accesos, y medidas de estabilización.

Figura 20 Mapa de Movimiento de Masas.



Fuente: Elaboración Propia

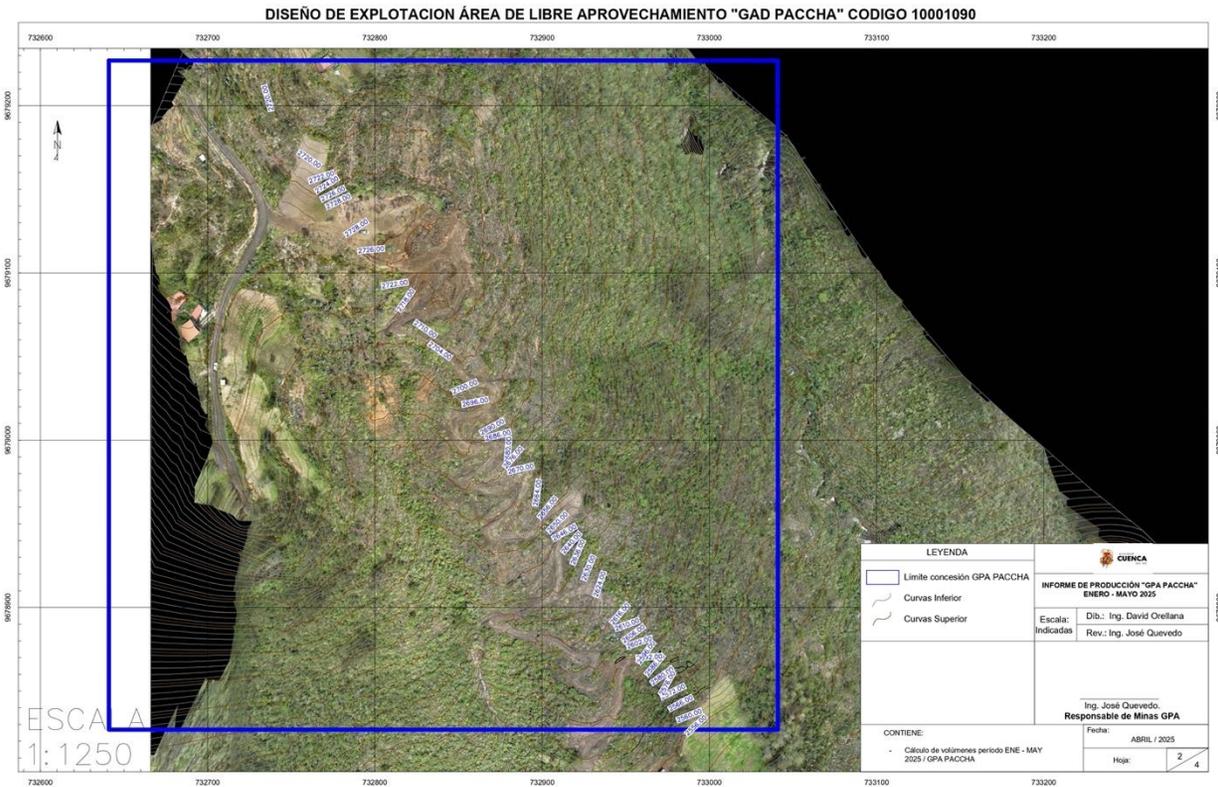
Dicho lo anterior, la geología local sugiere un entorno litológicamente favorable para la extracción de materiales de áridos y pétreos, sin embargo, será indispensable complementar esta información con estudios específicos de mecánica de suelos y análisis estructural detallado con el fin de garantizar la estabilidad y viabilidad técnica del proyecto de libre aprovechamiento.

2.5 Levantamiento topográfico y cartográfico

Para la delimitación precisa del área de libre aprovechamiento denominada “PACCHA 1”, así también para el análisis morfológico y planificación de las futuras actividades extractivas, se realizó un levantamiento topográfico de alta resolución mediante técnicas de fotogrametría aérea gracias a la utilización de un dron, generando una ortofoto georreferenciada que permite una interpretación detallada de las condiciones actuales del terreno.

El levantamiento fue ejecutado a través de vuelos controlados con el vehículo aéreo no tripulados (UAV), bajo condiciones climáticas adecuadas que garantizaron una correcta captura de imágenes. Posteriormente, se procedió a la restitución fotogramétrica mediante software especializado, lo cual permitió la generación de productos cartográficos fundamentales, tales como el modelo digital de superficie (MDS), curvas de nivel equidistantes y mapas de pendiente, indispensables para el diseño de explotación y modelado tridimensional del terreno.

Figura 21 Ortofoto.



Fuente: Elaboración Propia.

En este levantamiento se identificaron las principales características geomorfológicas del sector, tales como la disposición natural del drenaje superficial (quebradas), la ubicación de vías de acceso existentes y los cambios de pendiente más representativos. Estas condiciones son

relevantes para la zonificación operativa, determinación de plataformas de trabajo y definición de accesos técnicos.

El área delimitada cuenta con una vía de ingreso de tipo lastrada, visible en la ortofoto, que facilita el acceso hacia el centro del polígono y será aprovechada para las etapas iniciales de explotación. La cobertura vegetal presente permite inferir niveles de intervención previos, así como identificar sectores susceptibles de uso para instalaciones auxiliares como zonas de acopio y talleres móviles.

El levantamiento cartográfico se desarrolló en el sistema de referencia PSAD 56, zona 17S, con proyección Transversa de Mercator y precisión horizontal adecuada para trabajos de planificación minera a cielo abierto. La información generada ha sido incorporada a los mapas temáticos que complementan la caracterización integral del área, incluyendo los mapas geológicos, geomorfológico y de susceptibilidad a movimientos en masa, analizados en el capítulo anterior.

2.6 Curvas de nivel

Las curvas de nivel constituyen un elemento cartográfico fundamental dentro de los estudios topográficos aplicados a la minería a cielo abierto, ya que permiten representar de manera gráfica y precisa las variaciones altimétricas del terreno. Estas líneas isohipsas, que conectan puntos de igual cota, facilitan la interpretación del relieve, posibilitando el análisis morfológico del área de estudio y el diseño geométrico de bancos, taludes, plataformas y vías de acarreo.

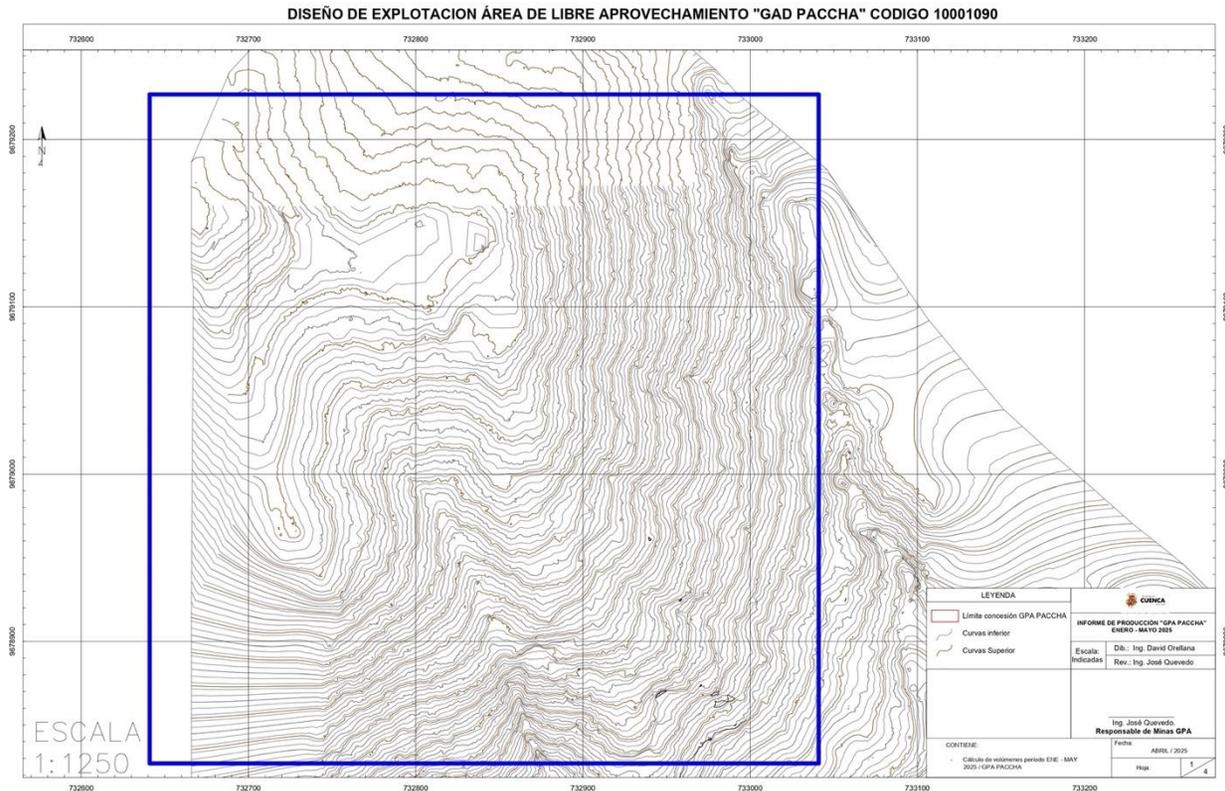
En el presente proyecto, las curvas de nivel fueron generadas a partir de un modelo digital de terreno (MDT), obtenido mediante técnicas de fotogrametría aérea con dron y posterior procesamiento con software especializado. La equidistancia definida para la elaboración de estas

curvas fue de 1 metro, criterio que permite un equilibrio entre nivel de detalle y legibilidad, siendo apropiado para trabajos de planificación minera en áreas con topografía irregular.

El sistema de referencia utilizado fue WGS 84, zona 17S, con proyección UTM, garantizando una georreferenciación precisa y compatible con los demás productos cartográficos del proyecto. La validación de las curvas se realizó mediante el cruce con puntos de control tomados en campo con tecnología GNSS diferencial (RTK), asegurando la confiabilidad de los datos representados.

La disposición y forma de las curvas de nivel permitió identificar áreas con pendientes pronunciadas, zonas susceptibles a procesos de erosión y sectores potenciales para la implementación de estructuras auxiliares como bermas.

Figura 22 Curvas de Nivel.



Fuente: Elaboración Propia.

2.7 Profundidad del frente la cantera

La determinación de la profundidad del frente de la cantera constituye un parámetro fundamental en la planificación técnica de la explotación a cielo abierto, ya que incide directamente en la estabilidad de los taludes, el volumen aprovechable de material, el diseño de bancos y bermas, así como en la operatividad de la maquinaria pesada.

Esta variable se refiere a la diferencia altimétrica existente entre el nivel más alto (cota superior) y el nivel más bajo (cota inferior) dentro del área de intervención, siendo estos valores definidos en función de las condiciones topográficas y geotécnicas del terreno. La estimación de la profundidad de la cantera se realiza aplicando la fórmula correspondiente, considerando una cota máxima de 2720 m s. n. m. y una cota mínima de 2556 m s. n. m.

$$Pc = Cota superior - Cota Inferior$$

$$Pc = 2725 - 2570$$

$$Pc = 155 m$$

Además, con base en la información generada a partir del modelo digital de superficie (MDS) y del análisis topográfico realizado mediante fotogrametría aérea, se estimó una diferencia altimétrica promedio de 156 metros entre la cota superior y la cota base del área de explotación proyectada dentro del polígono “PACCHA 1”. Esta diferencia constituye la profundidad técnica del frente de la cantera, valor que fue validado a través de observación directa durante la inspección de campo y mediante el análisis morfométrico del relieve.

La profundidad mencionada es coherente con las características litológicas del terreno, conformado por depósitos coluviales y materiales volcánicos no consolidados de granulometría mixta (grava-arena), tal como se indica en el análisis de laboratorio. En este contexto, se prevé que la explotación se desarrolle mediante cortes progresivos, aplicando un esquema descendente en bancos de altura controlada no mayor a 9 metros, de acuerdo con lo estipulado en la normativa nacional de seguridad minera y las buenas prácticas de diseño de canteras.

Cabe mencionar que el diseño del frente deberá considerar un ángulo de talud global no mayor a 30°, ajustable en función de los estudios geotécnicos específicos que se realicen previo al inicio de las actividades extractivas. Esta inclinación busca garantizar la estabilidad global del sistema de explotación y minimizar riesgos asociados a deslizamientos o desprendimientos de material suelto.

En función de la profundidad determinada y la extensión superficial del área (aproximadamente 16 hectáreas según delimitación poligonal), se estima una reserva explotable

significativa para el uso de mantenimiento vial bajo la categoría de material tipo lastre, cuya extracción será optimizada mediante el uso de maquinaria liviana y movilidad eficiente a través de plataformas de trabajo previamente definidas.

2.8 Propiedades físicas y mecánicas del material

Con el fin de garantizar la calidad del material y poder brindar un diseño de explotación seguro basándonos en aspectos técnicos, a través de la dirección general de aridos y pétreos, nos dirigimos a la zona de interés “PACCHA 1” para la toma de muestras en tres diferentes puntos distribuidos en diferentes bancos, para la realización de análisis de laboratorio de la universidad del Azuay, la inspección y recolección de muestras se realizó el día 13 de noviembre del 2024 con los técnicos de la dirección de áridos y pétreos.

Con la finalidad de caracterizar técnicamente el material existente en el área de libre aprovechamiento “PACCHA 1” y determinar su aptitud para usos en obras viales y actividades de explotación, se llevaron a cabo ensayos de laboratorio orientados a establecer sus propiedades físicas y mecánicas. Estos ensayos fueron realizados en el Laboratorio de Materiales y Mecánica de Suelos de la facultad de Ingeniería Civil, con apoyo del técnico de laboratorio, Ing. William Lituma.

2.8.1 Clasificación del material

De acuerdo con los resultados de la granulometría por tamizado, el material corresponde a una grava bien graduada con arena, con un contenido de finos del 3 %. Este comportamiento textural permite su clasificación bajo el sistema unificado de suelos (SUCS) como GW, es decir, grava bien graduada con excelente estabilidad y drenaje. Según el sistema AASHTO, se clasifica dentro del grupo A-2-6, lo que indica un material granular con bajo contenido de finos plásticos y características apropiadas para ser utilizado como subrasante o material de fundación

(AASHTO M 145, 2017). La distribución granulométrica se ajusta a los parámetros de calidad, con coeficientes $C_u = 54,11$ y $C_c = 1,86$, valores que reflejan una buena gradación, tal como lo establece la normativa ASTM D2487.

2.8.2 Propiedades de compactación (Proctor)

Mediante el ensayo Proctor modificado conforme a la norma ASTM D1557, se obtuvo una densidad seca máxima (γ_d máximo) de 1.909 kg/m^3 y un contenido de humedad óptimo del $14,09 \%$. Estos parámetros son esenciales para definir las condiciones ideales de compactación durante la construcción de caminos internos, plataformas de trabajo y estructuras de soporte. La curva de compactación obtenida evidencia una respuesta favorable del material ante el esfuerzo mecánico aplicado, permitiendo alcanzar niveles adecuados de resistencia y disminución de asentamientos diferenciales. Tal como se indica en la literatura técnica, "una adecuada relación entre humedad y densidad es clave para garantizar el comportamiento mecánico del suelo bajo condiciones de carga" (Das, 2013, p. 161).

2.8.3 Capacidad de soporte (Ensayo CBR)

El Índice de Soporte California (CBR), evaluado bajo la norma ASTM D1883, es uno de los indicadores más utilizados para estimar la capacidad portante de un suelo. En este caso, el material ensayado presentó un CBR del $33,41 \%$ al 100% de compactación y un CBR del $10,16 \%$ al 95% de la densidad máxima, lo cual lo ubica dentro del rango aceptable para su uso en capas de subrasante o base granular en obras de tránsito liviano y medio. De acuerdo con Terzaghi et al. (1996), valores de CBR mayores al 10% permiten considerar al suelo como competente para soportar cargas estructurales en vías de bajo tránsito, especialmente si se mantiene la compactación y el contenido de humedad dentro de los parámetros óptimos.

Asimismo, el comportamiento del material durante la inmersión mostró un esponjamiento mínimo ($< 0,06\%$), lo cual respalda su estabilidad volumétrica frente a condiciones de saturación prolongada, aspecto fundamental en zonas expuestas a escurrimientos o lluvias intensas.

2.8.4 Propiedades adicionales

- Color y aspecto: Café, textura gruesa, con predominancia de grava angular, favorable para las intertrabas.
- Contenido de humedad natural: 12,97 %, dentro del rango adecuado para trabajos de campo.
- Plasticidad: El índice de plasticidad ($IP = 15,18\%$) evidencia una plasticidad media, aunque controlada por la baja proporción de materiales finos (3 %), sin presencia de comportamiento expansivo significativo. Según Coduto (2001), "los materiales con bajo IP y alta fracción gruesa tienden a mostrar estabilidad bajo cargas repetidas" (p. 214).

Tabla 3 Propiedades físicas y mecánicas del material, Sector "PACCHA 1".

Propiedades físicas y mecánicas del material.		
PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD
PESO ESPECÍFICO	1909	Kg/m ³
LÍMITE LÍQUIDO	36,39	%
LÍMITE PLÁSTICO	21,21	%
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	15,18	%
CBR	33,44	100%
CBR	10,16	95%

Fuente: Elaboración Propia.

En función de los resultados obtenidos, se concluye que el material presente en el área “PACCHA 1” posee características físico-mecánicas adecuadas para su empleo como material de mantenimiento en obras de infraestructura vial, así como en la conformación de veredas. Su comportamiento bajo carga, estabilidad en condiciones de humedad y excelente respuesta a la compactación lo convierten en un insumo técnicamente apto para las fases operativas del proyecto.

2.9 Análisis de costos operativos

El análisis de costos operativos constituye un componente fundamental dentro de la planificación técnica y económica de un proyecto de explotación minera a cielo abierto, ya que permite establecer la viabilidad del mismo y tomar decisiones estratégicas sobre la asignación de recursos, selección de maquinaria, duración de fases y volumen de extracción por unidad de tiempo. Para el presente estudio, se ha proyectado un esquema de costos orientado a las actividades principales vinculadas al desarrollo de la cantera “PACCHA 1”, bajo el enfoque de explotación por libre aprovechamiento.

Los costos han sido agrupados en tres categorías operativas principales: costos directos, costos indirectos y costos asociados al mantenimiento y transporte. La estimación de valores unitarios se realizó considerando precios de mercado vigentes en la provincia del Azuay para el primer trimestre del año 2025, referencias del Servicio Nacional de Contratación Pública (SERCOP, 2024) y datos de experiencias previas en explotaciones de escala similar (Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2021).

2.9.1 Costos directos

Se incluyen aquellos vinculados de forma inmediata con la ejecución de las labores de extracción, como son:

- Remoción de estéril y desbroce inicial.
- Excavación, carga y acarreo de material útil.
- Operación de maquinaria pesada (excavadoras, cargadores frontales, volquetas).
- Personal operativo (conductores, operadores, ayudantes).

Tabla 4 Detalle de costos directos unitarios.

Rubro	Unidad	Costo unitario (USD)
Excavadora 20–25 t	h	72,00
Volqueta 6 m³ (acarreo 1,5 km)	h	55,00
Cargador frontal 2–3 m³	h	68,00
Personal operativo (diario)	j	38,00
Desbroce manual por jornada	j	30,00
Combustible (promedio/operación)	m ³	1,20/litro

Fuente: Elaboración propia con base en costos referenciales SERCOP 2024.

El costo directo estimado por metro cúbico de material extraído se sitúa en un rango de USD 3,50 a 4,20 por /m³, dependiendo del tipo de equipo utilizado recomendado, la distancia media de acarreo y la densidad del material. Según el Ministerio de Energía y Recursos

Naturales No Renovables (2021), “La operación eficiente de una cantera requiere una evaluación precisa de los costos de excavación, carga y acarreo, considerando tiempos de ciclo y productividad de equipos”.

2.9.2 Costos indirectos

Corresponden a los gastos de apoyo a la operación, que, si bien no están vinculados directamente a la extracción, resultan imprescindibles para su ejecución:

- Supervisión técnica y personal administrativo.
- Costos de legalización, licenciamiento ambiental y permisos de libre aprovechamiento.
- Combustible, lubricantes, herramientas menores, implementos de seguridad industrial.

Tabla 5 Detalle de costos indirectos estimados.

Rubro	Unidad	Costo unitario (USD)
Coordinador de proyecto (mensual)	mes	1.200,00
Técnico de campo	mes	900,00
Seguridad industrial (kits, señalética)	lote	250,00
Licencia ambiental y permisos	total	3.000,00
Herramientas menores (anual)	lote	800,00

Fuente: Elaboración propia.

Para el caso analizado, se estimó un valor de USD 1,10 a 1,50 por m³ como componente de costo indirecto, considerando una operación de mediana escala. Tal como señala Serafini (2017), “Los costos indirectos representan entre el 15 % y el 30 % del total operativo en proyectos extractivos de mediana envergadura”, siendo estos imprescindibles para garantizar la continuidad del ciclo productivo.

2.9.3 *Mantenimiento y transporte*

Este rubro contempla los siguientes parámetros:

- Mantenimiento preventivo y correctivo de maquinaria.
- Reposición de piezas y neumáticos.
- Consumo de combustible por ciclo de acarreo (según distancia estimada de 1 a 1,5 km).

Tabla 6 Costos de mantenimiento y transporte.

Rubro	Unidad	Costo unitario (USD)
Mantenimiento preventivo mensual	equipo	850,00
Reposición de neumáticos	unidad	420,00
Consumo promedio de combustible	litro	1,20
Lubricantes y filtros	equipo	110,00
Flete interno (volqueta)	m ³ /km	0,45

Fuente: Elaboración propia.

El costo asociado a este grupo se ha calculado en USD 0,90 a 1,20/m³, resultando en una estimación conservadora para condiciones estándar de trabajo. De acuerdo con García y Moreno (2015), "el mantenimiento preventivo adecuado contribuye a la reducción de paradas no programadas, optimizando el costo por tonelada extraída y prolongando la vida útil del equipo pesado" (p. 98).

Tabla 7 Estimación de costos operativos por metro cúbico.

Categoría	Rango estimado (USD/m³)
Costos directos	3,50 – 4,20
Costos indirectos	1,10 – 1,50
Mantenimiento y transporte	0,90 – 1,20
Total, estimado	5,50 – 6,90

Fuente: Elaboración propia.

En función de estos resultados, se establece un costo operativo total estimado entre USD 5,50 y 6,90 por metro cúbico de material extraído, lo cual constituye una base referencial para los análisis de rentabilidad, planificación de producción y toma de decisiones a nivel administrativo y técnico.

Este análisis puede ser ajustado posteriormente conforme se disponga de información real de costos durante la fase inicial de explotación o mediante procesos de licitación y contratación de servicios externos.

2.10 Seguridad en las operaciones de explotación

La seguridad en las operaciones mineras es un punto crítico que se debe sobrellevar de la manera más controlada posible, entre los principales riesgos en operaciones mineras están: riegos

físicos, químicos, mecánicos, ergonómicos y ambientales. El uso de señalética y EPP en conjunto con capacitaciones es fundamental para prevenir y evitar cualquier percance que pueda afectar con la integridad física de los obreros, por lo que se recomienda:

2.10.1 Capacitaciones periódicas y seguridad

Es fundamental instruir al personal sobre el adecuado y seguro uso de maquinaria y equipo de protección personal (EPP), además en el artículo 369 de la Constitución de la Republica del Ecuador establece que la afiliación al Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS) es obligatoria para cualquier persona que realice una actividad económica lícita.

Figura 23 Equipos de Protección Personal.



Fuente: (Aceros Arequipa, s.f.)

2.11 Control de polvo

El control de la emisión de partículas en suspensión en las áreas de carguío, transporte y explotación de material es un factor crítico en la gestión de la seguridad ocupacional. Para mitigar la exposición a dichas partículas, se implementará un sistema de aspersión de agua en puntos estratégicos, así como el riego de camiones, con el objetivo de minimizar la dispersión de polvo en el aire. Adicionalmente, se empleará un sistema de captación de polvo en las zonas de explotación, con el fin de evitar la dispersión de partículas finas fuera de los límites controlados del área de trabajo, reduciendo así el riesgo de inhalación de material particulado por parte de los trabajadores.

2.12 Señalización y delimitación de áreas peligrosas

La correcta señalización y delimitación de las áreas de trabajo constituye un pilar esencial para la seguridad en las operaciones mineras. Se implementará señalización clara y reflectante en las zonas de riesgo, garantizando su visibilidad tanto en condiciones normales como en situaciones de baja visibilidad. Además, se procederá a la delimitación física de las áreas peligrosas mediante la instalación de cinta de peligro, lo que permitirá identificar de manera explícita las zonas de trabajo de alto riesgo, restringiendo el acceso no autorizado y reduciendo la posibilidad de accidentes.

2.12 Supervisiones periódicas y auditorías

Para asegurar el cumplimiento de las normativas de salud y seguridad ocupacional en el frente de trabajo, se llevarán a cabo supervisiones periódicas y auditorías internas. Estas evaluaciones tendrán como objetivo verificar la correcta implementación y funcionamiento de las medidas de seguridad, tanto en el área de explotación como en las zonas circundantes. Asimismo, se llevará a cabo un seguimiento continuo de las condiciones de trabajo, a fin de

garantizar que se mantengan los estándares establecidos para la protección de los trabajadores y el medio ambiente.

CAPITULO 3

DISEÑO DE EXPLOTACION

3.1 Selección del método de explotación

La selección del método de explotación es una de las decisiones clave en el diseño de una operación minera. Se deben evaluar diversas opciones, tales como la explotación por bancos, terrazas y tajo abierto, entre otras. La elección dependerá de las características geológicas del yacimiento, la ubicación de las reservas, y las condiciones operacionales. Para seleccionar el método más adecuado, es necesario realizar un análisis técnico que contemple los costos, la seguridad y la eficiencia operativa.

Entre los criterios más importantes para seleccionar el método son:

3.1.1 Estabilidad de taludes y bermas

Fundamental para prevenir deslizamientos y accidentes. Se deben aplicar criterios como los establecidos en la norma MOP-001-F-2002, que definen los ángulos de talud y las alturas de banco.

3.1.2 Condiciones geológicas

El análisis de la resistencia de la roca y el espacio disponible para las actividades de excavación influirán en la elección del método. En base al puntaje RMR (Índice de Clasificación de Rocas), se determinará la viabilidad de los métodos propuestos.

$$RQD = 115 - 3.3 \cdot Jv$$

$$RQD = 88.6$$

Tabla 8 Evaluación de estabilidad de parámetros de diseño.

Parámetro evaluado	Talud de explotación
ÁNGULO	63.43°
ALTURA DE BANCO	10 m
$\frac{c}{y \cdot H \cdot \tan \phi}$	0.023
$\frac{c}{y \cdot H \cdot F}$	0.025
$\frac{\tan \phi}{F}$	1.1
FACTOR DE SEGURIDAD	1.87

Fuente: Elaboración propia.

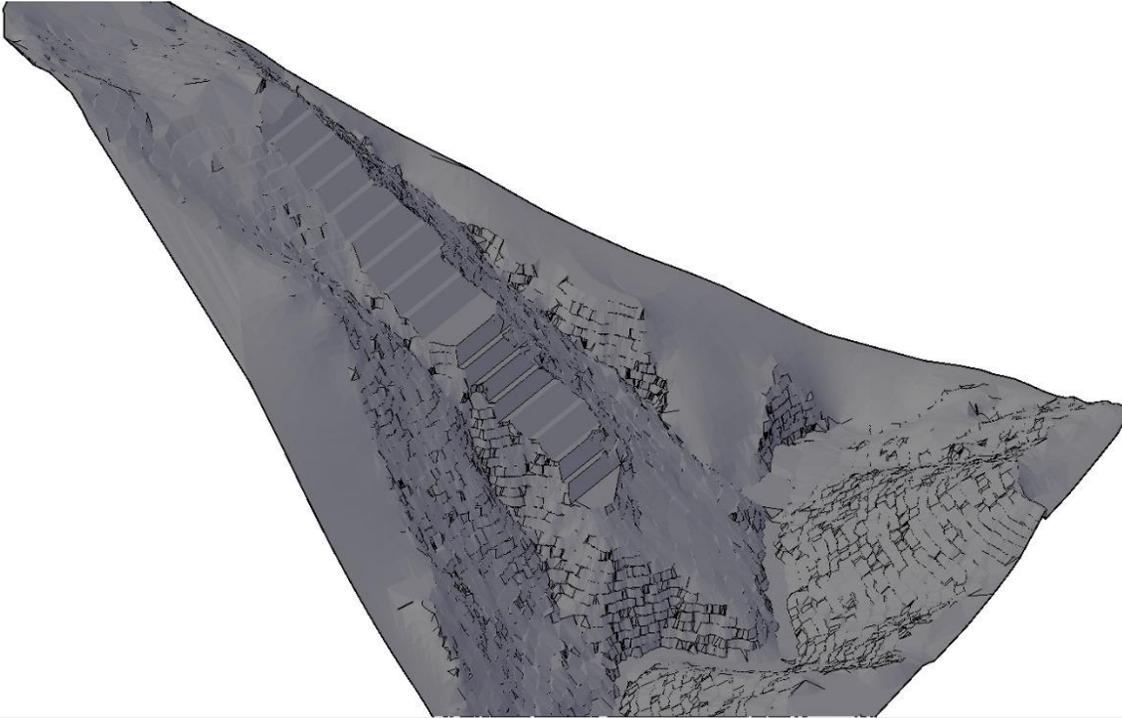
3.2 Diseño del plano de explotación

El diseño del plano de explotación debe abordar todos los aspectos espaciales y temporales de la operación. Este diseño se plasma en planos en planta y corte, donde se deben detallar los bancos, bermas, rampas y zonas de acopio. La correcta delineación de estos elementos es fundamental para asegurar el flujo adecuado de materiales y para evitar riesgos en la ejecución del proyecto.

Las zonas de acopio y maniobra están posicionadas estratégicamente en áreas de plataforma estabilizada, permitiendo un almacenamiento temporal del material extraído sin comprometer la estabilidad general del área intervenida.

La correcta delimitación y disposición de estos elementos en el plano busca asegurar una operación continua, técnica y eficiente, minimizando riesgos de colapso, fallamientos de taludes o interferencias logísticas. De igual forma, este diseño constituye la base sobre la cual se proyectan las fases de explotación, el avance del banco y el modelamiento del terreno, aspectos que deben estar en estricta concordancia con los lineamientos establecidos por la normativa ambiental y minera vigente.

Figura 24 Diseño de explotación.

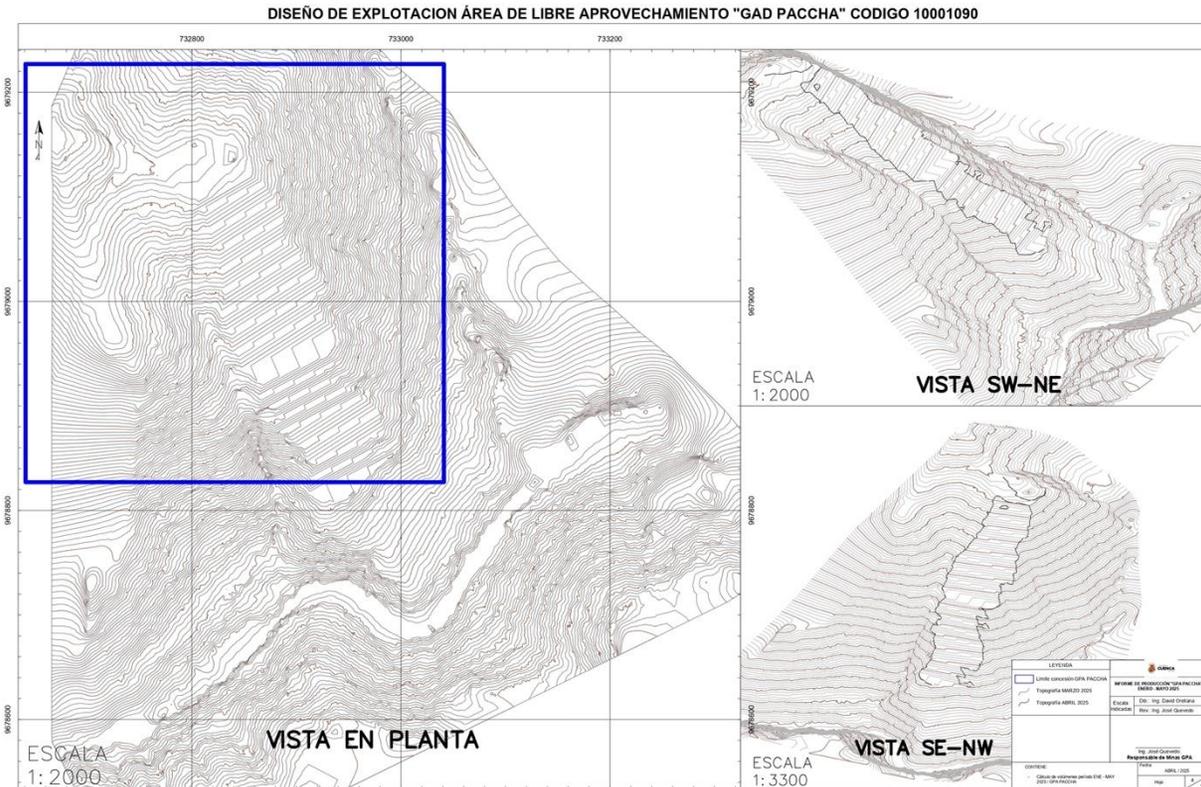


Fuente: Elaboración propia.

Además, es crucial delimitar las zonas de amortiguamiento y barreras vegetales, las cuales desempeñan un papel fundamental en la protección del entorno y en la seguridad del trabajo.

La representación se materializa en vistas en planta y en corte (SW–NE y SE–NW), elaboradas a escalas 1:2000 y 1:3300 respectivamente, en las cuales se delimitan con precisión los elementos geométricos que componen la morfología del yacimiento. Se destacan en el plano los bancos de explotación escalonados, diseñados con una altura constante conforme a los parámetros técnicos del banco (H_b), los cuales permiten una explotación eficiente y segura del material de interés. Las bermas horizontales, intercaladas entre bancos, cumplen una doble función: contener el desprendimiento de materiales y permitir operaciones auxiliares de tránsito y seguridad.

Figura 25 Vistas laterales del diseño de explotación.



Fuente: Elaboración propia.

3.3 Evaluación de la Calidad del Macizo Rocoso y Su Influencia en el Diseño

Como parte del proceso de selección del método de explotación y diseño de los taludes, se debe realizar un análisis detallado de la calidad del macizo rocoso. Este análisis se realiza mediante la clasificación del macizo rocoso utilizando el RMR (Índice de Clasificación de Rocas), que evalúa varios parámetros geotécnicos clave, como la resistencia de la roca intacta, la condición de las discontinuidades y la presencia de agua.

Tabla 9 Parámetros de clasificación.

A PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN		RANGO DE VALORES						
Resistencia de la roca intacta	Índice de Point Load Test	>10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Para rangos menores es preferible la prueba de la compresión uniaxial		
	Resistencia a la compresión uniaxial	>250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
Puntaje		15	12	7	4	2	1	0
RQD		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
Puntaje		20	17	13	8	3		
Condición de las discontinuidades	Espaciamiento de las discontinuidades	>2m	0,6-2m	200-600 mm	60 - 200 mm	<60 mm		
	Puntaje	20	15	10	8	5		
	Longitud de las discontinuidades (persistencia)	<1mm	1-3 m	3-10 m	10 - 20 m	>20 m		
	Puntaje	6	4	2	1	0		
	Separación (abertura)	Ninguna	<1.0mm	0.1-1.0 mm	1-5 mm	>5mm		
	Puntaje	6	5	4	1	0		
	Rugosidad	Muy Rugoso	Rugoso	Ligeramente rugoso	Ondulado	Suave		
	Puntaje	6	5	3	1	0		
	Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno suave < 5 mm	Relleno suave > 5 mm		
	Puntaje	6	4	2	2	0		
	Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Altamente alterada	Descompuesta		
	Puntaje	6	5	3	1	0		
Presencia de agua	Caudal por 10 m de túnel (l/m)	Ninguno	<10	10 - 25	25-125	>125		

	Presión de agua/ Tensión principal mayor	0	<0.1	0.1-2	0.2-0.5	>0.5
	Estado General	Completamente seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua Fluyendo
	Puntaje	15	10	7	4	0

Fuente: Elaboración propia.

En esta tabla, se detallan varios parámetros de clasificación utilizados para evaluar la calidad del macizo rocoso. Entre estos parámetros, se incluyen la resistencia de la roca intacta, el espaciado de las discontinuidades, la longitud de las discontinuidades y otros factores geotécnicos relevantes. Cada uno de estos factores se evalúa en rangos específicos, y se asigna un puntaje según las condiciones observadas en el campo.

Los puntajes obtenidos de estos parámetros permiten clasificar el macizo rocoso en diferentes categorías, lo que influye directamente en el diseño de los taludes, bermas y rampas, así como en la selección del método de explotación.

3.4 Puntaje de ajuste por orientación de discontinuidades.

Tabla 10 Puntaje de ajuste por orientación de discontinuidades.

Orientación de veta y profundidad		Muy favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables
PUNTAJE	Túneles y Minas	0	-2	-5	10	-12
	Cimentación	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	

PUNTAJE TOTAL CORREGIDO = 49

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11 Clasificación de la roca de acuerdo al puntaje ajustado.

CLASIFICACIÓN DE MACIZOS A PARTIR DE PUNTAJES TOTALES					
PUNTAJE	81 a 100	61 a 80	41 a 60	21 a 40	<21
CLASE	I	II	III	IV	V
CALIDAD	Muy buena	Buena	Discreta	Pobre	Muy Pobre

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12 Calidad del macizo rocoso de acuerdo a clasificación.

SIGNIFICADO DE CALIDADES					
Número de clase	I	II	III	IV	V
Tiempo/longitud sostenimiento	20 años para 15 metros	1 año para 10 metros	1 semana para 5 metros	10 hrs para 2,5 m	30 min para 1 m
Cohesión (KPa)	>400	300-400	200-300	100-200	<100
Ángulo de fricción	>45	35-45	25-35	15-25	<15

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la evaluación de los parámetros RMR del macizo rocoso, se obtiene una clasificación que indica que la roca pertenece a la Clase III, lo que corresponde a una roca discreta, con cohesión entre 200-300 KPa y un ángulo de fricción interna entre 25-35°. Esto requiere un diseño adecuado de los taludes para asegurar su estabilidad durante la explotación.

3.5 Cálculo de volúmenes y vida útil

Con el objetivo de cuantificar con precisión los volúmenes de material susceptibles de ser extraídos dentro del área denominada “PACCHA 1”, se procedió a la estimación volumétrica mediante el análisis de secciones transversales, utilizando herramientas de diseño y cálculo ampliamente aplicadas en ingeniería de minas y obras civiles.

El procedimiento se inició dentro del software CivilCAD, donde, a partir del modelo digital de terreno obtenido en el levantamiento topográfico, se generó el eje longitudinal del proyecto con cortes transversales a intervalos regulares de 4 metros. Dichas secciones permitieron delimitar las áreas de corte (material a excavar) y relleno (material adicional necesario para alcanzar la rasante proyectada), en función de las diferencias altimétricas entre el terreno natural y la geometría de explotación diseñada.

Las áreas obtenidas por cada estación fueron exportadas a una hoja de cálculo desarrollada en Microsoft Excel, donde se aplicó el método del promedio de áreas para determinar los volúmenes parciales entre estaciones consecutivas, utilizando la siguiente fórmula:

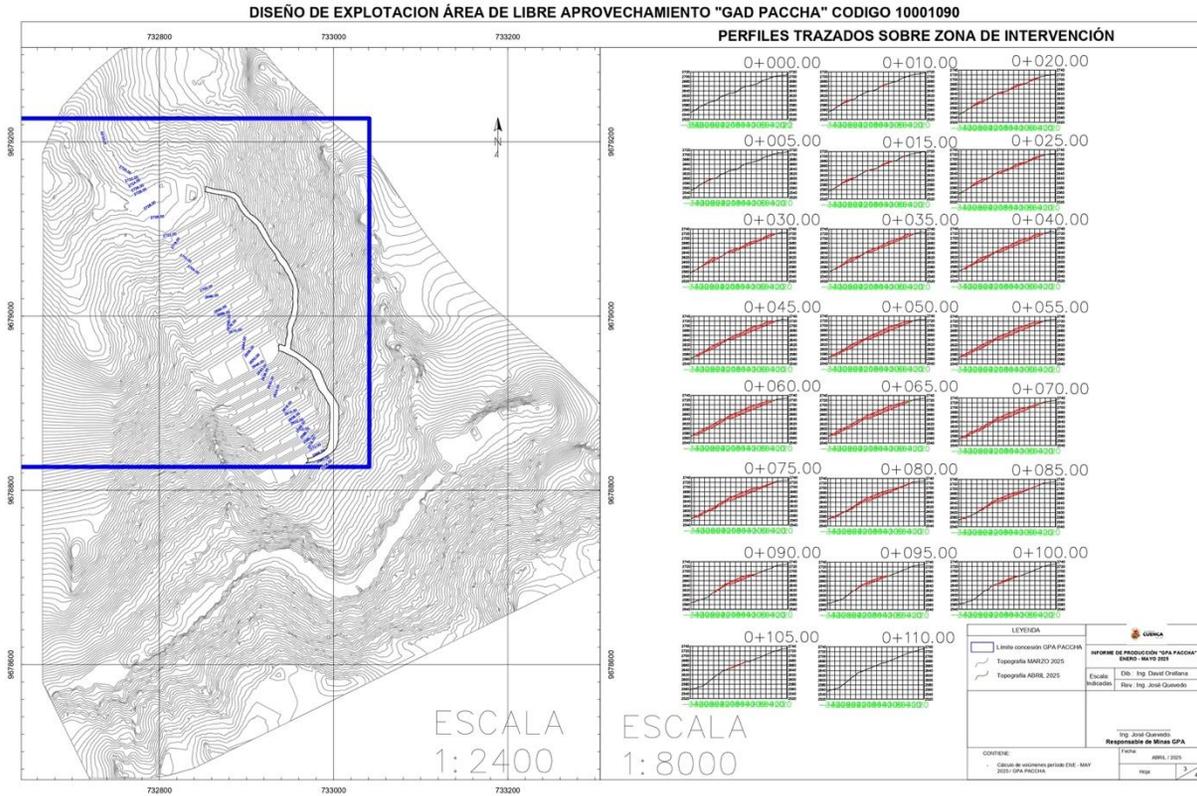
$$V = \frac{(A1 + A2)}{2} \times D$$

En donde:

- **V** representa el volumen entre dos secciones contiguas (m³).
- **A1** y **A2** son las áreas en metros cuadrados correspondientes a cada sección,
- **D** es la distancia entre estaciones, en este caso, 5 metros.

El resultado del cálculo arrojó un volumen total acumulado de corte de 186.175,29 m³, correspondiente al material útil que podrá ser extraído en las distintas fases del proyecto. Asimismo, se identificó un volumen acumulado de relleno de 91,40 m³, presente en ciertos tramos puntuales donde la rasante proyectada supera la topografía natural. Este valor, si bien es significativamente menor respecto al volumen de corte, ha sido considerado en el balance general de movimiento de tierras por tratarse de material necesario para garantizar la nivelación de plataformas o adecuación de accesos.

Figura 26 Diseño de explotación y Perfiles trazados sobre la zona de intervención.



Fuente: Elaboración propia.

La evolución progresiva del volumen acumulado evidencia un crecimiento sostenido desde la estación 0+000 hasta la 0+110, lo cual es coherente con la morfología descendente del terreno y la distribución topográfica previamente analizada mediante curvas de nivel. Este comportamiento permite establecer una planificación técnica del avance por etapas, dimensionando adecuadamente los recursos operativos y logísticos requeridos.

En la siguiente tabla se presenta el detalle del cálculo de volúmenes por abscisa, incluyendo áreas de corte, áreas de relleno, volúmenes parciales y acumulados:

Tabla 13 Cálculo de Corte y Relleno.

ABSCISAS	ÁREAS (m2)		VOL_PARCIALES (m3)		VOL_ACUMULADO (m3)	
	Corte	Relleno	Corte	Relleno	Corte	Relleno
0+000.00	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
0+005.00	39.96	0	99.90	0.00	99.90	0.00
0+010.00	149.48	0	473.60	0.00	573.50	0.00
0+015.00	366.96	0	1,291.10	0.00	1,864.60	0.00
0+020.00	735.86	1.96	2,757.05	4.90	4,621.65	4.90
0+025.00	1294.71	2.15	5,076.43	10.28	9,698.08	15.18
0+030.00	1805.29	1.88	7,750.00	10.08	17,448.08	25.26
0+035.00	2271.64	1.47	10,192.33	8.38	27,640.41	33.64
0+040.00	2681.76	0.62	12,383.50	5.23	40,023.91	38.87
0+045.00	2987.4	0.27	14,172.90	2.23	54,196.81	41.10
0+050.00	3289.16	0	15,691.40	0.68	69,888.21	41.78
0+055.00	3468.48	0	16,894.10	0.00	86,782.31	41.78
0+060.00	3473.42	0.91	17,354.75	2.28	104,137.06	44.06
0+065.00	3255.59	6.69	16,822.53	19.00	120,959.59	63.06
0+070.00	2977.18	1.45	15,581.93	20.35	136,541.52	83.41
0+075.00	2547.28	0	13,811.15	3.63	150,352.67	87.04
0+080.00	2064.11	0	11,528.48	0.00	161,881.15	87.04
0+085.00	1604.84	0	9,172.38	0.00	171,053.53	87.04
0+090.00	1120.35	0	6,812.98	0.00	177,866.51	87.04
0+095.00	694.1	0.87	4,536.13	2.18	182,402.64	89.22
0+100.00	335.96	0	2,575.15	2.18	184,977.79	91.40
0+105.00	71.52	0	1,018.70	0.00	185,996.49	91.40
0+110.00	0	0	178.80	0.00	186,175.29	91.40

Fuente: Elaboración propia.

3.6 Programación por etapas anuales de extracción.

Con el propósito de establecer una planificación operativa eficiente para el aprovechamiento gradual, técnico y ordenado del yacimiento ubicado en el sector “PACCHA 1”, se ha estructurado una programación anual de extracción basada en los volúmenes disponibles determinados en el estudio de cálculo de volúmenes. Esta planificación, que es un instrumento de gestión minera, permitirá estimar los tiempos de ejecución, los recursos requeridos y los cronogramas de avance físico, en cumplimiento con las disposiciones establecidas por la normativa ambiental y minera vigente.

El volumen total de material útil determinado para el proyecto asciende a 186,175.29 m³, valor obtenido mediante el procesamiento de secciones transversales utilizando el software CivilCAD y la sistematización de datos en Microsoft Excel, según se expone en el capítulo anterior. A partir de dicho volumen y considerando una capacidad operativa promedio de 39,266 m³/año, se definió una planificación distribuida en cuatro escenarios de explotación, adaptados a los periodos de 2, 5, 10 y 20 años, de acuerdo con las necesidades operativas y las condiciones del proyecto. Este enfoque permitirá una ejecución técnica eficiente, sin comprometer la estabilidad del terreno ni generar impactos negativos en el entorno inmediato.

El libre aprovechamiento se concede inicialmente por un periodo de 2 años bajo concesión, pero la vida útil del proyecto se proyecta hasta los 20 años, teniendo en cuenta que en 2023 se le entregó a Paccha 4755 m³ y en 2024 3763 m³. Los cuatro escenarios de vida útil permiten ajustar las estrategias de extracción a las condiciones del yacimiento, asegurando la optimización de los recursos y el cumplimiento de las normativas.

Tabla 14 Programación por etapas anuales de extracción del sector “PACCHA 1”.

Año	Escenario 2 Años	Escenario 5 Años	Escenario 10 Años	Escenario 20 Años
Volumen (m³)	186,175.29 m ³	186,175.29 m ³	186,175.29 m ³	186,175.29 m ³
Producción Anual (m³)	93,087.64 m ³	37,235.06 m ³	18,617.53 m ³	9,308.76 m ³
Año 1	93,087.64 m ³	37,235.06 m ³	18,617.53 m ³	9,308.76 m ³
Año 2	93,087.64 m ³	37,235.06 m ³	18,617.53 m ³	9,308.76 m ³
Año 3	-	37,235.06 m ³	18,617.53 m ³	9,308.76 m ³
Año 4	-	37,235.06 m ³	18,617.53 m ³	9,308.76 m ³
Año 5	-	37,235.06 m ³	18,617.53 m ³	9,308.76 m ³

Fuente: Elaboración propia.

La distribución propuesta garantiza una explotación progresiva técnicamente viable, acorde a la morfología del terreno y a la capacidad productiva estimada para operaciones en canteras de mediana escala. Asimismo, permite una planificación financiera y operativa clara para el titular minero o el GAD parroquial responsable, asegurando el cumplimiento de la normativa técnica y ambiental aplicable.

3.7 Plan de manejo ambiental

El Plan de Manejo Ambiental (PMA) constituye un instrumento técnico y normativo orientado a la prevención, mitigación, corrección y compensación de los impactos ambientales derivados de las actividades de explotación minera. Su aplicación es obligatoria en todas las fases del proyecto, conforme a lo establecido por la Ley de Minería (2009), el TULSMA (2015) y el Reglamento Ambiental de Actividades Mineras (2016), y debe ser aprobado por la Autoridad Ambiental Competente antes del inicio de cualquier actividad extractiva.

El presente PMA ha sido elaborado considerando las condiciones específicas del área de libre aprovechamiento “GAD Paccha”, sobre una superficie de 16 hectáreas con presencia de materiales de tipo lastre. En este contexto, se identificaron los principales factores ambientales susceptibles de alteración: calidad del suelo, cobertura vegetal, estabilidad de taludes, recursos hídricos y calidad del aire.

Las medidas propuestas en este plan se estructuran en cinco componentes esenciales:

Prevención y control de la erosión: Se implementarán sistemas de control como canales de desvío pluvial, zanjas de coronación y estructuras disipadoras de energía, a fin de evitar el arrastre de sedimentos y la degradación del perfil edáfico. Los taludes serán diseñados con

parámetros geotécnicos adecuados para garantizar su estabilidad, conforme al análisis del factor de seguridad ($FS \geq 1.4$).

Manejo de residuos y materiales peligrosos: Se establecerán sitios de almacenamiento temporal con impermeabilización en la base y cobertura, además de protocolos para el transporte y ubicación final de residuos sólidos y materiales contaminantes generados por la maquinaria en operación.

Revegetación progresiva: Se planificará una revegetación parcial desde las fases intermedias de explotación, priorizando especies nativas adaptadas a condiciones de suelos pobres y ambientes secos. Esto permitirá reducir la erosión superficial y contribuirá a la restauración ecológica del ecosistema afectado.

Monitoreo ambiental: Se ejecutará un programa de seguimiento periódico que incluirá parámetros fisicoquímicos del agua (pH y turbidez), niveles de emisión de partículas suspendidas en el aire y estabilidad estructural de los taludes. Los resultados serán presentados en informes semestrales ante la Autoridad Ambiental.

Educación y concientización comunitaria: Se realizarán campañas de sensibilización dirigidas a la población aledaña, con el objetivo de fomentar el uso responsable del área intervenida una vez rehabilitada, así también como el conocimiento de las medidas de conservación implementadas.

El plan de manejo ambiental propuesto busca garantizar que la explotación se lleve a cabo bajo criterios de sostenibilidad, minimizando los impactos negativos y promoviendo la resiliencia del entorno natural. Su aplicación integral es indispensable para viabilizar el desarrollo técnico de la cantera dentro del marco legal y ambiental vigente.

3.8 Evaluación de alternativas de diseño

Dado que el presente estudio corresponde a una fase inicial de planificación para el libre aprovechamiento de materiales áridos y pétreos en el sector “PACCHA 1”, se ha establecido un diseño de explotación que responde a las condiciones actuales del terreno, los requerimientos del GAD parroquial y la demanda estimada de material para obras viales.

No obstante, en función del comportamiento técnico observado durante las fases operativas y de la eventual continuidad del macizo rocoso, se prevé la posibilidad de implementar una segunda etapa de explotación. Esta futura fase no ha sido definida en el presente documento, y su planificación quedará sujeta al criterio técnico de los profesionales designados por el GAD Municipal del cantón Cuenca, quienes deberán considerar aspectos geomecánicas, ambientales, topográficos y normativos al momento de su formulación.

En ese contexto, no se establecen múltiples alternativas de diseño dentro de este estudio, debido a que el modelo actual cumple con los criterios de estabilidad, eficiencia y compatibilidad ambiental requeridos. Sin embargo, se deja planteada la necesidad de evaluar nuevas alternativas de diseño en una etapa posterior, las cuales podrían incluir:

- **Rediseño del plano de explotación con bancos adicionales:** En caso de identificarse continuidad lateral o en profundidad del material útil.
- **Modificación del ángulo de talud global:** En función de estudios geotécnicos actualizados.
- **Reubicación de zonas de acopio o rampas:** Dependiendo de las condiciones de accesibilidad y evolución morfológica del terreno.
- **Incorporación de fases de remediación progresiva:** Con revegetación por bancos para minimizar el impacto paisajístico.

La implementación de cualquiera de estas variantes requerirá la elaboración de estudios técnicos complementarios, nuevos levantamientos topográficos y, de ser el caso, una modificación del Plan de Manejo Ambiental aprobado. Esta flexibilidad proyectiva permite al titular minero o al GAD responsable adaptar el esquema de explotación a la dinámica real del proyecto, optimizando el uso del recurso sin comprometer la integridad del entorno.

3.9 Planificación del uso del material

La planificación del uso de este material contempla su distribución estratégica hacia los frentes viales identificados por el GAD parroquial, priorizando tramos de acceso productivo, caminos escolares y vías con deterioro estructural progresivo. Para ello, se establecerán centros de acopio temporales ubicados en zonas logísticamente viables, desde donde se coordinará el transporte hacia los sitios de intervención mediante volquetas de capacidad promedio de 6 m³.

Como parte de la planificación territorial del GAD Municipal del cantón Cuenca, el material extraído del área “PACCHA 1” también podrá ser utilizado en obras de urbanismo menor, particularmente en la conformación y mejoramiento de veredas peatonales en sectores rurales y periurbanos. El proceso constructivo contempla las siguientes fases técnicas:

- **Limpieza y nivelación del terreno:** Se procede a la remoción de la capa vegetal y a la compactación del terreno natural con placa vibratoria o rodillo manual.
- **Colocación de material granular:** Se aplica una capa de 10 a 15 cm de espesor de material tipo lastre clasificado, previamente humedecido y compactado en dos pasadas, alcanzando al menos el 95 % de densidad del Proctor.
- **Nivelación y acabado:** Mediante regla metálica de nivelación y equipos de vibrado se garantizará la regularidad superficial de la vereda, adaptándola al nivel de acceso de viviendas o establecimientos públicos.

- **Opcional, colocación de adoquines o pavimento rígido:** Sobre la base granular compactada se podría disponer elementos prefabricados o fundidos in situ, dependiendo del diseño urbano y la inversión disponible.

Figura 27 Ilustración de mantenimiento vial.



Fuente: (ALDIA Noticias, 2023).

Este tipo de intervenciones permite mejorar significativamente la conectividad peatonal, reducir la erosión superficial en zonas de pendiente y dignificar los entornos comunitarios, empleando recursos propios del territorio, lo cual refuerza el enfoque de sostenibilidad social y económica en la gestión del libre aprovechamiento.

CAPITULO 4

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Análisis de ensayos de laboratorio

A partir de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio realizados en el área “PACCHA 1”, se evidencia la pertinencia de ampliar la caracterización del material no solo en función de su uso vial, sino también considerando su comportamiento ante cargas cíclicas y su durabilidad en condiciones climáticas variables. En este sentido, se recomienda complementar los estudios con ensayos triaxiales y pruebas de durabilidad frente a ciclos húmedos-secos, especialmente en sectores destinados a soportar tránsito de maquinaria pesada o estructuras auxiliares temporales.

De igual manera, con fines de proyección a futuras etapas de explotación, se considera oportuno realizar una campaña de sondeos adicionales en zonas no muestreadas, priorizando áreas con indicios de heterogeneidad litológica o cambios abruptos en la textura del material observado en campo. Esta información permitirá modelar con mayor precisión la variabilidad espacial del depósito y optimizar los rendimientos operativos en función del tipo de material disponible.

Por último, se propone el desarrollo de una matriz de aptitud técnica que relacione directamente los parámetros físico-mecánicos del material con su aplicación específica en obras de infraestructura, permitiendo al GAD Parroquial establecer criterios claros de asignación del recurso según el destino de uso.

4.2 Evaluación del diseño de explotación propuesto

Si bien el diseño actual responde a criterios de seguridad, eficiencia y compatibilidad ambiental, se plantea como recomendación estratégica la incorporación de un modelo digital

tridimensional del yacimiento, integrando las curvas de nivel, cotas de bancos, y zonas de influencia en un entorno SIG. Esta herramienta permitiría evaluar en tiempo real posibles ajustes durante la operación y realizar simulaciones de avance para facilitar la toma de decisiones en campo.

Asimismo, considerando el carácter dinámico del terreno y la presencia de tres viviendas dentro del área de influencia, se sugiere incorporar un plan de monitoreo participativo que incluya inspecciones semestrales de los frentes activos, registro de cambios morfológicos mediante ortofotos, y revisión de posibles afectaciones a infraestructuras cercanas. Esta medida contribuirá no solo a la estabilidad técnica del proyecto, sino también al fortalecimiento del vínculo con la comunidad.

Por otro lado, se enfatiza la necesidad de prever accesos alternativos y plataformas auxiliares en caso de condiciones climáticas adversas o contingencias operativas, garantizando así la continuidad del ciclo extractivo sin interrupciones mayores.

4.3 Análisis económico del proyecto.

El análisis económico constituye un componente esencial en la evaluación integral del proyecto de explotación minera “PACCHA 1”, ya que permite determinar su viabilidad financiera, comparando los costos de operación internos con los precios del mercado local. Esta evaluación proporciona insumos concretos para la toma de decisiones por parte del GAD parroquial, especialmente en lo que respecta a la asignación de recursos y la sostenibilidad presupuestaria de sus obras viales.

Con base en el análisis de costos operativos desarrollado en el capítulo anterior, se estableció un costo promedio de extracción para el modelo de libre aprovechamiento en un rango comprendido entre USD 5,50 y USD 6,90 por metro cúbico. Este valor incluye los costos

directos (extracción, carguío y acarreo), costos indirectos (personal técnico, permisos, seguridad industrial) y los costos de mantenimiento y transporte.

Como complemento, se realizó una comparación referencial con el costo promedio de adquisición de material tipo lastre en el mercado privado de la provincia del Azuay, cuyos valores se sitúan entre USD 9,50 y 12,00 por metro cúbico, dependiendo del tratamiento del material y la distancia de acarreo. Esta comparación se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 15 Comparación de costos unitarios de material.

Modalidad de provisión	Costo por m³ (USD)	Observaciones técnicas
Libre aprovechamiento “PACCHA 1”	5,80	Costo estimado interno con operación directa del GAD parroquial
Proveedor externo (mercado privado local)	9,50 – 12,00	Incluye flete, márgenes comerciales y tratamiento básico del material
Libre aprovechamiento con zarandeo manual	6,60	Costo estimado con separación por tamaño para uso específico
Libre aprovechamiento + clasificación mecánica	7,30	Costo estimado con selección granulométrica semiautomatizada

Fuente: Elaboración propia.

La tabla evidencia la ventaja económica significativa del esquema de libre aprovechamiento, que permite generar un ahorro estimado del 35 % al 50 % respecto a la adquisición externa. Este diferencial se amplifica si se considera la posibilidad de valor agregado mediante procesos simples de selección granulométrica o zarandeo, lo que habilitaría al GAD a diversificar el destino del material (veredas, bases, rellenos) y reducir aún más la dependencia de proveedores privados.

Adicionalmente, se recomienda implementar un sistema de monitoreo financiero operativo, que permita registrar en campo el consumo de recursos, productividad diaria por equipo y costos unitarios reales, a fin de ajustar las proyecciones económicas en tiempo real y mejorar la eficiencia presupuestaria.

CONCLUSIONES

El estudio técnico desarrollado en el sector denominado “PACCHA 1” permitió confirmar la viabilidad geotécnica, ambiental y operativa para el desarrollo de una explotación minera a cielo abierto de áridos y pétreos bajo el régimen de libre aprovechamiento, destacándose por su bajo nivel de intervención inicial, accesibilidad directa y condiciones topográficas favorables.

Los ensayos de laboratorio realizados sobre el material extraído evidencian que su comportamiento físico-mecánico cumple con los parámetros exigidos por la normativa ecuatoriana vigente (MOP-001-F-2002), siendo apto para su uso en mantenimiento vial y conformación de veredas, aportando así a la consolidación de la infraestructura comunitaria de manera sostenible.

El diseño de explotación propuesto responde a criterios de estabilidad estructural, seguridad operativa y compatibilidad ambiental. La incorporación de bermas, rampas y bancos definidos geométricamente permite una operación técnica y progresiva que asegura la integridad del terreno y la seguridad del personal involucrado.

Desde una perspectiva económica, el esquema de libre aprovechamiento representa una alternativa financieramente eficiente para el GAD parroquial de Paccha, con un costo por metro cúbico considerablemente inferior. Esta diferencia económica, proyectada en el tiempo, permitiría redireccionar recursos hacia otras prioridades territoriales, fortaleciendo la autogestión local.

Más allá de los parámetros técnicos y económicos, el proyecto evidencia el potencial de los gobiernos parroquiales para liderar procesos de planificación minera con enfoque territorial,

promoviendo un aprovechamiento racional de los recursos, con responsabilidad social y respeto al entorno natural.

RECOMENDACIONES.

Se sugiere al GAD parroquial de Paccha implementar un sistema de monitoreo técnico-operativo que permita evaluar, de forma periódica, la evolución del frente de explotación, la estabilidad de taludes y la eficiencia de los ciclos de extracción, a fin de ajustar el diseño proyectado ante posibles variaciones del terreno o condiciones climáticas adversas.

En futuras etapas, se recomienda ampliar la campaña de muestreo y análisis de laboratorio hacia otras zonas del polígono no exploradas inicialmente, con el objetivo de identificar variaciones litológicas o comportamientos diferenciales del material que puedan incidir en la calidad o aplicación del mismo.

Para fortalecer la sostenibilidad económica del proyecto, se plantea evaluar la incorporación de procesos simples de valor agregado al material (zarandeo, clasificación granulométrica), que permitirían diversificar su uso y eventualmente generar excedentes para fines comunitarios.

Se aconseja mantener un vínculo activo con las familias asentadas dentro del área de influencia directa, incorporando mecanismos de participación, comunicación y atención a sus observaciones, en cumplimiento con los principios de minería responsable y desarrollo inclusivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ministerio de Minas y Energía de Colombia. (2003). *Glosario Técnico Minero*. Bogotá D.C.: Ministerio de Minas y Energía.

<https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/glosariominero.pdf>

GAD Municipal del Cantón Cuenca. (2016). Ordenanza que regula la actividad minera para materiales áridos y pétreos en el Cantón Cuenca (expedida el 29 sept. 2016). Cuenca.

<https://www.cuenca.gob.ec/content/ordenanza-que-regula-la-actividad-minera-para-materiales-%C3%A1ridos-y-p%C3%A9treos-en-el-cant%C3%B3n-cuenca>

Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2014). *Reglamento Ambiental para Actividades Mineras*. Quito, Ecuador. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/REGLAMENTO_AMBIENTAL_DE_ACTIVIDADES_MINERAS_MINISTERIO_AMBIENTE.pdf

Caterpillar. (2024). Excavadoras hidráulicas CAT 320C Tier 3 – Especificaciones técnicas. Caterpillar Inc. https://www.cat.com/es_MX/products/new/equipment/excavators.html

Manuals.plus. (s.f.). 320 Manual del usuario de la excavadora hidráulica. Recuperado el 29 de marzo de 2025, de <https://manuals.plus/es/cat/320-hydraulic-excavator-manual>

Agisoft LLC. (s.f.). Agisoft Metashape. <https://www.agisoft.com/>

QGIS Development Team. (s.f.). QGIS: A free and open-source geographic information system. <https://www.ceupe.com/blog/qgis.html>

Autodesk. (2025). *AutoCAD* [Software]. Autodesk, Inc. <https://www.autodesk.com/products/autocad/overview>

Autodesk. (2025). Civil 3D features. Autodesk. <https://www.autodesk.com/mx/products/civil-3d/features>

Microsoft. (s.f.). *¿Qué es Excel?* <https://support.microsoft.com/es-es/office/-qu%C3%A9-es-excel-94b00f50-5896-479c-b0c5-ff74603b35a3>

Cuenca al Día. (2025, marzo 20). Fotografía de evento. Facebook.
<https://www.facebook.com/photo/?fbid=1212655574201372&set=pcb.1212655634201366>

Vehicentro. (s.f.). *Volqueta T5G-330*. Recuperado el 29 de marzo de 2025, de
<https://vehicentro.com/volquetas/volqueta-t5g-280>

Asamblea Nacional del Ecuador. (2009). Ley de Minería (Registro Oficial Suplemento No. 517).

https://www.ambiente.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2015/08/Ley_de_Mineria.pdf

Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (2013). Reglamento General a la Ley de Minería (Decreto Ejecutivo No. 119).

<https://www.rekursyenergia.gob.ec/reglamento-general-a-la-ley-de-mineria/>

García, J., & Moreno, F. (2015). *Costos y productividad en maquinaria pesada para minería y construcción*. Ediciones Técnicas. (Consulta bibliográfica física)

Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (2021). *Plan Nacional de Desarrollo del Sector Minero 2020–2030*. Quito, Ecuador.

<https://www.rekursyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2020/10/Plan-Nacional-de-Desarrollo-del-Sector-Minero-2020-2030.pdf>

SERCOP. (2024). *Sistema Oficial de Contratación Pública – Catálogo de precios referenciales por provincia*. <https://portal.compraspublicas.gob.ec/sercop/montos-de-contratacion-publica-2024/>

Serafini, G. (2017). *Gestión de costos en proyectos de ingeniería*. Alfaomega Grupo Editor. (Consulta bibliográfica física)

ALDIA Noticias. (2023, 21 de marzo). Mantenimiento vial en el recinto Lechugal de Arriba. <https://aldianoticias.ec/2023/03/21/mantenimiento-vial-en-lechugal-de-arriba/>

ANEXOS

Anexo 1 Recolección de muestras en la zona de prospección.



Anexo 2 Realización de estudios de suelo, específicamente CBR.



Anexo 3 Toma de puntos con equipo RTK.



Anexo 4 Equipo RTK.



Anexo 5 Aterrizaje del dron después del levantamiento aéreo.



Anexo 6 CBR PACCHA Pagina 1.

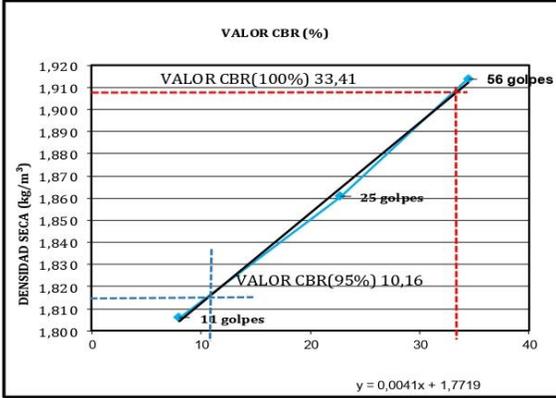
	PROYECTO												MUESTRA SATURADA	LABORATORIO DE MATERIALES Y MECANICA DE SUELOS - ENSAYO DE CBR						
	MATERIAL:																			
	SECTOR:												SOLICITADO POR:							
	FECHA	25 de marzo de 2025	SOBRE CARGA: 4,54 Kg COLOR café POZO:																	
ESPONJAMIENTO																				
# Golpes	56						# Golpes	25						# Golpes	11					
Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido en días	Lectura Dial (plg)	Altura Muestra (plg)	Esponjamiento	Esponjamiento (%)	Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido en días	Lectura Dial (plg)	Altura Muestra (plg)	Esponjamiento	Esponjamiento (%)	Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido en días	Lectura Dial (plg)	Altura Muestra (plg)	Esponjamiento	Esponjamiento (%)
17/12/2024		0	0,00	4,50	0,00	0,00	17/12/2024		0	0,000	4,50	0,0000	0,000	17/12/2024		0	0,000	4,50	0,00000	0,000
18/12/2024		1	0,00	4,50	0,00	0,00	18/12/2024		1	0,000	4,50	0,0000	0,000	18/12/2024		1	0,000	4,50	0,00000	0,000
19/12/2024		2	0,00	4,50	0,00	0,05	19/12/2024		2	0,002	4,50	0,0004	0,044	19/12/2024		2	0,002	4,50	0,00035	0,035
20/12/2024		3	0,00	4,50	0,00	0,06	20/12/2024		3	0,002	4,50	0,0005	0,052	20/12/2024		3	0,002	4,50	0,00044	0,044
PENETRACION																				
Molde Nº	1A						Molde Nº	2A						Molde Nº	3A					
PENETR. X0,001 (plg)	CARGA dial	CARGA (libras)	PRESION (lb/plg ²)	PRESION CORREG. (lb/plg ²)	PRESION ESTANDAR (lb/plg ²)	VALOR CBR (%)	PENETR. X0,001 (plg)	CARGA dial	CARGA (libras)	PRESION (lb/plg ²)	PRESION CORREG. (lb/plg ²)	PRESION ESTANDAR (lb/plg ²)	VALOR CBR (%)	PENETR. X0,001 (plg)	CARGA dial	CARGA (libras)	PRESION (lb/plg ²)	PRESION CORREG. (lb/plg ²)	PRESION ESTANDAR (lb/plg ²)	VALOR CBR (%)
0	Dial 0	0	0				0	Dial 0	0	0				0	Dial 0	0	0			
25	50	460	154				25	30	275	92				25	9	81	27			
50	75	691	231				50	49	451	150				50	14	128	43			
75	92	848	283				75	59	543	181				75	18	165	55			
100	112	1033	345		1000	34,47	100	74	682	228		1000	22,75	100	26	238	80		1000	7,96
150	150	1384	462				150	94	866	289				150	34	312	104			
200	202	1864	622		1500	41,47	200	114	1051	351		1500	23,39	200	41	377	126		1500	8,39
250	252	2326	776				250	139	1282	428				250	48	442	147			
300	298	2750	918		1900	48,32	300	159	1467	490		1900	25,77	300	61	562	187		1900	9,87
400	399	3683	1229				400	198	1827	610				400	74	682	228			
500	499	4607	1538				500	245	2261	755				500	87	802	268			
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="294 1079 829 1356"> </div> <div data-bbox="850 1079 1386 1356"> </div> </div>																				

Anexo 7 CBR “PACCHA 1” Pagina 2.

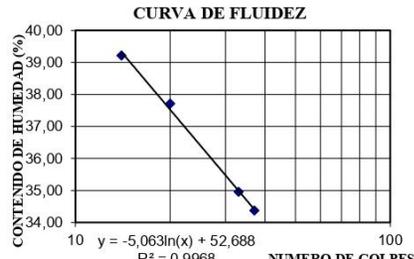
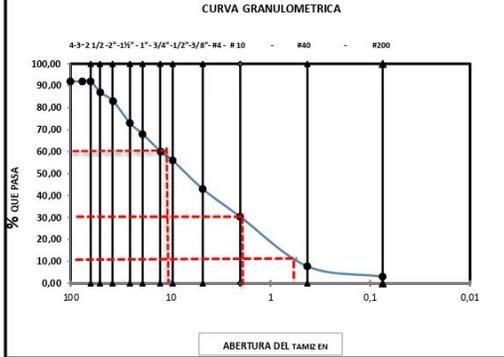
LABORATORIO DE MATERIALES Y MECANICA DE SUELOS - ENSAYO DE CBR						
	PROYECTO			MUESTRA SATURADA		
	MATERIAL:			DIRECCION:		
	SECTOR:			SOLICITADO POR:		
	FECHA			ESPESOR:		
	25 de marzo de 2025			COLOR		café
	POZO:					
	1A		2A		3A	
	ANTES DEL REMOJO	DESPUES DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUES DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUES DEL REMOJO
Peso Muestra Humeda + Molde gr	12721	12749	12346	12533	12243	12428
Peso del Molde gr	8236	8236	8022	8022	8037	8037
Peso de la Muestra Humeda gr	4485	4513	4324	4511	4206	4391
Volumen de la Muestra gr	2105	2106	2087	2088	2087	2088
Densidad Humeda gr/cm ³	2,131	2,143	2,072	2,161	2,016	2,103
Densida Seca gr/cm ³	1,914	1,846	1,861	1,866	1,806	1,810
CONTENIDO DE AGUA ANTES DEL REMOJO						
Numero de Golpes por Capa	56		25		11	
Tarro N°	97	121	105	23	71	120
Peso Muestra Humeda + Tarro gr	112,00	127,24	119,42	119,28	136,91	141,30
Peso de Muestra Seca + Tarro gr	103,70	117,44	110,41	110,22	125,79	129,87
Peso de Agua gr	8,3	9,8	9,01	9,06	11,12	11,43
Peso de Tarro gr	30,82	30,52	30,9	30,69	30,76	30,69
Peso de Muestra Seca gr	72,88	86,92	79,51	79,53	95,03	99,18
Contenido de Humedad %	11,39	11,27	11,33	11,39	11,70	11,52
Promedio Contenido de Humedad %	11,33		11,36		11,61	
CONTENIDO DE AGUA DESPUES DEL REMOJO						
Numero de Golpes por Capa	56		25		11	
Tarro N°	86	102	122	73	116	117
Peso Muestra Humeda + Tarro gr	138,57	141,90	154,82	143,70	132,32	132,76
Peso de Muestra Seca + Tarro gr	123,49	126,55	137,95	128,01	118,01	118,61
Peso de Agua gr	15,08	15,35	16,87	15,69	14,31	14,15
Peso de Tarro gr	30,08	30,78	29,87	29,99	30,02	30,89
Peso de Muestra Seca gr	93,41	95,77	108,08	98,02	87,99	87,72
Contenido de Humedad %	16,14	16,03	15,61	16,01	16,26	16,13
Promedio Contenido de Humedad %	16,09		15,81		16,20	
Agua Absorbida	4,75		4,45		4,58	

Valor CBR (100)	33,44	yd 100%	1,909
56 Golpes	34,47	yd 56	1,914
25 Golpes	22,75	yd 25	1,861
11 Golpes	7,96	yd 11	1,806

Valor CBR (95%)	10,16	yd 95%	1,814
56 Golpes	34,47	yd 56	1,914
25 Golpes	22,75	yd 25	1,861
11 Golpes	7,96	yd 11	1,806



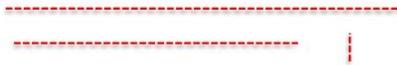
Anexo 8 CLASIFICACIÓN “PACCHA 1” Pagina 1.

LABORATORIO DE MATERIALES Y MECANICA DE SUELOS-CLASIFICACION DE SUELOS									
	PROYECTO: Estudios de Materiales para libre aprovechamiento								
	AUTORES :								
	ESCUELA: Ingeniería en Minas								
	FACULTAD: Ciencias y Tecnología MATERIAL: Tomado de la cantera Paccha 1								
					MUESTRA Muestra tomada de la Cantera de Paccha 1				
					MUESTRA # 1 COLOR: café FECHA: 24 de febrero de 2025				
LIMITE LIQUIDO:									
Prueba No.	Tarro No.	Nº de golpes	Peso tarro Tarro gr.	Peso tarro + suelo húmedo gr.	Peso tarro + suelo seco gr.	Peso agua gr.	peso suelo seco gr.	contenido humedad %	
1	78	37	30,08	49,16	44,28	4,88	14,20	34,37	
2	20	33	31,74	48,11	43,87	4,24	12,13	34,95	
3	54	20	30,08	45,71	41,43	4,28	11,35	37,71	
4	105	14	30,91	46,46	42,08	4,38	11,17	39,21	
LIMITE PLASTICO:									
Prueba No.	tarro No.	peso tarro gr.	peso tarro + suelo húmedo gr.	Peso tarro + suelo seco gr.	Peso suelo húmedo gr.	Peso suelo seco gr.	Contenido humedad %	LP promedio %	
1	86	30,11	33,53	32,95	3,42	2,84	20,42	21,21	
2	46	30,86	34,60	33,96	3,74	3,10	20,65		
3	92	30,33	35,11	34,23	4,78	3,90	22,56		
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;">  </div> <div style="width: 45%;">  </div> </div>									
CLASIFICACION DE LA AASHTO			GRUPO SUBGRUPO		A-2 A-2-6 0				
CLASIFICACION DE LA SUCS: GW grava bién graduada con arena									
Humedad Natural									
Cc	Cu								
1	21,32								
GRANULOMETRIA									
Tamiz	Peso retenido parcial	Peso retenido acumulado	% retenido	% que pasa					
4"	1629,00	1629,00	8,00	92,00					
3"	0,00	1629,00	8,00	92,00					
2½"	0,00	1629,00	8,00	92,00					
2"	1066,00	2695,00	13,00	87,00					
1½"	839,00	3534,00	17,00	83,00					
1"	1981,00	5515,00	27,00	73,00					
¾"	1109,00	6624,00	32,00	68,00					
½"	1661,00	8285,00	40,00	60,00					
3/8"	826,00	9111,00	44,00	56,00					
4	2707,00	11818,00	57,00	43,00					
PASA # 4	10129,00	0,00							
# 10	156,69	156,69	70,00	30,00					
# 40	278,57	435,26	92,00	8,00					
# 200	58,22	493,48	97,00	3,00					
PASA # 200	37,65	531,13	100,00						
Peso húmedo antes del ensayo = (gr) 22006,00 Peso húmedo total después del ensayo = (gr) 21947,00 Humedad del material, que pasa malla # 4 = (%) 12,97 Peso seco total = (gr) 20784,28 Peso pasa malla # 4 para el lavado = (gr) 600,00 Peso seco antes del lavado = (gr) 531,13 Peso seco después del lavado = (gr) 493,48									
TOTAL GRANULOMETRIA									
% GRAVA	57,00								
% ARENA	40,00								
% FINOS	3,00								
w (%) =	12,97								
LL (%) =	36,39								
LP (%) =	21,21								
IP = LL - LP = (%)	15,18								

Anexo 9 CLASIFICACIÓN “PACCHA 1” Pagina 2.

F1 GRUESO
48.50 ARENA

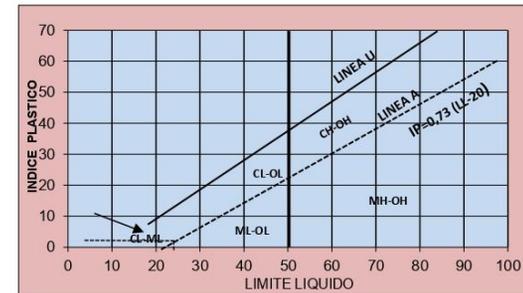
2 1/2 - 2"-1 1/4" - 1" - 3/4" - 1/2" - 3/8" - #4 - #10 - #40 - #200



PASO 1	
¿Es grueso?	GRUESO
	GRUESO
PASO 3	
PUEDE SER GRAVA O ARENA	
F1	GRAVA
40,00	48,50 GRAVA
Fración gruesa	97%

	% Pasa		% Retenido	
% de Grava	76,2	92,00	4,75	57,00
% de Arena	4,75	43,00	0,075	40,00
% de Limo			0,075	3,00
			Total	100,00

PASO 2	
SUELO FINO -ARCILLOSO	
¿Es Fino?	FALSO
	GRUESO



Anexo 10 CLASIFICACIÓN “PACCHA 1” Pagina 3.

PARA OBTENER LA HUMEDAD DEL MATERIAL QUE PASA LA MALLA # 4 SE TOMARON LAS SIGUIENTES MUESTRAS OBTENIENDOSE LOS RESULTADOS RESPECTIVOS:

MUEST.	No. TARRO	PESO TARRO	PESO TARRO + MUESTRA HUMEDA	PESO TARRO + MUESTRA SECA	%	% HUMEDAD PROMEDIO
		gr.	gr.	gr.	HUMEDAD	
1	122	29,87	165,68	152,28	10,95	12,97
2	0	0	0	0	0,00	

COEFICIENTE DE CURVATURA Y DE UNIFORMIDAD:

$$C_c = (f_{30})^2 / (f_{60} \times f_{10})$$

$$C_u = f_{60} / f_{10}$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} D_{10}}$$

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

PARA LA OBTENCION DEL COEFICIENTE DE CURVATURA Y DE UNIFORMIDAD SE SIGUIERON LOS SIGUIENTES PASOS PARA OBTENER LOS DIAMETROS REQUERIDOS PARA ESTOS CALCULOS:

PARA EL **f10** : ES LA ABERTURA DEL TAMIZ QUE DEJA PASAR EL 10% DEL MATERIAL

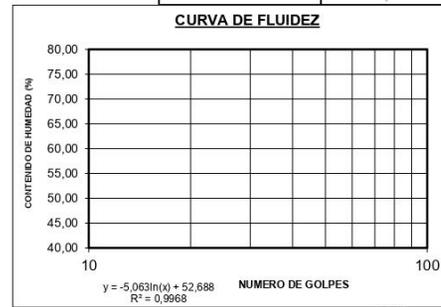
TAMIZ #	ABERTURA (mm)	% QUE PASA
# 40	0,425	14,44
# 200	0,075	8,96
diferencia=	0,35	5,48
	x	4,44

$$x = \frac{0,35}{5,48} \times 4,44 = 0,284$$

$$f_{10} \text{ (mm)} = 0,075 + 0,284 = 0,141$$

PARA EL **f30** : ES LA ABERTURA DEL TAMIZ QUE DEJA PASAR EL 30% DEL MATERIAL EN ESTE SE TIENE QUE REALIZAR UNA INTERPOLACION PARA OBTENER DICHA ABERTURA:

TAMIZ #	ABERTURA (mm)	% QUE PASA
4	4,75	38
		26,18
		11,82
		8



$$x = \frac{10 \times 100}{11,82} = 1,847$$

$$f_{60} \text{ (mm)} = 1,847 = 7,653$$

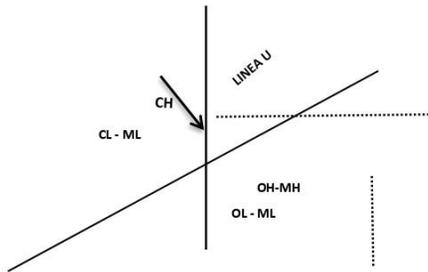
RESULTADOS:

f10 (mm) =	0,141
f60 (mm) =	7,653

Cc	Cu
7,71	54,11

ON PARA OBTENER DICHA ABERTURA:

% QUE PASA
74
38
36
14



Anexo 11 CLASIFICACIÓN “PACCHA 1” Pagina 4.

MAYOR >	MENOR <	CALCULOS	
# Tamiz	% Pasa		(100-F)
3"	92.00	100.00	57.00
Nº 4	43.00	100.00	97.00
Nº 200	3.00		

Grueso

		% retenido	
Grueso	F < 50%	58,76	Grava
Fino	F ≥ 50%		Arena
		F1 ≥ (100-F)/2 48,5	Es un suelo arenoso

DIAMETRO MAXIMO DEL AGREGADO:

$$f_{max} = f_{95}$$

PARA EL **f95** : QUE ES EL DIAMETRO MAXIMO DEL AGREGADO CORRESPONDE A LA ABERTURA DEL TAMIZ QUE DEJA PASAR EL 95% DEL MATERIAL, EN ESTE CASO SE TIENE QUE REALIZAR UNA INTERPOLACION PARA OBTENER DICHA ABERTURA:

TAMIZ #	ABERTURA (mm)	% QUE PASA
11/2	38.00	96
1	25.40	81
	12.60	15
	x	1

$$x = 0.84$$

$$f_{95} = 38.00 - 0.84 = 37.16\text{mm}$$

Anexo 12 PROCTOR "PACCHA 1".

	PROYECTO:	Estudios de Materiales de Paccha		
	ESCUELA:	Ingeniería en Minas		
	FACULTAD:	Ciencias y Tecnología		
	REALIZADO POR:			
	MATERIAL:	Mejorar la Subrasante		
FECHA:	24 de febrero de 2025	LUGAR:	Paccha 1	

Tipo de Prueba	Proctor Modificado	Altura de caída del martillo (cm)	45,5
Peso del martillo	44,5 N	Nº de golpes/capas	56
Nº de capas	5	Volumen del molde(cm³)	2104
Método del Ensayo	Método C		
ASTM D1557			

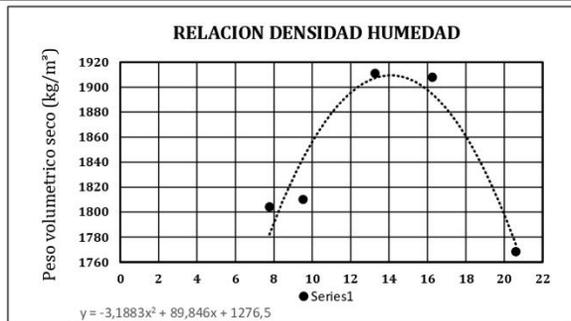
CALCULO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

MUESTRA N°	1	2	3	4	5
Peso del tarro + suelo húmedo (gr)	134,83	130,86	120,51	121,90	96,085
Peso del tarro + suelo seco (gr)	127,34	122,11	109,97	109,06	84,93
Peso del agua (gr)	7,50	8,75	10,54	12,84	11,16
Peso del tarro (gr)	30,88	30,25	30,41	30,07	30,72
Peso del suelo seco (gr)	96,46	91,86	79,56	78,99	54,21
Contenido de humedad %	7,77	9,53	13,27	16,26	20,60

CALCULO DE LA DENSIDAD SECA:

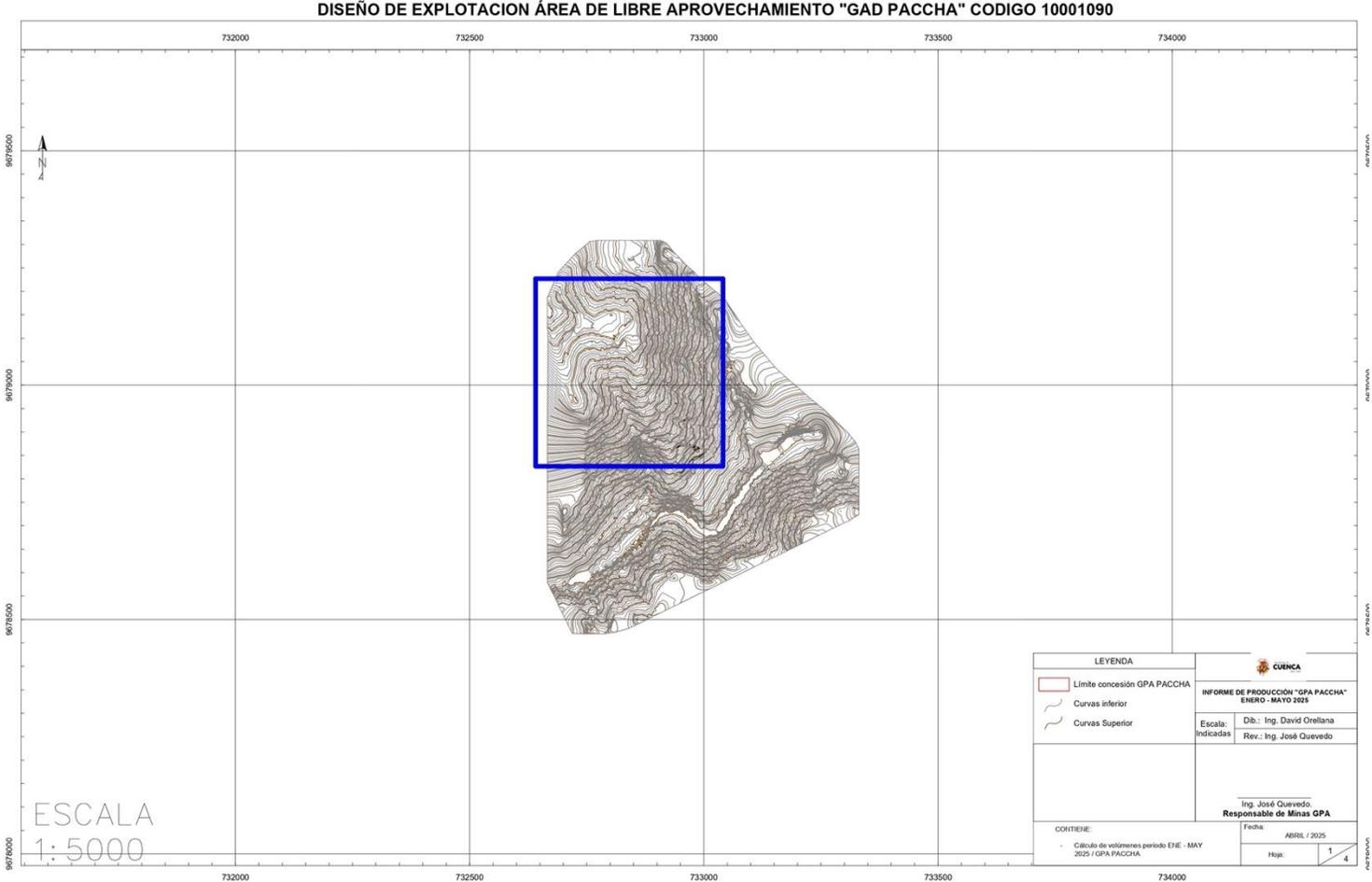
MUESTRA N°	1	2	3	4	5
Humedad añadida en %	1	3	5	8	11
Agua aumentada en cm³	55	165	275	440	605
Peso del molde + suelo húmedo (gr)	10743	10822	11197	11307	11131
Peso del molde (gr)	6739	6739	6739	6739	6739
Peso del suelo húmedo (gr)	4004	4083	4458	4568	4392
Densidad húmeda (kg/m³)	1944	1983	2165	2218	2133
Densidad seca (kg/m³)	1804	1810	1911	1908	1768

NOTA:



RESULTADO	
Contenido de humedad óptimo (%)	14,09
Yd máx = (kg/m³)	1909

Anexo 13 Curvas de nivel 1:50000.



Anexo 14 Ortofoto relación 1:50000.

DISEÑO DE EXPLOTACION ÁREA DE LIBRE APROVECHAMIENTO "GAD PACCHA" CODIGO 10001090

