



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

DEPARTAMENTO DE POSGRADOS

**“Zonificación de áreas mineras para la evaluación del índice de carga
puntal”**

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de:

Magíster en Minas con mención en Planeamiento Minero

Autor:

JUAN DIEGO MUÑOZ LOPEZ

Director:

ERNESTO PATRICIO FEJOO CALLE

CUENCA, ECUADOR

2024

Juan Diego Muñoz López

Trabajo de Titulación

Ing. Ernesto Patricio Feijoo Calle

Abril, 2024

“Zonificación de áreas mineras para la evaluación del índice de carga puntal”

DEDICATORIA

Le dedico el resultado de este proyecto y una meta cumplida, primero, a Dios, quien, me ha dado la fuerza, la perseverancia y el tesón para poder alcanzar esta meta que es un peldaño importante en mi vida; el proyecto de titulación. Todo esto con una enorme dosis de amor sin pedir nada a cambio.

También va dedicada para mi familia; abuelitos, tíos, tías, y personas cercanas a quienes quiero como a familia, que siempre han estado pendientes, de mi crecimiento y de mi formación académica y personal.

En especial esta tesis va dedicada para mis padres, quienes, con su esfuerzo, su ayuda, su amor, han sido un apoyo en cada paso que he dado.

Finalmente dedico este proyecto a mis Profesores, quienes se convirtieron no solo en mis tutores académicos sino en mis amigos, cuyo apoyo en cada ciclo fue fundamental.

Juan Diego Muñoz López

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi gratitud a Dios por tantas bendiciones recibidas en este camino de aprendizaje para llegar a cumplir esta difícil, pero maravillosa etapa en mi proyecto de vida. Brindándome las herramientas para poder ingresar al mercado laboral con toda la preparación que mi alma mater me ha entregado.

Nunca pensé que me resultaría tan difícil expresar toda la gratitud que tengo a mis padres, quienes estuvieron conmigo en todo momento, me apoyaron con sus palabras de aliento y mejores deseos, gracias por todo el amor que siempre me han brindado gracias por sus consejos, palabras sabias que siempre me guiaran en la vida, gracias por la fe que siempre tienen en mí.

Espero haber dejado un grato recuerdo en cada una de las personas que me conocieron y tengan siempre presente que a cada uno de ellos los llevo en mi corazón.

Juan Diego Muñoz López

RESUMEN

En el presente trabajo se determinó un área, en función del índice de carga puntual de la roca presente en diferentes afloramientos. Esta área está ubicada en el cerro Cojitambo y la roca estudiada fue una andesita.

Para el desarrollo se tomaron muestras que se ubicaron geográficamente y posteriormente se elaboraron probetas, con dimensiones entre 5x7.8x4.5 cm y 5x8x5 cm, dichas probetas se sometieron a ensayos de carga puntual. Finalmente, se diseñó el mapa de resistencias en el cual se determinó que las probetas con las dimensiones 5.9x8x5.1cm presentan los mejores resultados del índice de carga puntual utilizando softwares como: Recmin y ARCGIS.

Este mapeo nos permitió observar detalladamente la resistencia a la roca en diferentes zonas del área y su variación, con lo cual se podría planificar y gestionar actividades mineras en la zona, donde la mejor zona según el mapeo es la zona externa del área de estudio.

Palabras claves: compresión, Is50, zonificación, ensayos, muestras.



Ing. Patricio Feijoo Calle

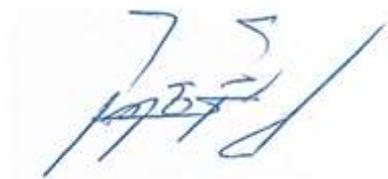
Director de trabajo de titulación

ABSTRACT

In this work, an area was determined based on the point load index of the rock present in different outcrops. This area is located in Cerro Cojitambo and the rock studied was andesite. Samples were taken for the development, which were geographically located and subsequently crafted into specimens with dimensions ranging from 5x7.8x4.5 cm to 5x8x5 cm and 5x8x5 cm. that were subjected to point load tests. Finally, a resistance map was designed and determined that the specimens with dimensions 5.9x8x5.1cm presented the best results of the point load index using software such as RecMin and ArcGIS.

This mapping allowed us to observe in detail the rock resistance in different parts of the area, as well as its variation, with which we could plan and manage mining activities in the area, where the best zone according to the mapping is the external zone of the area studied.

Key words: compressive strength (Is (50)), zoning, tests, samples.



Patricio Feijoo Calle, Eng.

Thesis director

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
RESUMEN.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	2
1. MARCO TEÓRICO	2
1.1. Mecánica de rocas	2
1.2. Ubicación geográfica de la zona de estudio.....	3
1.3. Geología Local.....	5
1.4. Muestras del Cerro Cojitambo	8
1.5 Andesita	9
1.6 Propiedades de las rocas	10
1.7 Índice de la calidad de la roca (RQD).....	10
1.8 Resistencia de la roca.....	11
1.9 Densidad	12
1.10 Humedad.....	13
1.11 Porosidad.....	13
1.12 Absorción.....	14

1.13 Dureza.....	14
1.14 Softwares Mineros	15
<i>1.14.1 Software minero ARCGIS.....</i>	<i>15</i>
<i>1.14.2 Software minero RECMIN</i>	<i>17</i>
1.15 Índice de carga puntual	18
1.16 Compresión simple	19
CAPÍTULO 2	21
2.1 EXPERIMENTACIÓN	21
2.1 Descripción de las muestras.....	21
2.2 Preparación de probetas	25
2.3 Cálculo de la resistencia a la compresión Is50	27
CAPÍTULO 3	30
RESULTADOS	30
3.1 Análisis de resultados de la resistencia a la compresión.....	30
3.2 Elaboración del mapa de resistencia con resultados de la compresión simple	31
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	40
Conclusiones	40
Recomendaciones	41
Bibliografía	42
ANEXOS.....	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización de la zona de estudio Elaborado por: Equipo consultor PDOT 2020.....	4
Figura 2. Ubicación geográfica de la parroquia Cojitambo	4
Figura 3. Ubicación geográfica de las canteras del cerro Cojitambo	5
Figura 4. Formaciones presentes en Cojitambo	7
Figura 5. Ubicación del área de trabajo	7
Figura 6. Ubicación Geográfica La Virginia – Cojitambo	23
Figura 7 Muestreo en campo.....	24
Figura 8. Área de estudio	24
Figura 9. Muestreo en zona Cojitambo.....	25
Figura 10. Dimensiones de las probetas	26
Figura 11. Muestras de laboratorio de la zona del Cojitambo	27
Figura 12 Colocación de muestras para la compresión Is50.....	29
Figura 13. Mapa de resistencia	33
Figura 14 Representación gráfica de valores de resistencia	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 La dureza de MOHS	14
Tabla 2. Datos de índice de carga puntual por muestra	28
Tabla 3 Resistencia y coordenadas de muestras	31
Tabla 4. Distribución de resistencias	34
Tabla 5. Demostración de resistencias Rango 0-1 MPa	34
Tabla 6. Demostración de resistencias Rango 1-2 MPa	35
Tabla 7. Demostración de resistencias Rango 2-3 MPa	35
Tabla 8. Demostración de resistencias Rango 3-4 MPa	35
Tabla 9. Demostración de resistencias Rango 4-5 MPa	36

INTRODUCCIÓN

En el Ecuador, en especial en la zona Austral del país, se considera un punto muy dinámico para realizar estudios geomecánicos debido a que esta zona presenta un material rocoso muy utilizable ya sea en minería subterránea o a cielo abierto. Durante los años se han realizado una serie de estudios y análisis de muestras, a escala de laboratorio en donde se han dado a conocer una serie de datos entre ellos el índice de carga puntual de las rocas. Estos datos son fundamentales para caracterizar el material con el cual se va a trabajar y determinar las operaciones que se pueden desarrollar en las actividades mineras. Dependiente el tipo de roca y su resistencia podrá ser empleado en diferentes campos mineros.

En el desarrollo de las actividades, es imprescindible conocer el área donde se van implementar estos mapas de precaución que fueron desarrollados para poder identificar los parámetros geomecánico como la resistencia a la compresión de los fragmentos, entre otras características de la roca como: la distribución y descripción litológica, espesor de suelos rocas alteradas y formaciones superficiales. El presente proyecto tuvo como finalidad realizar los mapas de las zonas con la diferenciación de colores, los cuales indican las zonas afectadas o los lugares con deslizamientos, y que se pueden observar en los mapas con la información detallada.

CAPÍTULO 1

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Mecánica de rocas

La mecánica de rocas hace parte del campo de la geotécnica, la cual se define como “La aplicación de la ciencia de la mecánica de suelos y rocas, ingeniería geológica y otras disciplinas relacionadas, en la construcción civil, la industria minera y la conservación del medioambiente.”

Las características mecánicas de la roca son ampliamente requeridas para el diseño y/o análisis de estructuras civiles, principalmente la resistencia última a compresión I_s50 , cohesión de la roca y ángulo de fricción interna. Estos parámetros se estiman de forma directa, por medio de ensayos triaxiales o indirectamente a través de correlaciones. (Restrepo, 2013)

Para la presente investigación es de especial interés la resistencia del material rocoso, parámetro que se puede determinar de forma directa por el ensayo de resistencia a compresión I_s50 , aunque dicho ensayo es simple, requiere de mucho tiempo y equipos en la preparación de los núcleos de roca a ensayar lo que lo hace costoso y elaborado. (Kahraman, 1994)

El ensayo I_s50 y el ensayo a la compresión simple son dos pruebas diferentes utilizadas en ingeniería civil y geotécnica para evaluar las propiedades de los materiales, especialmente suelos. Aquí tienes las principales diferencias entre ambos.

Ensayo a la Compresión Simple (CS) se utiliza principalmente para evaluar la resistencia de materiales como concreto, roca y algunos suelos a fuerzas de compresión directa. Mientras que el ensayo I_s50 se utiliza específicamente para suelos cohesivos y se enfoca en medir la resistencia a la tracción indirecta, lo que proporciona información sobre la resistencia del suelo a las fuerzas de corte.

En cuanto al tipo de carga aplicada el ensayo a la compresión simple (CS) se aplica una carga axial directa sobre el material de prueba; mientras que el ensayo IS50: Implica la aplicación de una carga tangencial o de corte en un plano específico del suelo, lo que simula las fuerzas de corte que pueden experimentar en aplicaciones prácticas.

El ensayo a la compresión simple proporciona información sobre la resistencia a la compresión del material y su capacidad para soportar cargas axiales; mientras que el ensayo IS50 proporciona información sobre la resistencia del suelo a las fuerzas de corte y su capacidad para soportar cargas en condiciones de corte.

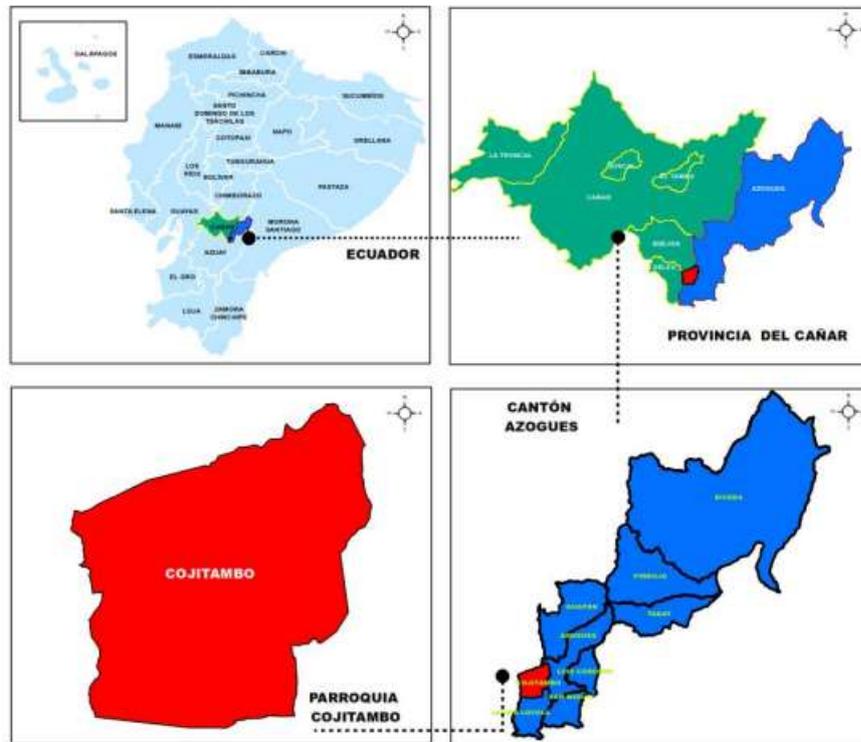
1.2.Ubicación geográfica de la zona de estudio

El mapa realizado pertenece al sector Cojitambo, que se encuentra a 10 kilómetros hacia el oeste de la ciudad de Azogues, parroquia Cojitambo, provincia del Cañar, en la estribación occidental del cerro Cojitambo, y se halla a 3.076 m.s.n.m.

Este cerro es conocido como el Mirador Cañari, por cuanto se puede apreciar un área de 30 kilómetros a la redonda. Las Ruinas se distribuyen en aproximadamente 45 ha. (Espinoza & Peralta, 2021)

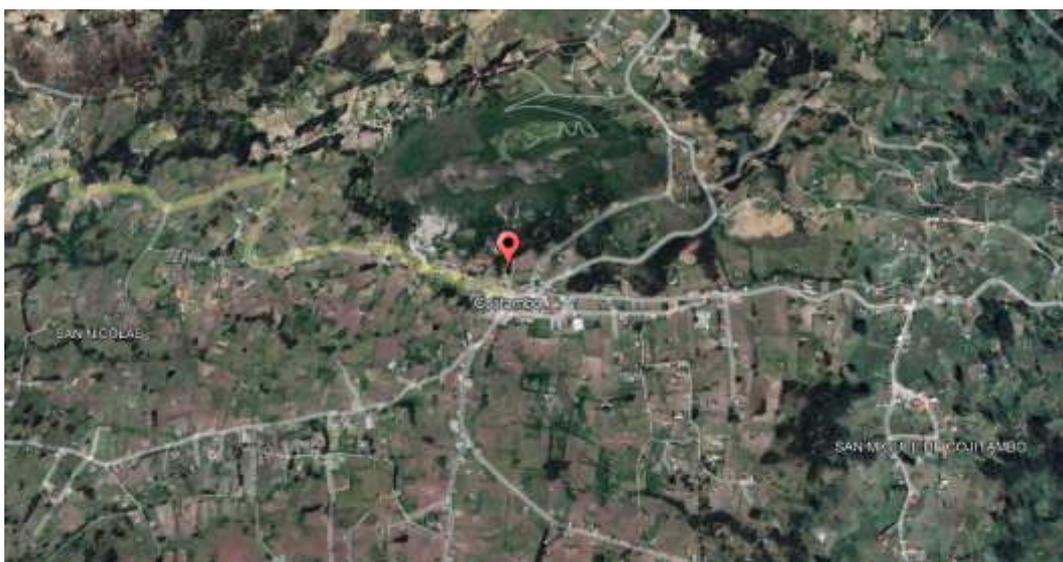
Según Bedoye (1961) el cerro Cojitambo es una roca volcánica que se levanta en medio de la arenisca de Azogues, además el sector Cojitambo presenta una variedad típica y hermosa de la andesita anfíbola; es una masa fundamental micro cristalizada de un color gris claro en donde se distinguen perfectamente bien los cristalitos de anfíbola, mica negra y más fragmentos de plagioclasas blancas además de la presencia de la magnetita.

Figura 1. Mapa de localización de la zona de estudio Elaborado por: Equipo consultor
PDOT 2020



Fuente: (Bustillo & López, 1997)

Figura 2. Ubicación geográfica de la parroquia Cojitambo



Fuente: Tomado de Google Earth Pro. (Mendieta, M;2023)

El complejo arqueológico Cojitambo se encuentra ubicado en la parroquia rural de Cojitambo la misma que pertenece al Cantón Azogues, Provincia del Cañar.

El cerro Cojitambo se encuentra al Este de la ciudad, a 2.3km del centro de la parroquia Cojitambo, el acceso a la parte superior del cerro es por la vía a Déleg y a un kilómetro por el camino a las ruinas del Cojitambo.

Para acceder a la zona de explotación y ubicación de las canteras se tiene que dirigir desde el centro de la parroquia al Oeste por la vía a Cojitambo un total de 300 metros, luego girar por la primera entrada a mano derecha después de cruzar el cementerio, avanzar hasta el final de la vía.

Figura 3. Ubicación geográfica de las canteras del cerro Cojitambo



Fuente: Tomado de Google Earth Pro, (Mendieta, M;2023)

1.3.Geología Local

El cerro está formado por un tipo de roca volcánica que se levanta en medio de la arenisca perteneciente a Azogues. Su formación se produjo cuando se hundieron las capas de la formación sedimentaria a su lado. Los pedazos de andesita se acumularon en su mayor parte

al pie del cerro y algunos rodaron sobre las faldas del terreno adyacente encontrándose ahora esparcidos por los campos, hasta el pueblo de Chuquipata. (Rodríguez, 2012)

El cerro Cojitambo presenta una variedad típica de la andesita anfibólica de un color gris claro y se distinguen perfectamente bien por los cristalitos de anfíbola, mica negra y los fragmentos más grandes de la plagioclasa (andesina) blanca. Además, en esta zona se encuentran las Formaciones de Biblián y Loyola

El cerro Cojitambo presenta una serie de formaciones mismas que serán definidas a continuación:

1.3.1 Formación Biblián

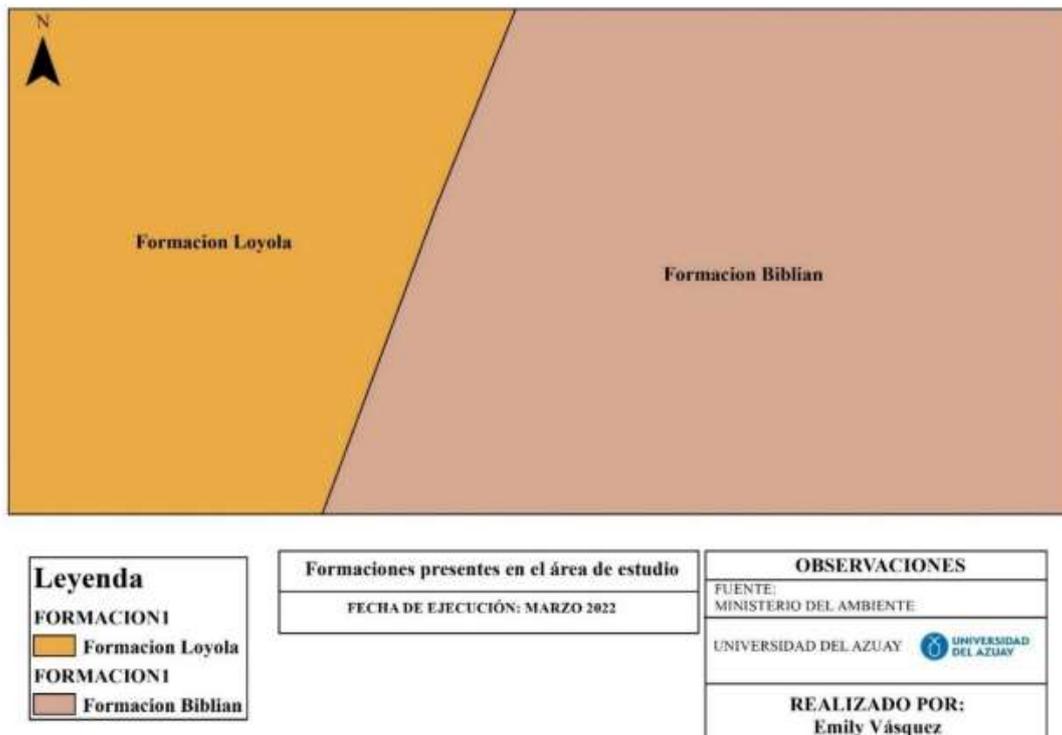
Se encuentra formada por areniscas y lutitas que se encuentran organizadas en secuencia de grano, también, existe la presencia de andesitas interestratificados. Esta formación presenta características de un ambiente fluvial y puede alcanzar en ciertos lugares un espesor mayor a 500 m. (Ureña, 2021).

1.3.2 Formación Loyola

La formación consiste principalmente de lutitas color gris oscuro a negro, cubiertas con limonitas y yeso, localmente posee lentes de caliza. El azufre esta frecuentemente expuesto y contiene abundante fauna y flora. (Steinmann, 1999)

Está compuesta por lutitas negras ricas en pirita con intercalaciones de granos de areniscas finas que tienen una coloración amarillenta por la meteorización. (Ureña, 2021).

Figura 4. Formaciones presentes en Cojitambo

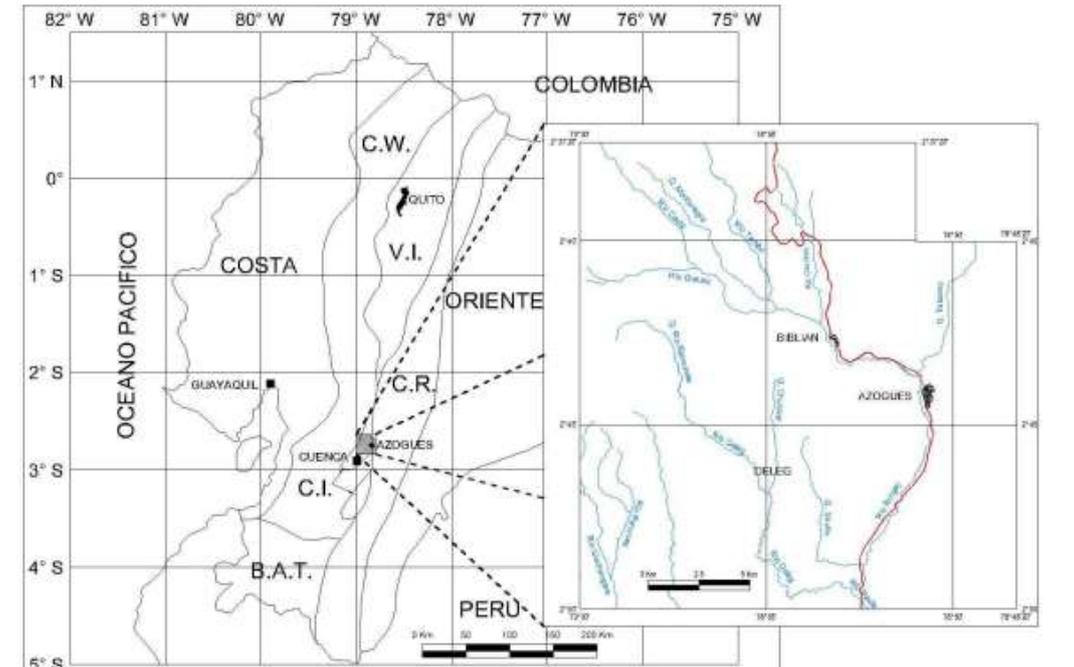


Fuente: (Vásquez; 2020)

1.3.3 Formación Azogues

La formación Azogues esta mejor desarrollada en cada lado sinclinal de la ciudad. Se encuentra dividida en tres miembros: Azogues, Guapán y Cochas. La formación se caracteriza por poseer arenisca tobácea de grano medio a grueso con capas de limonitas, arcillas y lutitas dispuestas en pequeñas intercalaciones. Así mismo, los conglomerados están desarrollados en varios niveles, guijarros bien desarrollados (1-10 cm) de diámetros consisten mayormente de rocas ígneas meteorizadas con guijarros de cuarzo de la formación Yunguilla. (Bristow, 1973)

Figura 5. Ubicación del área de trabajo



Fuente: El gráfico representa la ubicación del área de trabajo. (Verdezoto A, 2006).

1.4. Muestras del Cerro Cojitambo

El cerro Cojitambo está formado por rocas volcánicas, que se encuentra sobre la formación de arenisca de Azogues. Se lo encuentra tajado ya que se desprendió gran parte de su cumbre cuando perdió estabilidad en la parte baja por hundimiento de las capas sedimentarias que fueron gran parte de su apoyo. Por esta razón podemos encontrar grandes cantidades de andesita ya sea en las faldas del cerro como en terrenos cercanos (Bedoya, 1961) (p. 293).

(Bedoya, 1961) afirma que la andesita anfibólica del cerro Cojitambo presenta un color plomo claro en el cual podemos observar claramente los cristales de anfíbol, fragmentos de anfíbol y mica negra. También se comprobó la presencia de magnetita con agujas magnéticas (p. 293).

Figura 4. Ubicación del área de trabajo



Fuente: Tomado de la página del GAD parroquial de Cojitambo.

1.5 Andesita

La andesita pertenece a la familia de las rocas ígneas extrusivas de grano fino que suelen ser de color gris claro a oscuro. Y tienen una composición mineral intermedia entre granito y basalto. La andesita es una roca que se encuentra típicamente en volcanes por encima de los límites de las placas convergentes entre las placas continentales y oceánicas, que provienen de flujos de lava que se enfriaron rápidamente en la superficie y generalmente está compuesta por pequeños cristales que no son claramente visibles.

Para (Vásquez, 2022) la andesita se define por ser una roca ígnea de origen volcánico, por lo tanto, es una de las rocas ígneas intermedias con una composición química intermedia, además la andesita es una roca extrusiva, sus estructuras pueden diferenciarse por los diques y también filones o sills (p. 16).

Además, en esta investigación realizada por (Tarbuck & Lutgens, 2005) se considera que la andesita se caracteriza por su color gris medio, por lo general es de grano fino y de muy buena utilidad. Su nombre procede de los Andes de América del Sur, donde numerosos volcanes están formados por este tipo de roca. Además de los volcanes de los Andes, muchas

de las estructuras volcánicas que rodean el océano Pacífico son de composición andesítica. La andesita muestra continuamente una textura porfídica. Los fenocristales tienden a ser cristales claros y rectangulares de plagioclasa o cristales negros y alargados de anfíbol. La andesita presenta la riolita, también contiene cantidades pequeñas de cuarzo con un aproximado de un 25 %.

1.6 Propiedades de las rocas

Según, (Peralta y Tamayo, 2022) las características de un material se pueden definir como aquella serie de rasgos que establecen el procedimiento de ese material para luego darle un buen uso ante las acciones físicas, químicas, mecánicas y estímulos externos como: calor, luz, agua, fuerzas a las que se encuentra sometido, etc.

1.7 Índice de la calidad de la roca (RQD)

El ensayo de carga puntual se utiliza para determinar la resistencia a la compresión simple de fragmentos irregulares de roca, testigos cilíndricos de sondajes o bloques. El objetivo principal es medir la resistencia de la probeta de la roca al someterla a la carga aplicada, esto con el fin de clasificar la roca por su resistencia. (Aedo Sanhueza, 2007)

El ensayo de carga puntual consiste en aplicar una carga sobre una muestra de roca mediante un par de puntas cónicas hasta producir la ruptura del testigo. (Continental, 2007).

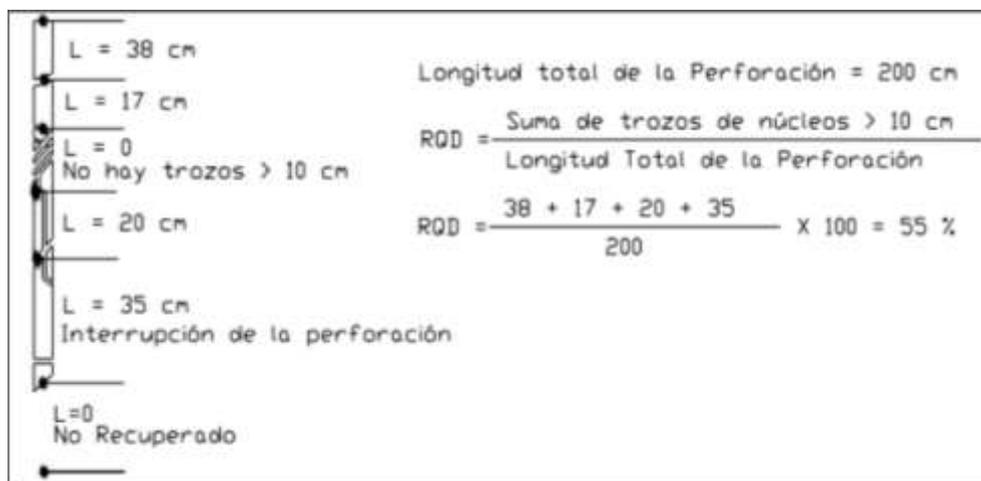
Se han desarrollado diferentes métodos indirectos para estimar la resistencia a compresión simple, el principal de ellos se destaca el ensayo de carga puntual (ISRM, 1985). La ISRM (International Society of Rock Mechanics) indica que existe una relación lineal directa entre la resistencia a compresión simple (RCS) y el índice de carga puntual $I_s(50)$, que varía entre 20 y 25. Los resultados de estas estimaciones son relativamente aceptables en rocas isotrópicas o con muy bajo grado de anisotropía.

Según, (Bustamante y Guillén, 2020) el índice de la calidad de roca muestra el grado de alteración y de discontinuidad, que se puede obtener al fracturamiento, esto puede ser consecuencia de las discontinuidades (p. 16).

Para, (Jaramillo, 2017) el proceso de RQD es muy factible por la recuperación de testigos a partir de un sondeo, se considera importante para una clasificación en la cual los fragmentos de tamaño mayor o igual a 10cm serán seleccionados para los análisis (p. 11).

En la siguiente figura se detallará el proceso para obtener el valor de RQD.

Figura 1. Cálculo del RQD



Fuente: Tomado del Trabajo de Graduación previo a la obtención del Título de: Ingeniera en Minas. “Diseño de Perforación y Voladura con Análisis Económico de la Cantera

1.8 Resistencia de la roca

Según, (Vásquez, 2022) la resistencia de la roca, es el proceso por el cual existen grietas al momento de aumentar la carga en dicho material, por el cual podemos observar que tan resistente es el tipo de material con el que estamos trabajando, la carga bajo la cual se rompe y se desintegra el material. Además, determina la competencia de la roca matriz para mantener unidos sus componentes la cual depende principalmente de la composición mineral y del grado de alteración. En la minería uno de los problemas al momento de calcular la resistencia es cuando la roca está sometida a esfuerzos compresivos, para solucionar estos problemas existen

ensayos que crean curvas esfuerzo-deformación, de manera que permite calcular las propiedades de la roca (p.10).

1.9 Densidad

La densidad es la relación que existe entre la masa y el volumen de cierta sustancia o material a analizar, generalmente podemos encontrar en unidades de Kg/m^3 . Para poder obtener la densidad de un sólido podemos usar los siguientes métodos como son, el método de la probeta, principio de Arquímedes, con un picnómetro, etc. Podemos encontrar dos tipos de densidad de la misma roca estas son la densidad natural o húmeda y densidad seca.

Los autores (Ramírez y Alejano, 2004) implementan el concepto de densidad húmeda o natural que se determina con la masa y el volumen real de la roca o el material a analizar, es decir sin aplicar un secado o algún proceso químico o físico. La fórmula para encontrar es la siguiente (p. 46).

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Donde:

- ρ : Densidad húmeda. [Kg/m³]
- v : Volumen natural de la muestra. [m³]
- m : Masa natural de la muestra. [Kg]

En el estudio realizado por (Ramírez y Alejano, 2004) la densidad seca se determina cuando la roca o el material a analizar se ha secado previamente en un horno a una temperatura aproximada de 110° C (p. 46).

$$\rho_s = \frac{m_s}{v_s}$$

Donde:

- ρ_s : Densidad seca. [Kg/m³]
- v_s : Volumen seco de la muestra. [m³]
- m_s : Masa seca de la muestra. [Kg]

1.10 Humedad

Los investigadores, (Quevedo y Reyes, 2019) consideran que la humedad se determina como un porcentaje y este está definido como la razón entre la masa de agua que se encuentra dentro de los poros de la roca y la masa de agua de las partículas sólidas, para encontrar la masa seca de la muestra esta tiene que someterse a un secado dentro de un horno a 110°C, la fórmula para encontrar la humedad es la siguiente (p. 18).

$$H = \left(\frac{m_H}{m_s} \right) * 100$$

Donde:

- H : Porcentaje de humedad. [%]
- m_H : Masa de agua la muestra. [Kg]
- m_s : Masa seca de la muestra. [Kg]

1.11 Porosidad

Ramírez y Alejano, (2004) en su estudio consideran un porcentaje entre el volumen total de espacios vacíos que tiene una roca y su volumen total, por ejemplo, en las areniscas podemos apreciar los poros a simple vista, en cambio en los granitos existe una red de micro fisuras (p.32).

Para poder calcular el volumen de poros, se tiene que triturar la muestra y se obtiene la porosidad con la siguiente formula:

$$n = \frac{V_p}{V} * 100$$

Donde:

- **n** = Porosidad [%]
- **V_p** = Volumen total de poros en una roca [m³]
- **V** = Volumen total [m³]

1.12 Absorción

Según, (Bustamante & Guillén, 2020) la absorción es la capilaridad por la cual las rocas absorben líquidos, cuando están en contacto de humedad (p. 27).

1.13 Dureza

La dureza de una roca va a depender de su composición es decir del tamaño de granos

Tabla 1 La dureza de MOHS

Dureza MOHS	Clasificación	Ejemplo de mineral
1	Muy blanda	Talco
2	Muy blanda	Yeso
3	Blanda	Calcita
4	Blanda	Fluorita
5	Medio blanda	Apalita
6	Medio blanda	Ortoclasa
7	Dura	Cuarzo
8	Dura	Topacio
9	Muy dura	Corindón
10	Muy dura	Diamante

Fuente. La tabla expone la dureza de MOHS, la clasificación y el ejemplo de mineral. Tomado del trabajo de graduación previo a la obtención del título de Ingeniero en Minas. Por Bustamante, L. Guillén, C. 2020.

Elaboración propia.

1.14 Softwares Mineros

Los softwares utilizados en minería son considerados herramientas especializadas que permiten a las empresas mineras optimizar la extracción de recursos minerales de manera eficiente y rentable.

Estos programas integran datos geológicos, topográficos y algoritmos relevantes que crean modelos tridimensionales de un yacimiento. Con esta información, las empresas pueden simular diferentes escenarios de extracción, calcular costos, planificación de operaciones y maximizar el rendimiento de la empresa. (Díaz Rodenas & Burgos Rodríguez, 2022)

Además, estos softwares son fundamentales para la toma de decisiones y estrategias que aseguren la viabilidad económica y ambiental de las operaciones mineras.

Es fundamental aprovechar los avances significativos en la tecnología de software de planificación para mejorar los procesos mineros. Esto implica crear una gama más amplia de opciones en un período de tiempo más corto, lo que facilita la selección del plan óptimo para ejecutar las operaciones mineras de manera eficiente y al menor costo posible.

1.14.1 Software minero ARCGIS

El software minero ArcGIS es una herramienta que permite a las empresas del sector minero gestionar y analizar datos geospaciales para optimizar sus operaciones. Con ArcGIS, los profesionales mineros pueden visualizar y analizar información geográfica, como la distribución de depósitos minerales, la topografía del terreno y la infraestructura circundante. Además, ofrece capacidades avanzadas de modelado y simulación para planificar y evaluar diferentes escenarios de extracción. Con estas funcionalidades, ArcGIS ayuda a las empresas

mineras a tomar decisiones informadas y estratégicas, mejorando la eficiencia y reduciendo los costos asociados con la exploración y la extracción de recursos minerales. (Baroja Llanos, Mejía Romo, Cevallos Ramírez, & Puetate Huera , 2020)

El programa minero ArcGIS ofrece una amplia gama de funciones diseñadas específicamente para el sector minero. Algunas de estas funciones incluyen:

- **Análisis geoespacial:** ArcGIS permite realizar análisis avanzados sobre datos geográficos relacionados con la minería, como la distribución de depósitos minerales, la topografía del terreno y la ubicación de infraestructuras.
- **Modelado y simulación:** Permite crear modelos tridimensionales de yacimientos minerales y simular diferentes escenarios de extracción para evaluar su viabilidad y optimizar los procesos de extracción.
- **Gestión de datos:** ArcGIS facilita la gestión de grandes volúmenes de datos geoespaciales utilizados en la industria minera, incluyendo la integración de datos de múltiples fuentes y su almacenamiento en bases de datos geoespaciales.
- **Visualización:** Proporciona herramientas para visualizar datos geoespaciales de manera intuitiva y personalizable, lo que facilita la interpretación de la información y la comunicación de resultados a diferentes audiencias.
- **Planificación y toma de decisiones:** Ayuda a planificar y gestionar las operaciones mineras al proporcionar herramientas para la selección de sitios de explotación, la planificación de rutas de acceso y la evaluación de impactos ambientales y sociales.
- **Monitoreo y control:** Permite monitorear en tiempo real las operaciones mineras y controlar diversos aspectos, como la producción, la calidad del agua y el cumplimiento de regulaciones ambientales.

En resumen, ArcGIS es una herramienta poderosa que brinda a las empresas mineras las capacidades necesarias para gestionar eficientemente sus operaciones, desde la exploración y la planificación hasta la extracción y el monitoreo continuo.

1.14.2 Software minero RECMIN

Recmin es un software minero especializado que ofrece una amplia gama de funciones diseñadas para mejorar la eficiencia y la productividad en el sector minero. Entre las características destacadas de Recmin se incluyen herramientas avanzadas para la gestión de datos geológicos y geotécnicos, la planificación de minas a cielo abierto y subterráneas, así como la simulación y optimización de operaciones mineras. Además, Recmin proporciona capacidades para el diseño de infraestructuras mineras, la gestión de recursos hídricos y la evaluación de impacto ambiental, lo que permite a las empresas mineras tomar decisiones informadas y estratégicas para maximizar la rentabilidad y minimizar los riesgos en sus operaciones. Con su interfaz intuitiva y su sólido conjunto de herramientas, Recmin se ha convertido en una opción confiable para empresas mineras de todo el mundo que buscan mejorar sus procesos y resultados. (Ramírez Medina, 2018)

Recmin dispone de una serie de módulos de software que se adaptan a diferentes etapas del proyecto minero, ofreciendo herramientas para editar y utilizar datos específicos según sea necesario. Cada uno de estos módulos puede generar un proyecto independiente y permite realizar tareas como la edición de información de perforaciones, la creación de modelos 3D, el diseño de sistemas de explotación, y proporciona una función para almacenar el progreso o avance del proyecto.

El software Recmin ofrece diversas ventajas para las empresas mineras:

- Adaptabilidad a diferentes etapas del proyecto: Recmin cuenta con módulos que se ajustan a las distintas fases del proyecto minero, desde la exploración hasta la

explotación, lo que permite una gestión integral y coherente de la información en todas las etapas.

- **Facilidad de uso:** La interfaz intuitiva de Recmin facilita su uso por parte de los usuarios, permitiendo una rápida adopción y minimizando la necesidad de formación especializada.
- **Edición y gestión eficiente de datos:** Con Recmin, es posible editar y gestionar de manera eficiente la información de perforaciones, lo que facilita el análisis y la toma de decisiones basadas en datos precisos.
- **Modelado 3D:** El software permite la creación de modelos tridimensionales detallados del yacimiento minero, lo que facilita la visualización y comprensión de la geología del área de estudio.
- **Diseño de sistemas de explotación:** Recmin proporciona herramientas para el diseño y la planificación de sistemas de explotación minera, lo que ayuda a optimizar los procesos de extracción y aumentar la eficiencia operativa.
- **Seguimiento del progreso del proyecto:** Con el módulo de seguimiento de avance, Recmin permite almacenar y monitorizar el progreso del proyecto en tiempo real, lo que facilita la toma de decisiones y la gestión de riesgos.

En resumen, Recmin ofrece una solución completa y versátil para la gestión de proyectos mineros, ayudando a las empresas a optimizar sus operaciones y maximizar la rentabilidad de sus inversiones.

1.15 Índice de carga puntual

El índice de carga puntual es una medida importante para evaluar la resistencia de los suelos ante cargas concentradas. Se define como la carga máxima que puede soportar un suelo sin que ocurra una falla o deformación excesiva en un área puntual. La fórmula para calcular el índice de carga puntual es:

$$I_s = \frac{P}{A}$$

Donde:

- I_s es el índice de carga puntual en unidades de presión (generalmente en pascales, Pa).
- P es la carga aplicada en newtons (N).
- A es el área de la placa de carga en contacto con el suelo en metros cuadrados (m²).

Este índice es crucial en la ingeniería geotécnica para determinar la capacidad de carga de los suelos bajo estructuras como cimientos, pilotes o pavimentos. La evaluación del índice de carga puntual se realiza típicamente mediante pruebas de campo o de laboratorio, y proporciona información valiosa para el diseño seguro y eficiente de estructuras sobre suelos. Un valor alto de índice de carga puntual indica una mayor capacidad de carga del suelo, mientras que un valor bajo puede indicar la necesidad de medidas de refuerzo o cimentación especializada.

1.16 Compresión simple

La compresión simple de las rocas es un concepto fundamental en la geología y la ingeniería civil que describe la resistencia de una roca a ser comprimida bajo carga. Se define como la fuerza aplicada por unidad de área necesaria para deformar una roca hasta su punto de ruptura bajo una carga axial. La fórmula general para calcular la compresión simple (σ) de una roca es:

Donde:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

- σ es la compresión simple en unidades de presión (generalmente en pascales, Pa).
- F es la fuerza aplicada en newtons (N).
- A es el área sobre la cual se aplica la fuerza en metros cuadrados (m²).

Esta fórmula es esencial para comprender el comportamiento de las rocas en aplicaciones como la construcción de cimientos, la minería y la explotación de canteras, así como en la evaluación de la estabilidad de laderas y taludes. La compresión simple puede variar significativamente según la composición mineralógica, la porosidad y la estructura de las rocas, lo que la convierte en un parámetro clave en numerosos proyectos de ingeniería y geología.

CAPÍTULO 2

EXPERIMENTACIÓN

En este capítulo se detalló todo el proceso para alcanzar los objetivos propuestos, iniciando con la descripción, preparación y corte de las muestras necesarias, además de la medición, numeración, selección y rotura de las probetas, finalmente el proceso del índice de carga puntual.

Después, se examinó el proceso de clasificación de las muestras para posteriormente exponer la resistencia de las probetas cuando se les somete a fuerzas de compresión en una dirección. Los datos recopilados se registraron en el software minero ARCGIS para crear el "Mapa de Resistencia".

Las muestras de rocas, fundamentales para esta investigación, se obtuvieron en el sector Cojitambo. La selección de las muestras se realizó siguiendo una estrategia que garantiza la representatividad del área de estudio y la variedad geológica presente en la zona.

2.1 Descripción de las muestras

Tabla 2. Coordenadas de ubicación y número de muestras tomadas del área de Cojitambo

Muestras	Coordenadas WGS 84	
	X	Y
1	751114	9694528
2	751118	9694584
3	751067	9694643
4	751119	9694725
5	751051	9694716

6	751011	9694808
7	750946	9694728
8	750846	9694691
9	750862	9694652
10	750905	9694647
11	750952	9694634
12	750962	9694591
13	750918	9694524
14	750861	9694514
15	750868	9694460
16	750988	9694460
17	751056	9694517
18	751071	9694602
19	751023	9694643
20	750997	9694571

Fuente: Elaboración Propia

Figura 6. Ubicación Geográfica La Virginia – Cojitambo



Fuente: Elaboración propia

Para la elaboración de este proyecto de investigación, se tomaron 20 muestras en la zona de estudio. El factor considerado para elegir las fue que estuvieran en su estado original, sin ninguna modificación, sin fracturas y con una exposición mínima al ambiente, la humedad y la erosión. La selección se llevó a cabo con el propósito de asegurar la representatividad y la integridad de los materiales rocosos escogidos. La carencia de modificaciones importantes permitió una evaluación más exacta de las propiedades geotécnicas y la resistencia de la roca, aspectos esenciales para los objetivos establecidos en el proyecto de titulación.

Figura 7 Muestreo en campo



Fuente: Elaboración propia

Figura 8. Área de estudio



Fuente: Elaboración propia

Figura 9. Muestreo en zona Cojitambo



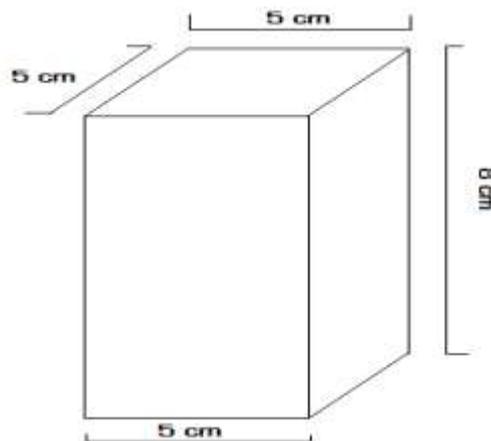
Fuente: Elaboración propia

2.2 Preparación de probetas

Luego de la selección de cada muestra, estas fueron trasladadas a un taller para proceder con el proceso de corte con el fin de obtener un paralelepípedo de dimensiones 5cmx5cmx8cm. Esta medida facilitó la realización de los ensayos con mayor exactitud.

La prueba de carga puntual implica aplicar una carga externa a una muestra, con la condición de que su tamaño esté comprendido entre 30 mm y 85 mm. Por consiguiente, se ha establecido que las muestras de prueba deberán tener aproximadamente 50 mm de dimensión. Respecto al tamaño y la forma de las muestras, estas pueden ser cilíndricas, cúbicas, paralelepípedos o de formas irregulares, siempre y cuando cumplan con las dimensiones recomendadas. Es fundamental que las superficies de las muestras estén libres de irregularidades que puedan provocar concentraciones de esfuerzos. No se requiere ningún tratamiento especial de las muestras, como el secado.

Figura 10. Dimensiones de las probetas



Fuente: (Bustamante, 2023)

Figura 11. Muestras de laboratorio de la zona del Cojitambo



Fuente: Elaboración propia

2.3 Cálculo de la resistencia a la compresión Is50

Después de la recolección de las 20 muestras, el siguiente paso implicó transportarlas al laboratorio de suelos, específicamente al departamento de Ingeniería Civil. Luego, se realizaron las pruebas de compresión Is50 utilizando la máquina de compresión. Es importante señalar que a cada muestra se le asignó un número único como identificación facilitar el seguimiento y la correcta georreferenciación de los resultados obtenidos.

La selección de la prensa para llevar a cabo las pruebas de compresión es de gran importancia, puesto que este dispositivo ofrece resultados exactos y fiables sobre la resistencia de las muestras de roca a fuerzas de compresión.

Se empleó la prensa para calcular la fuerza requerida para fracturar cada una de las muestras obtenidas. Los resultados de estas evaluaciones se muestran de forma detallada en la siguiente tabla:

Tabla 2. Datos de índice de carga puntual por muestra

Probeta	W	L	D	D/W	(P)	WD	De ²	Is	F	Is (50)
	(cm)	(cm)	(cm)		(kN)	(mm ²)	(mm ²)	(MPa)		(MPa)
1	5.0	7.8	4.9	0.98	3.50	2450	3119.44	1.12	1.05	1.2
2	5.9	8.0	5.1	0.86	16.20	3009	3831.18	4.23	1.10	4.7
3	5.9	7.8	5.5	0.93	1.20	3245	4131.66	0.29	1.12	0.3
4	5.7	8.0	5.0	0.88	2.30	2850	3628.73	0.63	1.09	0.7
5	5.0	7.9	4.8	0.96	12.10	2400	3055.77	3.96	1.05	4.1
6	5.6	8.1	4.8	0.86	12.40	2688	3422.47	3.62	1.07	3.9
7	5.9	8.5	5.6	0.95	3.80	3304	4206.78	0.90	1.12	1.0
8	5.0	8.0	4.9	0.98	12.50	2450	3119.44	4.01	1.05	4.2
9	5.0	8.2	4.8	0.96	12.30	2400	3055.77	4.03	1.05	4.2
10	5.1	8.0	4.9	0.96	7.00	2499	3181.83	2.20	1.06	2.3
11	5.2	8.0	5.0	0.96	0.40	2600	3310.42	0.12	1.07	0.1
12	5.0	8.3	4.7	0.94	2.10	2350	2992.11	0.70	1.04	0.7
13	5.1	8.1	4.8	0.94	2.53	2448	3116.89	0.81	1.05	0.85
14	5.0	7.8	4.6	0.92	2.80	2300	2928.45	0.96	1.04	1.0
15	5.2	8.0	4.5	0.87	3.40	2340	2979.38	1.14	1.04	1.2
16	5.0	8.0	4.9	0.98	0.28	2450	3119.44	0.09	1.05	0.09
17	5.0	8.2	4.6	0.92	0.20	2300	2928.45	0.07	1.04	0.1
18	5.1	8.0	5.0	0.98	5.00	2550	3246.76	1.54	1.06	1.6
19	5.2	8.0	5.0	0.96	2.10	2600	3310.42	0.63	1.07	0.68
20	5.5	8.1	5.0	0.91	2.25	2750	3501.41	0.64	1.08	0.69

Fuente: Elaboración propia

La tabla presenta los números con los que las muestras fueron identificadas junto con los respectivos valores de fuerza de compresión obtenidos para cada una. Estos resultados son esenciales para evaluar la resistencia de cada muestra de forma individual y sirvieron como base para el análisis geotécnico de la zona estudiada.

Para obtener estos valores se colocó cada muestra entre placas metálicas que se ajustaron dentro de la máquina. Una vez colocadas, se programó la máquina con los datos de área de cada muestra y se llevó a cabo la prueba de compresión.

Figura 12 Colocación de muestras para la compresión Is50



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 3

RESULTADOS

El objetivo principal del proyecto de titulación fue establecer los valores de resistencia a la compresión en muestras de roca del área de Cojitambo. Estos valores calculados de la resistencia a la compresión simple se integrarán en un software de minería (ARCGIS) con el fin de elaborar lo que hemos denominado como Mapa de Resistencia.

Las muestras fueron cortadas en forma de paralelepípedo con dimensiones de 5cmx5cmx8cm, el número de probetas con las que se trabajó son 20 en total.

3.1 Análisis de resultados de la resistencia a la compresión

Durante este proceso de investigación, se llevaron a cabo las pruebas de resistencia en cada una de las muestras, registrando el valor de resistencia en MPa para cada una de ellas del resultado de la compresión dada en el equipo de prensa capaz de realizar ensayos tanto de tensión como de compresión en materiales.

El equipo genera la presión necesaria mediante placas o mandíbulas, las cuales son activadas por un sistema hidráulico y tornillos. Esto facilita la evaluación y verificación de la resistencia de diversos materiales. Para lograrlo, la máquina está equipada con un sistema que aplica cargas controladas sobre una muestra, registrando gráficamente tanto la deformación como la carga en el momento de su ruptura.

Los resultados de compresión de cada una de las probetas reflejan los siguientes valores:

3.2 Elaboración del mapa de resistencia con resultados de la compresión simple

Durante la elaboración del mapa de resistencia, se utilizaron programas especializados en minería. A partir de los resultados obtenidos en las pruebas de compresión realizadas en el laboratorio, se incorporaron estos valores al mapa de resistencia. Esto posibilitó una representación gráfica y espacial de la variabilidad en la resistencia de la roca en el área de estudio.

Con el fin de asegurar la precisión y la exactitud de los resultados, se llevaron a cabo salidas al terreno para identificar las coordenadas específicas de cada una de las muestras. Toda la información recopilada, tanto en términos de resistencia como de ubicación geográfica, se presenta en la tabla que sigue:

Tabla 3 Resistencia y coordenadas de muestras

Muestras	Coordenadas WGS 84		Is50
	X	Y	(MPa)
1	751114	9694528	1.2
2	751118	9694584	4.7
3	751067	9694643	0.3
4	751119	9694725	1.2
5	751051	9694716	4.1
6	751011	9694808	3.9
7	750946	9694728	1
8	750846	9694691	4.2
9	750862	9694652	4.2
10	750905	9694647	2.3
11	750952	9694634	0.1

12	750962	9694591	0.7
13	750918	9694524	0.85
14	750861	9694514	1
15	750868	9694460	1.2
16	750988	9694460	0.09
17	751056	9694517	0.1
18	751071	9694602	1.6
19	751023	9694643	1.68
20	750997	9694571	1.69

Fuente: Elaboración propia

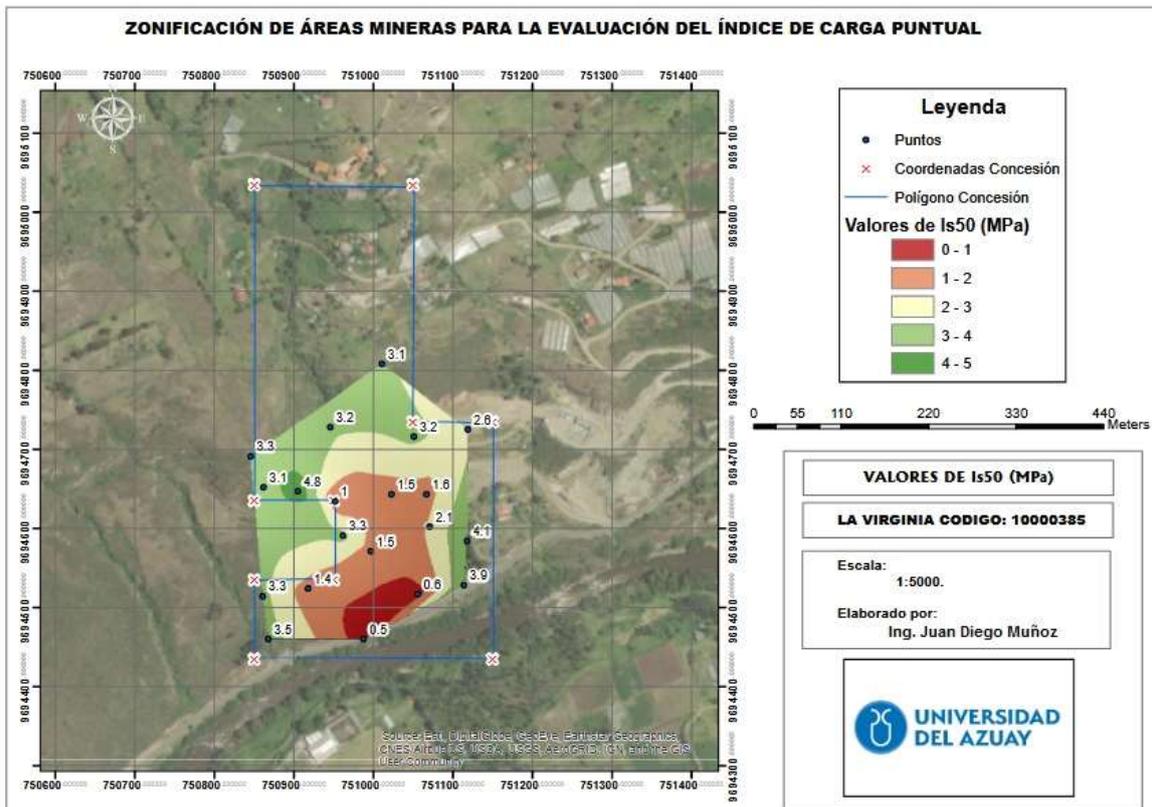
La tabla proporciona una descripción detallada de los números asignados a cada muestra, junto con sus respectivas coordenadas geográficas y los valores de resistencia obtenidos en el laboratorio. Esta información consolidada será de gran utilidad de elaboración del mapa de resistencia, permitiendo una representación geoespacial efectiva de los resultados en el contexto minero. Este registro topográfico fue fundamental como punto de referencia para incorporar la información obtenida en el software minero ARCGIS.

La elaboración del mapa en ARCGIS implicó la superposición de capas, utilizando la topografía base como el marco geoespacial. Los resultados de las pruebas de resistencia, georreferenciados con las coordenadas obtenidas en el campo, se superpusieron en el mapa con el fin de visualizar de manera efectiva la distribución de la resistencia en la zona de estudio.

Este método integra datos topográficos con detalles sobre la resistencia de las muestras, facilitando una interpretación exhaustiva y contextualizada dentro del entorno del área de Cojitambo. La elaboración de este mapa de resistencia en ARCGIS ha brindado una

herramienta valiosa para respaldar la toma de decisiones en el ámbito del planeamiento y diseño de operaciones mineras.

Figura 13. Mapa de resistencia



Fuente: Elaboración propia

La categorización de las rocas según su resistencia permitió una comprensión más precisa de la diversidad del material rocoso en la región estudiada. Esta información, unida a la representación espacial en el programa minero ARCGIS, desempeñó un papel fundamental en la evaluación geotécnica y en el diseño eficaz de las operaciones mineras.

La distribución de resistencia se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4. Distribución de resistencias

Muestras	Is50
	(MPa)
1	1.2
2	4.7
3	0.3
4	1.2
5	4.1
6	3.9
7	1
8	4.2
9	4.2
10	2.3
11	0.1
12	0.7
13	0.85
14	1
15	1.2
16	0.09
17	0.1
18	1.6
19	1.68
20	1.69

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Demostración de resistencias Rango 0-1 MPa

Muestras	Is50
3	0.3
7	1
11	0.1

12	0.7
13	0.85
14	1
16	0.09
17	0.1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Demostración de resistencias Rango 1-2 MPa

Muestras	Is50
1	1.2
4	1.2
15	1.2
18	1.6
19	1.68
20	1.69

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Demostración de resistencias Rango 2-3 MPa

Muestras	Is50
10	2.3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Demostración de resistencias Rango 3-4 MPa

Muestras	Is50
6	3.9

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Demostración de resistencias Rango 4-5 MPa

Muestras	Is50
2	4.7
5	4.1
8	4.2
9	4.2

Fuente: Elaboración propia

Como resultado tenemos la distribución de las resistencias en el área, en este esquema, se le asigna un color particular a cada categoría de roca: gama de rojos para rango 0-1, amarillo para rango 1-2, verde claro para rango 2-3 y verde semi oscuro para rango 3-4 y verde oscuro 4-5.

Las rocas dentro del rango 1 pueden experimentar cambios debido a procesos de alteración y meteorización con el transcurso del tiempo, lo que resulta en una debilitación de su estructura interna. La exposición a condiciones climáticas como la intemperie y la humedad, junto con otros factores ambientales, puede provocar la descomposición de su estructura y reducir la cohesión de la roca, lo que conlleva a una disminución de su resistencia.

La roca en rango 1-2 posee una resistencia a la compresión simple que es mayor que la de las rocas blandas, pero menor que la de las rocas duras. Por lo general, su resistencia a la compresión simple puede variar en el rango de 1 MPa a 2 MPa, y este valor puede verse influenciado por factores como la composición mineralógica y la estructura geológica.

La roca en rango de 2-3 posee una resistencia significativa a la compresión simple, lo que implica que puede resistir cargas considerablemente grandes antes de deformarse o fracturarse. Por lo general, su resistencia a la compresión simple se sitúa en un rango de 2 MPa a 3 MPa o incluso mayor, dependiendo de la composición mineralógica y la estructura geológica específica.

ambientales, puede desintegrar su estructura y disminuir la cohesión de la roca, incidiendo en su resistencia.

La roca medio blanda exhibe una resistencia que supera a la de la roca blanda, pero se sitúa por debajo de la de la roca dura. Por lo general, su resistencia a la compresión varía entre 1 MPa y 3 MPa, dependiendo de factores como la composición mineralógica y la estructura geológica.

A pesar de ser más resistente que la roca blanda, la roca medio blanda aún puede experimentar deformaciones bajo cargas considerables o fracturas bajo tensiones intensas. No obstante, suele poseer una mayor cohesión y ser menos susceptible a la desintegración que la roca blanda en condiciones similares.

La roca dura presenta una resistencia alta a la compresión I_s50 , lo que implica que puede resistir cargas considerables antes de deformarse o fracturarse. Generalmente, su resistencia a la compresión se encuentra en un rango que va desde 4 MPa - 5 MPa, dependiendo de la composición mineralógica y la estructura geológica específica. Aunque la roca muy dura posee una gran resistencia, es posible que presente fracturas, lo cual puede influir en su estabilidad y en cómo responde a las cargas aplicadas. Es esencial analizar detenidamente las características de fracturamiento para comprender su comportamiento ya sea para el diseño de explotación o para las obras civiles y demás.

La diferencia entre la resistencia a la compresión simple y la resistencia I_S50 radica en los tipos de fuerzas a los que los materiales son sometidos y en cómo se evalúa su resistencia en cada caso. La resistencia a la compresión simple se refiere a la capacidad de un material para soportar fuerzas de compresión directa, es decir, la carga aplicada perpendicularmente a su superficie. Se determina sometiendo una muestra del material a una carga axial hasta que se produce su ruptura, y luego se calcula dividiendo la carga máxima por el área de la sección

transversal de la muestra. Por otro lado, la resistencia IS50 se centra en la capacidad de un material, especialmente suelos cohesivos, para resistir fuerzas de tracción indirecta. Esta resistencia se mide aplicando una carga de tracción indirecta a una muestra cilíndrica de suelo, generalmente mediante una prueba de tracción diametral. La carga máxima soportada se divide por el área de la sección transversal de la muestra para calcular la resistencia IS50.

En resumen, mientras que la resistencia a la compresión simple evalúa la resistencia del material a la compresión directa, mientras que la resistencia IS50 evalúa su resistencia a la tracción indirecta, siendo ambas medidas relevantes en diferentes contextos de ingeniería civil y geotecnia.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Las probetas con las dimensiones 5.9x8x5.1cm son el tamaño que presenta los mejores resultados en referencia al índice de carga puntual, este tamaño de probetas es el adecuado para un correcto análisis.
- Las probetas con las dimensiones 5x8x4.9 cm presentaron la mayor desviación estándar, por lo tanto, este grupo de probeta no es recomendable ya que la variación es muy amplia y no garantiza buenos resultados.
- El mapa de resistencia facilitará la identificación de áreas con niveles de resistencia que van desde baja hasta muy alta, lo cual será útil para establecer una zonificación geotécnica. Esta zonificación es crucial para la planificación de operaciones mineras.
- Los datos proporcionados por el mapa pueden guiar la elección de métodos de explotación más apropiados, los cuales se ajusten a las condiciones geotécnicas específicas de la zona, con el fin de mejorar la eficiencia en el proceso de extracción.
- El mapa de resistencia no solo constituye una representación gráfica de información geotécnica, sino también una herramienta crucial para la toma de decisiones estratégicas en el sector minero, lo que contribuye a aumentar la eficacia y la seguridad de las operaciones.
- La información del mapa puede orientar la selección de métodos de explotación más adecuados, adaptados a las condiciones geotécnicas locales y optimizando la eficiencia de la extracción.

Recomendaciones

- Es necesario verificar que la cortadora de disco este en buen estado, para que las caras de las probetas salgan las más rectas posibles, garantizando este proceso lograremos obtener mejores resultados al momento de realizar los cálculos.
- Es importante seguir las instrucciones de uso de la máquina de compresión al realizar las roturas, ya que si las probetas no están paralelas con las placas del equipo puede producirse errores en los resultados.
- Implementar un plan de actualización regular del mapa de resistencia con el fin de reflejar cualquier cambio en las condiciones geotécnicas, con el objetivo de mejorar la exactitud de las recomendaciones proporcionadas.
- En lugares donde la resistencia es menor, se deben aplicar precauciones adicionales para reducir los riesgos, como la instalación de sistemas de soporte o el refuerzo estructural.
- Emplear el mapa como referencia para identificar zonas que necesiten análisis geotécnicos suplementarios, garantizando así una comprensión más exhaustiva de la geología regional.
- Modificar la planificación de los taludes según las fluctuaciones de resistencia detectadas en el mapa, garantizando así la estabilidad adecuada durante las operaciones de extracción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bibliografía

- Aedo Sanhueza, L. (2007). *Predicción de resistencia a la carga puntual y RQD mediante KRIGING ordinario en la mina Cerro Colorado*. Santiago de Chile : Universidad de Chile.
- Baroja Llanos, D., Mejía Romo, D., Cevallos Ramírez, Á., & Puetate Huera , G. (2020). *Sistemas de información geográfica, aplicaciones y ejercicios con ArcGis*. Ibarra: PUCE.
- Bedoya, A. M. (1961). *dspace*. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/17951/1/EI%20Cojitambo.pdf>
- Bristow, C. (1973). *Guide to the Geology of the Cuenca Basin, Ecuadorian Geological and Geophysical Society*. Quito: 54, p.
- Continental, U. (2007). *Mecánica de Roca I*. Perú.
- Díaz Rodenas, G., & Burgos Rodríguez, L. (2022). *IMPLEMENTACIÓN DE SOFTWARE DE PLANIFICACIÓN MINERA PARA AUMENTAR ESPECTRO DE ALTERNATIVAS DE PLANES DE CORTO PLAZO*. Santiago de Chile: UNIVERSIDAD DE CHILE.
- Gonzales, A. O., & Pozo, A. R. (12 de 2015). *Inestabilidad del terreno en zonas urbanas de Zaruma y Portovelo*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/324507378_Inestabilidad_del_terreno_en_zonas_urbanas_de_Zaruma_y_Portovelo_Ecuador_Factores_condicionantes_y_desencadenantes

- Kahraman, J. (1994). Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 38, 981.
- Manual de Residuos Industriales Mineros. (2015). Granulometria en porcentaje de paso de malla.
- Ramírez Medina, D. (2018). *Estudio de viabilidad de la mina de carbón a cielo abierto La Margarita en Ttiribí*. Colombia: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energías.
- Restrepo, I. (2013). *Correlación de la resistencia a compresión uniaxial con la humedad y porosidad eficaz en rocas de una cantera del sur occidente colombiano*. Santiago de Cali : Universidad del Valle.
- Rodriguez, R. (2012). *Mecánica de Rocas*. Obtenido de Obtenido de Universidad Nacional de Cajamarca: :
<https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=dW5jLmVkdS5wZXxvc>
- Steinmann, M. (1999). *Neogene tectonic evolution and exhumation of the souther Ecuadorian Andes*. *Tectonophysics*, 307, pp 255-276.

ANEXOS

Anexo 1: Muestras en el cerro Cojitambo



Anexo 2: Probetas luego de ser recortadas

