



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS

“Comparación de las correlaciones teóricas del I_s (₅₀) y la RCS con las resultantes de ensayos de roca andesítica del Cojitambo”

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERA EN MINAS

Autoras:

LISSETH CAROLINA MUÑOZ PUGO

GUADALUPE LEONOR ZUMBA CHUNCHI

Director:

ING. ERNESTO PATRICIO FEIJOO CALLE

CUENCA, ECUADOR

2023

DEDICATORIAS

El presente proyecto va dedicado con todo mi amor a toda mi familia. Principalmente a mis padres Orlando y Leonor, ya que han sido ellos junto con Dios, quienes me han apoyado y guiado en los momentos buenos y malos. Gracias a ellos quienes me han enseñado a no rendirme y seguir adelante con dedicación, respeto, y honestidad. Además, gracias al consejo que me dio mi padre en sus últimos días junto a mí, las que me alentaron a no decaer y seguir adelante hasta poder culminar mis estudios.

También quiero dedicarles el presente trabajo a mis hermanos Antonio, Carmen, María y Lenin. Por su apoyo, paciencia y amor que me dieron junto con mi madre, cuando mi padre partió de este mundo, fueron ellos quienes juntaron todo su amor y esfuerzo para ayudarme a cumplir con mis sueños, objetivos y cumplir el esfuerzo y sueño de mis padres.

Además, quiero dedicarles a mis amigas Emily y Lisseth por ayudarme y apoyarme en el transcurso universitario.

Guadalupe Leonor Zumba Chunchi

Dedico con todo mi corazón el presente trabajo de titulación a mis padres Segundo y Patricia que, con su amor, apoyo, dedicación y mucho esfuerzo han logrado que pueda concluir con mis estudios, y por siempre estar en cada una de las etapas de mi vida estudiantil. A mis hermanas Alexandra, Fernanda y Jordana, por siempre apoyarme, y alentarme a no rendirme. A mi abuelita Leonor y mi tío Carlos que con sus consejos me ha enseñado muchas cosas vitales para la vida y motivado a conseguir mis anhelos.

De manera especial a mis amigas Guadalupe, Emily y Andrea ya que siempre han estado prestas a ayudarme en lo que necesite de manera desinteresada, y por compartir buenos momentos a lo largo del camino universitario.

Lisseth Carolina Muñoz Pugo

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a Dios, por permitirme nacer en un hogar con amor, por darme la oportunidad de seguir adelante en mi vida profesional y por no soltar mi mano. Le agradezco a mis padres Orlando y Leonor, que siempre me guiaron y me dieron su apoyo incondicional para seguir adelante y cumplir con mis objetivos personales y académicos. Ellos son quienes con su amor me impulsaron, desde que era una niña, a no darme por vencida, y, buscar opciones para seguir adelante y enfrentar las dificultades que nos presenta la vida. Además, son ellos que con su gran esfuerzo y cariño me han brindado el soporte emocional, material y económico para concentrarme en mis estudios y cumplir uno de mis más anhelados deseo.

Agradezco a mi tutor, Ingeniero Patricio Feijoo, porque sin su apoyo, paciencia y consejos, este trabajo no lo hubiese podido concluir. Su orientación y sus lecciones me ayudaron a desarrollar con claridad y confianza el presente proyecto. Muchas gracias por apoyarnos y darnos la oportunidad a mi compañera de trabajo y a mi persona, hacer realidad nuestros objetivos y el de nuestros padres. De igual manera, quiero agradecer a la Universidad del Azuay y a la Facultad de Ciencia y Tecnología por darme la oportunidad de formarme en sus aulas, gracias a todos mis maestros quienes fueron los responsables de transmitirme sus conocimientos para poder desempeñarme en la vida laboral.

Guadalupe Leonor Zumba Chunchi

Primeramente, quiero agradecer a Dios por permitirme llegar a donde estoy, por darme sabiduría y fortaleza, del mismo modo quiero agradecer a mis padres ya que han sido un pilar fundamental de mi crecimiento, siempre dándome sus consejos y cariño para ser una persona que no se rinde. Quiero agradecer a mis amigos que siempre han estado tanto en momentos buenos como en los difíciles, gracias por su cariño y apoyo.

Agradezco a mis profesores por transmitir sus conocimientos, cada uno con una metodología diferente, pero llegando al punto de aprender. De manera especial quiero agradecer a mi tutor de tesis Ing. Patricio Feijoo, por guiarme en el desarrollo de este proyecto.

Liseth Carolina Muñoz Pugo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIAS	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	2
ASPECTOS GENERALES Y MARCO TEÓRICO	2
1. Marco geológico.....	2
1.1. Génesis de la muestra.....	2
1.2. Geología Regional.....	3
1.3. Geología Local.....	4
1.4. Material rocoso presente en la zona de estudio.....	6
1.4.2. Características de la andesita.....	6
1.4.3. Posición de la andesita en el diagrama QAPF.....	7
1.4.4. Uso de la andesita.....	8
1.5. Conceptos previos	8
1.6. Índice de carga puntual	16
1.7. Resistencia a la compresión simple.....	24
CAPITULO 2	27
EXPERIMENTACIÓN	27
2. Proceso	27
2.1. Obtención de las muestras.....	27
2.2. Preparación de las muestras	28
2.3. Obtención de las medidas reales de las probetas.....	30
2.4. Enumeración de las muestras	30
2.5. Determinación del índice de carga puntal	31

2.6.	Índice de carga puntual obtenidas en los ensayos de laboratorio.....	33
2.7.	Determinación de la resistencia a la compresión simple.....	36
2.8.	Resistencia a la compresión simple obtenidas en los ensayos de laboratorio....	38
2.9.	Correlación del $I_{s(50)}$ y la RCS	41
CAPITULO 3		47
ANÁLISIS RESULTADOS		47
3.	Proceso	47
3.1.	Correlaciones entre el Índice de carga puntual ($I_{s(50)}$) y la resistencia a la compresión simple (RCS).....	47
3.1.1.	Correlación N°1	47
3.1.2.	Correlación N°2.....	47
3.1.3.	Correlación N°3.....	47
3.2.	Correlación de diferentes autores	47
CONCLUSIONES		52
RECOMENDACIONES		53
BIBLIOGRAFÍA		54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Mapa de ubicación de la zona de estudio.....	3
Figura 1. 2 Geología cantón Azogues.	4
Figura 1. 3 Geología del área de estudio.	5
Figura 1. 4. Diagrama QAPF de la Andesita.....	8
Figura 1. 5 Ejemplo de Macizo rocoso.....	9
Figura 1. 6 Ejemplo de Matriz rocosa.	10
Figura 1. 7 Ejemplo de un macizo rocoso con sus discontinuidades.	10
Figura 1. 8 Ciclo litológico de las rocas.....	13
Figura 1. 9 Tipos de probetas y direcciones de carga: a) Diametral, b) Axial, c) Bloque y d) Irregular.	17
Figura 1. 10 Modos más comunes de fallas para muestras validas e invalidas.....	18
Figura 1. 11 Grafico del factor de corrección por tamaño de roca (F).....	20
Figura 1. 12 Grafica para determinar el P(50).....	21
Figura 1. 13 Prensa Franklin.	22
Figura 1. 14 Componentes de la prensa de Franklin.	23
Figura 1. 15 Grafica de esfuerzo y deformación.	25
Figura 1.16 Clasificación de la roca en base a la resistencia a la compresión simple.	25
Figura 1.17 Maquina Humbolt	26
Figura 2 1 Área de recolección de las muestras.	27
Figura 2 2 Dimensiones de una muestra del grupo N°1.....	28

Figura 2 3 Dimensiones de una muestra del grupo N°2.....	29
Figura 2 4 Dimensiones de una muestra del grupo N°3.....	29
Figura 2 5 Numeración de muestras. a) Probeta de 5cm x 5cm x 5cm numerada, b) Probeta de 5cm x 5cm x 10cm numerada, c) Probeta de 5cm x 10cm x 10cm numerada.	30
Figura 2.6 Correlación entre el $I_s(50)$ y la RCS de 30 muestras con dimensiones de 5cm x 5cm x 5cm.	42
Figura 2.7 Correlación entre el $I_s(50)$ y la RCS de 30 muestras con dimensiones de 5cm x 5cm x 10cm.	44
Figura 2.8 Correlación entre el $I_s(50)$ y la RCS de 30 muestras con dimensiones de 5cm x 10cm x 10cm.	46
Figura 3. 1 Correlaciones entre el $I_s(50)$ y la RCS de 18 autores.	50
Figura 3. 2 Correlaciones entre el $I_s(50)$ y la RCS que son semejantes a la correlación número 2.	51
Figura 3. 3 Correlación entre el $I_s(50)$ y la RCS que se asemejan a la correlación número 3.	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1 Propiedades de la Andesita.....	7
Tabla 1. 2 Requisitos geométricos de las probetas para el ensayo de carga puntual.....	17
Tabla 2. 1 Dimensiones específicas de los diferentes grupos de muestras de andesita con sus respectivas dimensiones, obtenidas en el sector de Cojitambo.	28
Tabla 2. 2 Modelo de tabla usada en Excel 2019 para determinar el $I_{s(50)}$	33
Tabla 2. 3 Índice de carga puntual de las muestras con dimensiones 5cm x 5cm x 5cm..	33
Tabla 2. 4 Índice de carga puntual de las muestras con dimensiones 5cm x 5cm x 10cm.	34
Tabla 2. 5 Índice de carga puntual de las muestras con dimensiones 5cm x 10cm x 10cm.	35
Tabla 2. 6 Modelo de tabla usada en Excel 2019 para determinar el RCS.....	37
Tabla 2. 7 Resistencia a la compresión simple (RCS) de las muestras con dimensiones 5cm x 5cm x 5cm.	38
Tabla 2. 8 Resistencia a la compresión simple (RCS) de las muestras con dimensiones 5cm x 5cm x 10cm.	39
Tabla 2. 9 Resistencia a la compresión simple (RCS) de las muestras con dimensiones 5cm x 5cm x 5cm.	40
Tabla 2. 10 Datos obtenidos del $I_{s(50)}$ y la RCS para realizar la primera propuesta de correlación.	41
Tabla 2. 11 Datos obtenidos del $I_{s(50)}$ y la RCS para realizar la segunda propuesta de correlación.	43

Tabla 2. 12 Datos obtenidos del $I_s(50)$ y la RCS para realizar la tercera propuesta de correlación. 45

Tabla 3. 1 Descripción de las correlaciones entre el $I_s(50)$ y la RCS de diferentes autores. 48

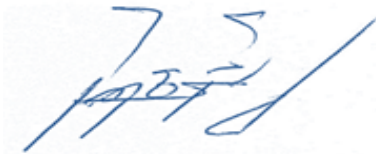
Tabla 3. 2 Resultados de las comparaciones de correlaciones obtenidas en los ensayos de laboratorio con las correlaciones de diferentes autores. 49

**COMPARACIÓN DE LAS CORRELACIONES TEÓRICAS DEL I_s (50) Y LA RCS
CON LAS RESULTANTES DE ENSAYOS DE ROCA ANDESÍTICA DEL
COJITAMBO**

RESUMEN

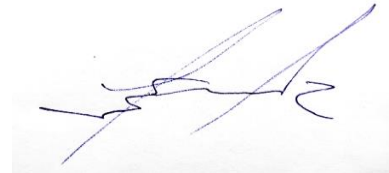
El presente proyecto tuvo como objetivo determinar correlaciones entre el índice de carga puntual (I_s (50)) y la resistencia a compresión simple (RCS) de andesita. La cantidad total de muestras tomadas en campo permitieron la elaboración de 180 probetas, distribuidas en 3 grupos de 60 cada uno. El primer grupo es de dimensiones 5cm x 5cm x 5cm, el siguiente grupo de 5cm x 5cm x 10cm y el tercer grupo de 5cm x 10cm x 10cm. Cada grupo de 60 probetas, delimitado por sus dimensiones, se dividió en dos subgrupos, 30 para el ensayo de carga puntual y 30 para el ensayo de resistencia a la compresión simple. Al obtener la fuerza de rotura de todas las probetas se pudo determinar el I_s (50) y la RCS, así mismo establecer tres correlaciones, las cuales fueron expresadas por medio de ecuaciones.

Palabras clave: Correlación, índice de carga puntual, resistencia a la compresión simple.



Ing. Ernesto Patricio Feijoo Calle

Director del Trabajo de Titulación



Ing. Leonardo Aníbal Núñez Rodas

Coordinador de Escuela



Lisseth Carolina Muñoz Pugo

Autora



Guadalupe Leonor Zumba Chunchi

Autora

COMPARISON OF THE THEORETICAL CORRELATIONS OF THE IS₍₅₀₎ AND THE RCS WITH THOSE RESULTING FROM ANDESITIC ROCK TESTS OF COJITAMBO

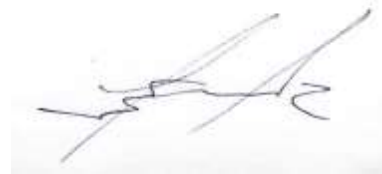
ABSTRACT

The objective of this project was to establish correlations between the point load index (Is₍₅₀₎) and simple compression strength (RCS) of andesite. For which samples of the aforementioned rock were collected in the sector called Cojitambo. The total amount of samples collected in the field allowed the elaboration of 180 specimens, distributed in three groups conformed by 60 samples each. The first group dimensions was 5 cm x 5cm x 5cm, the second group 5cm x 5cm x 10cm and the third one 5cm x 10cm x 10cm. Each group contained 60 samples delimited by their own dimensions, it was splitted up in two subgroups, 30 for the point load index test and 30 more for simple compression strength test. By obtaining the resistance to breakage of all the samples, it was possible to determine the Is₍₅₀₎ and the RCS. In addition, three correlations were established, which were expressed by means of equations.

Keywords: Correlation, point load index, simple compressive strength.



Ing. Ernesto Patricio Feijoo Calle
Director of the Degree Project



Ing. Leonardo Aníbal Núñez Rodas
Coordinator of the School

Translated by:



Lisseth Carolina Muñoz Pugo
Author



Guadalupe Leonor Zumba Chunchi
Author



Lisseth Carolina Muñoz Pugo

Guadalupe Leonor Zumba Chunchi

Trabajo de Titulación

Ing. Ernesto Patricio Feijoo Calle

Junio, 2023

COMPARACIÓN DE LAS CORRELACIONES TEÓRICAS DEL $IS_{(50)}$ Y LA RCS CON LAS RESULTANTES DE ENSAYOS DE ROCA ANDESÍTICA DEL COJITAMBO

INTRODUCCIÓN

La minería es una de las actividades que se fundamenta en el proceso de extracción, explotación y aprovechamiento de minerales que se encuentran en forma de yacimientos dentro o fuera de la corteza terrestre. En la práctica minera es de suma importancia realizar estudios de mecánica de rocas que nos permitirán saber el comportamiento de la matriz rocosa y la conducta de la roca in-situ de un proyecto para evitar contratiempos en las labores futuras.

La mecánica de rocas se basa en el estudio de fuerzas o cargas que son aplicadas a las rocas y en el análisis de las deformaciones y la energía almacenada en un macizo rocoso. Una de las características más importantes que se analizan en la mecánica de rocas es la resistencia a la compresión simple (RCS) y el índice de carga puntual ($IS_{(50)}$) de una roca, los cuales son parámetros que permiten determinar la rigidez del macizo rocoso. Para la estimación de la RCS y el $IS_{(50)}$ existen varios métodos que pueden ser realizados en laboratorios o en campo.

En el presente proyecto se procedió a realizar ensayos del índice de carga puntual y de resistencia a la compresión simple de roca andesita de 180 muestras, de las cuales se agruparon en 3 grupos de 60 muestras, y estas a su vez se subdividieron en 2 grupos de 30 muestras que fueron formadas según sus dimensiones. Los ensayos de todas las muestras se realizaron por medio de la máquina Humboldt y la prensa de Franklin, que se encuentran en los laboratorios de la universidad del Azuay, donde se obtuvo la fuerza de ruptura de las rocas. Al obtener los valores se procedió a realizar una correlación entre el $IS_{(50)}$ y la RCS. Además, con las correlaciones obtenidas se pudo comparar con correlaciones de 18 autores que han determinado el $IS_{(50)}$ y la RCS.

CAPÍTULO 1

ASPECTOS GENERALES Y MARCO TEÓRICO

1. Marco geológico

1.1. Génesis de la muestra

El área de investigación es el Cerro de Cojitambo el cual está ubicado en la parroquia de Cojitambo, cantón de Azogues, provincia del Cañar, a una altura de 3076 m.s.n.m. El cerro Cojitambo está limitado al norte por el cantón Biblián, al sur por la parroquia Javier Loyola, al este por la ciudad de Azogues y al oeste por el cantón Déleg. En la parte oeste de la zona de estudio se encuentra también el complejo arqueológico “Cojitambo” con una extensión de alrededor de 50 hectáreas, el cual se caracteriza por poseer rocas andesitas (GAD PARROQUIA DE COJITAMBO, 2020).

El relieve del cerro Cojitambo en su mayoría cuenta con fondos de cuencas interandinas sin cobertura piroclástica. Y se observa pendientes en un rango de 12 - 25%, es decir que el piso climático es favorable para el desarrollo de la agricultura y ganadería.

En la parroquia se puede encontrar 4 tipos de relieve como son: relieve escarpado con un área de 2,41km, vertientes convexas con 4,53 km de área, las vertientes cóncavas con 10,45 km y las vertientes irregulares que cuentan con un área de 1,66 km, teniendo un área total 19,06 k (GAD PARROQUIA DE COJITAMBO, 2020) .

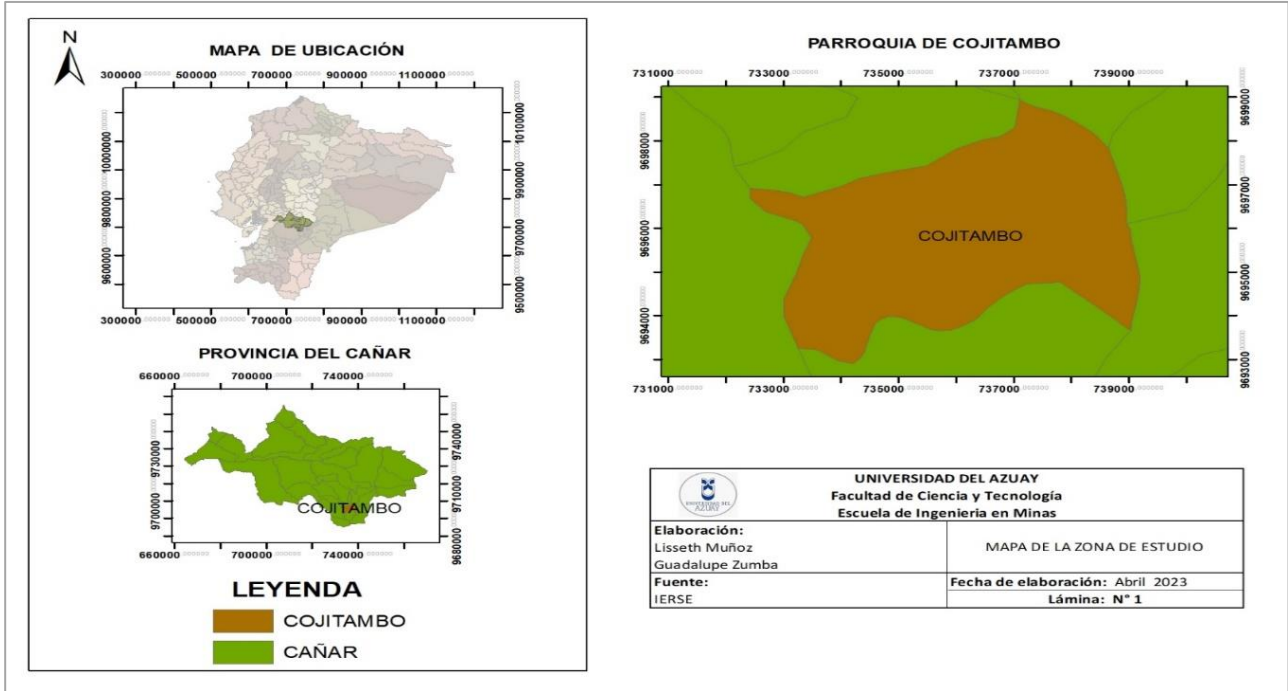


Figura 1. 1 Mapa de ubicación de la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

1.2. Geología Regional

El cantón Azogues, donde se ubica el área de estudio, es la capital perteneciente a la provincia del Cañar. Esta ciudad es conocida como San Francisco de Peleusi de Azogues. Es denominada Azogues debido a que prevalecen las minas de mercurio o “Azogue” que se encuentra en la zona (Parlamento Andino, 2022).

Azogues se caracteriza por poseer varias formaciones tales como la formación Yunguilla, Tarqui, Biblia, entre otras. De la misma manera, dicha ciudad posee una gran variedad de litología, una de ellas es la lava andesita, arenisca, arcilla, travertina, entre otros.

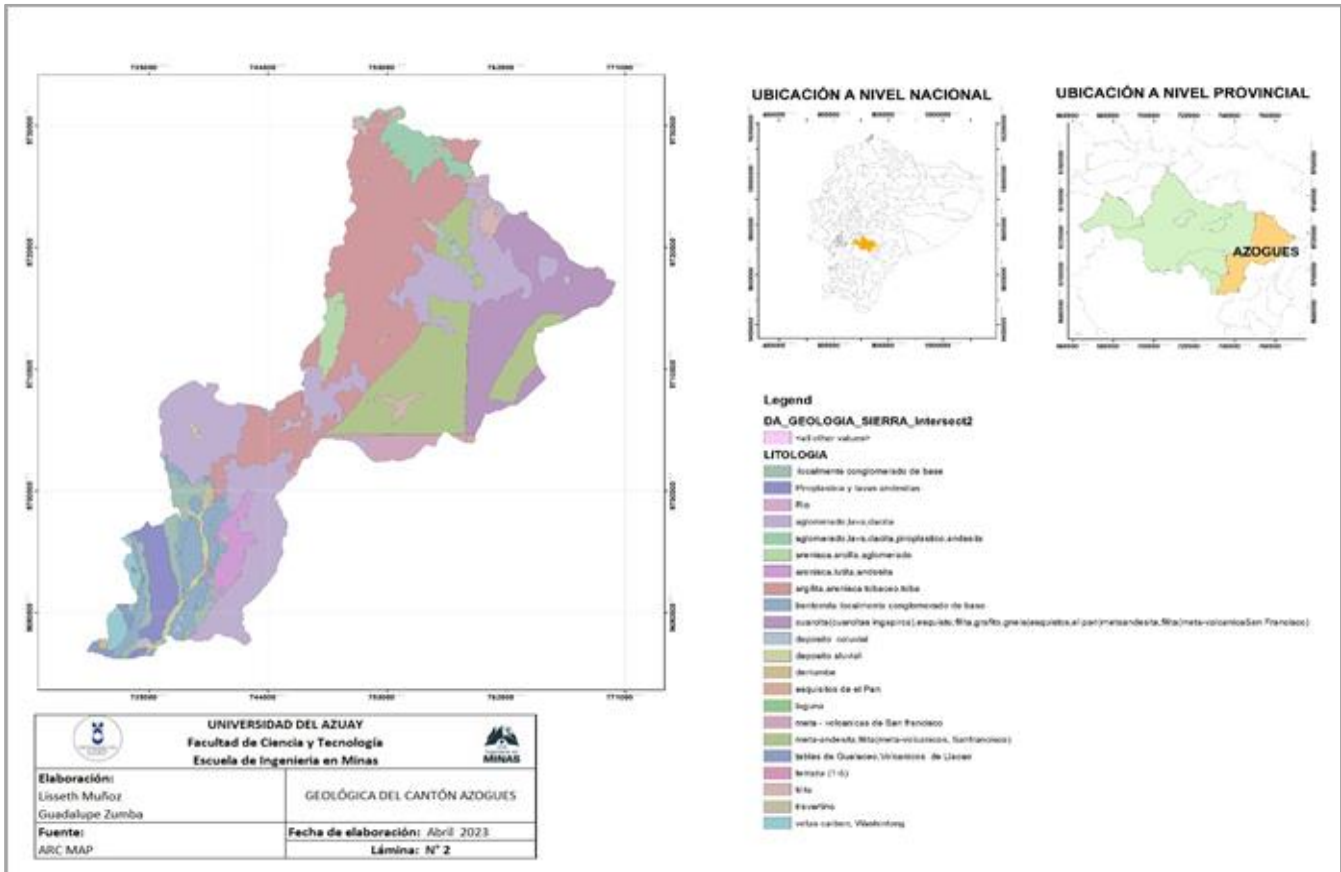


Figura 1. 2 Geología cantón Azogues.

Fuente: Elaboración propia.

1.3. Geología Local

El cerro de Cojitambo se lo considera un imponente cerro de los Andes, que destaca por su imponente estructura y por su altitud que sobrepasa los 3000 m.s.n.m, el cual se sitúa en medio de un relieve homogéneo y con elevaciones de poca altura. El perfil cortado en caída vertical de la parte oriental del montículo lo caracteriza aún más, ya que aparenta ser la mitad de un volcán. Esta forma tan particular del Cojitambo se originó por una serie de hundimientos y derrumbes propios de la formación Areniscas de Azogues, la cual está compuesta por arcillas pizarrosas en descomposición y en constante metamorfosis (Idrovo, 2021).

En la actualidad el cerro de Cojitambo figura como una formación de roca volcánica, que se levanta en medio de las areniscas de Azogues. La cual, hace millones de años, perdió su apoyo cuando se dio un hundimiento de las capas de formación sedimentaria, dando como

resultado un derrumbe de la pared suroriental del cerro. Teniendo como resultado, la dispersión de enormes bloques de andesita, que rodaron hacia los pies del Cojitambo y pequeñas cantidades de bloques que habría rodaron hacia las cercanías del pueblo de Chuquipata, a algunos kilómetros al Suroriente del lugar (Idrovo, 2021).

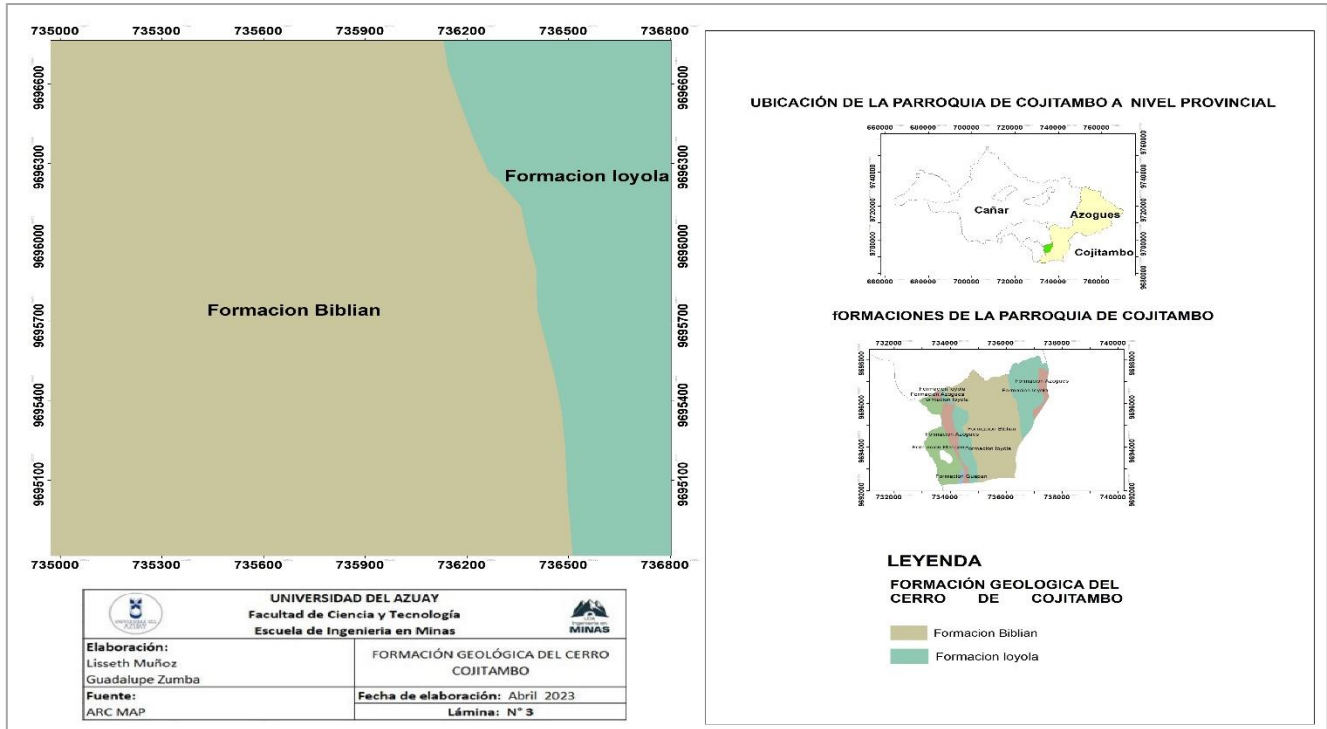


Figura 1. 3 Geología del área de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

1.3.1. Formación geológica del área de estudio

El cerro de Cojitambo posee dos tipos de formaciones geológicas conocidas como la formación Biblia y la formación Loyola, pertenecientes a la edad del Mioceno.

- **Formación Biblian**

Constituye uno de los primeros sedimentos continentales importantes del Terciario, el cual está formado por lutitas laminadas claras, con yeso. Localmente pose arenisca y conglomerados basales comprendido de arcillas y limolitas (GAD de la parroquia de Cojitambo, 2019).

- **Formación Loyola**

Se identifica como una formación que posee muchos fósiles y fauna de moluscos. Su litología está constituida por limolitas, lutitas, arenisca de grano fino interstratificadas, lutitas con vetas de carbón, areniscas de grano grueso y conglomeráticas las cuales se caracterizan por tener una coloración amarillenta cuando ya se meteoriza, pero cuando se encuentra sin ningún cambio son de color negro café (GAD de la parroquia de Cojitambo, 2019).

1.3.2. Edad del Mioceno de la formación Biblian y Loyola

La edad del mioceno hace referencia a la división de la escala de tiempo geológico, la cual hace referencias a su origen que fue hace 23 millones de años y finalizó hace 5 millones de años. Su nombre proviene de dos palabras griegas *meōn* que significa “menos” y *kainos* “nuevo”, significando así “menos nuevo” ya que presenta un 18% menos de invertebrados marinos modernos que la edad del plioceno (Carrasquilla, 2012).

1.4. Material rocoso presente en la zona de estudio

1.4.1. Andesita

La andesita se le denomina así debido a que yace a lo largo del cinturón de fuego del Pacífico, y la segunda roca más común en la corteza terrestre, a esta roca se le asocia con los volcanes activos ya que se forma a partir del enfriamiento rápido del magma y no permite que se cristalice bien. La andesita se encuentra dentro de las rocas ígneas, que están compuestas de minerales máficos y félsicos; y se le considera de composición intermedia (Universidad de Alicante, 2020).

1.4.2. Características de la andesita

- Tienen texturas porfídicas o vitrofíricas.
- Los fenocristales proporcionan un registro de una parte de la historia evolutiva.
- El índice de color varía por lo general de 20 a 40, estando en el rango de intermedias.

- Principalmente esta constituidos por piroxeno, plagioclasa y hornblenda (Universidad de Alicante, 2020).

Tabla 1. 1 Propiedades de la Andesita.

Andesita	Propiedades
Tipo de roca	Extrusiva (volcánica), Subvolcánica
Color	Gris claro, gris oscuro, a veces verdoso
Textura volcánica	Afanítica (microcristalina), vesicular
Textura subvolcánica	Porfídica
Grado de cristalinidad	Holocristalina
Densidad o pesos específico	2.65 a 2.7 gr/cm ³
Composición química	Del 52 al 63 % de sio ₂
Quimismo	Roca intermedia
Dureza de Mohs	Menor a 6
Origen y formación	Volcánico, magmático
Ambiente geológico	Magmático, volcánico

Fuente: (Maldonado, 2021).

1.4.3. Posición de la andesita en el diagrama QAPF

El diagrama QAFP o Streckeisen se utiliza para la clasificación de las rocas ígneas, donde se puede obtener la composición de la roca incluso bajo microscopio óptico, donde los componentes principales de las rocas ígneas son:

- Cuarzo
- Feldespato potásico
- Plagioclasas

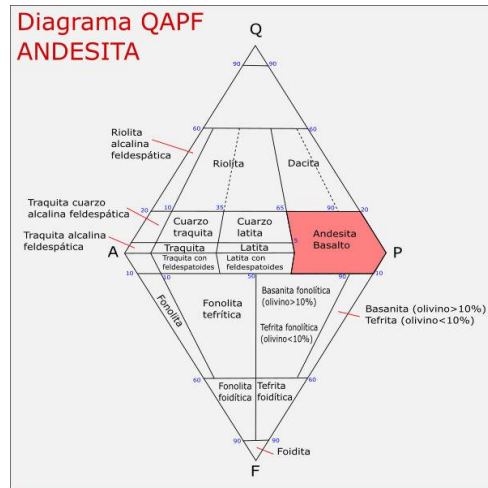


Figura 1. 4. Diagrama QAPF de la Andesita.

Fuente: (Maldonado, 2021).

1.4.4. Uso de la andesita

Para saber en qué se puede utilizar la andesita se necesita realizar ensayos geoquímicos para determinar el contenido y composición de los minerales en la roca, además de análisis de las propiedades físicas, así como mecánicas que establezcan las condiciones de estabilidad, deformación y resistencia (Cuello et al., 2019).

Algunos usos son:

- Material para construcción
- Agregado pétreo en producción de concreto
- Como una roca ornamental
- Producción de cerámicas

1.5. Conceptos previos

1.5.1. Caracterización de las rocas

La litología se define como parte de la geología ya que estudia las características de las rocas, tales como el comportamiento, tamaño de grano y partículas, características físicas y químicas, etc. (Zaid, 2021; Santiago, 2007).

Así pues, es de gran importancia diferenciar entre suelo y roca.

Suelo

Se conoce como suelo al material compuesto por partículas sólidas y poros rellenos de agua o aire, sin o con poca cementación. Un suelo se origina por la alteración de las rocas y sobre el cual se desarrolla la mayor parte de la actividad humana y biológica (Alejano y Ramírez, 2004).

Roca

Una Roca es un agregado natural sólido formado por uno o varios minerales, que ocupan grandes extensiones de la corteza terrestre. Sin embargo, en el ámbito de la mecánica de rocas se define como roca o roca intacta a un elemento conocido como probeta, bloque o trozo de roca que no presenta discontinuidades observables (Alejano y Ramírez, 2004).

1.5.2. Ámbitos de estudio de una roca según la Mecánica de rocas

1.5.2.1. Macizo rocoso

Es el conjunto de matriz rocosa y discontinuidades que se caracteriza por poseer propiedades heterogeneas, comportamiento discontinuo y normalmente son anisotropo (Alonso, 2022).



Figura 1. 5 Ejemplo de Macizo rocoso.

Fuente: (Maldonado, 2020).

1.5.2.2. Matriz rocosa

Una matriz rocosa, roca matriz o roca intacta es un material rocoso que no posee discontinuidades. Este material se caracteriza por su densidad, deformabilidad, resistencia, localización geográfica y por su litología, ya sea única o variada (Alonso, 2022).



Figura 1. 6 Ejemplo de Matriz rocosa.

Fuente: (Arcia, 2021).

1.5.2.3. Discontinuidades

Es cualquier plano, ya sea de origen mecánico o sedimentario, que se encuentra en un macizo rocoso, con una resistencia a la tracción muy baja o nula (Alonso, 2022).



Figura 1. 7 Ejemplo de un macizo rocoso con sus discontinuidades.

Fuente: (Campos et al., 2021).

1.5.3. Tipos de rocas

En el planeta se tiene un sin número de rocas, cada una con una característica diferente a la otra, por ejemplo, una roca puede ser de un solo color o puede tener varios colores, puede ser rugosa o lisa, o también puede ser maciza o ahuecada. La apariencia de una roca es muy importante para saber su composición y su origen (Meredith, 2012).

De acuerdo a su origen las rocas se dividen en tres tipos: ígneas, sedimentaria, y metamórfica. cada una posee un proceso de formación diferente.

1.5.3.1. Rocas ígneas

La palabra Ígnea proviene del latín ignius que significa fuego. Las rocas ígneas generalmente se originan a partir del magma, el cual está formado principalmente por roca fundida, gases disueltos y cristales en suspensión. Su clasificación se deriva en base a conceptos químicos, el cual hace referencia a la composición del magma, o por medio de conceptos geológicos (Antola et al., 2017; Alvarado, 1990).

Concepto geológico

Citando a Alvarado (1990) el concepto geológico hace referencia a la clasificación según el lugar de enfriamiento, entre los cuales se distinguen, las rocas plutónicas o intrusivas y rocas volcánicas o extrusivas.

Las rocas intrusivas se originan cuando el magma se transporta hacia arriba de la corteza y a medida que asciende se va enfriando dando origen a la cristalización fraccionada de los minerales las cuales formaran las rocas ígneas intrusivas. Mientras que las rocas extrusivas se forman al momento en que la lava se derrama sobre la superficie de la corteza terrestre, por lo que, al momento en que fluye el magma se enfría rápidamente por la exposición a la temperatura del ambiente (Antola et al., 2017).

Concepto químico

Hace referencia a la clasificación de la roca según su composición química. Esta distribución depende de la acidez del magma, el cual es rico en sílice (SiO₂). De acuerdo a la composición química las rocas se dividen en ultramáficas, máficas, intermedias y félsicas (Antola et al., 2017; Lutgens y Tarbuck, 2005).

1.5.3.2. Rocas sedimentarias

Las rocas sedimentarias son las que se originan por el depósito de material detrítico o por la precipitación química u orgánica de material disuelto. Este proceso se da desde la desintegración de rocas preexistentes, producto de los agentes erosivos, para luego transportar el material, ya sea por el viento, glaciares, corrientes de agua o coladas de barro, y finalmente se produce la sedimentación, en la cual se depositan capas de sedimento por decantación física sobre los que actúa un proceso de diagénesis (Enzo et al., 2015).

Las rocas sedimentarias se clasifican en dos grupos: las rocas clásticas y las químicas.

Clásticas: son rocas formadas por el depósito y consolidación de materiales que han sido generados por la alteración mecánica de otras rocas que han sufrido la acción de agentes externos. Las rocas clásticas pueden estar conformadas por una fracción detrítica principal, enlazada por una fracción detrítica de menor tamaño y/o unidos a una precipitación química de alguna sustancia mineral (Enzo et al., 2015).

Químicas: este tipo de rocas se dan por la precipitación química de sustancias minerales, en forma de cristales, a partir de soluciones acuosas saturadas. En las rocas químicas los cristales están consolidados entre sí por uniones químicas. En relación a su composición química o mineralógica las rocas químicas se clasifican en rocas carbonáticas, silíceas, ferríferas y evaporitas (Enzo et al., 2015).

1.5.3.3. Rocas metamórficas

El metamorfismo es el cambio o transformación de una roca en otra, es decir, el metamorfismo es el cambio de un proceso. Un proceso que genera cambios en la mineralogía, textura y por lo general en la composición química de las rocas. Las rocas metamórficas se originan a partir de las rocas ígneas, sedimentarias o incluso desde otras rocas metamórficas. Por lo que todas las rocas metamórficas poseen una roca madre, es decir, la roca de la cual se originó (Lutgens y Tarbuck, 2005).

El metamorfismo de este tipo de rocas se da cuando la roca se somete a un ambiente físico o químico diferente al de su lugar de origen. Sus cambios se dan por la temperatura, presión y la introducción de fluidos químicamente activos. Al estar expuesta la roca a sus nuevas

condiciones, la roca va cambiando gradualmente hasta llegar a un estado de equilibrio con el nuevo ambiente (Lutgens y Tarbuck, 2005).

Ambientes donde se da el metamorfismo

El metamorfismo generalmente se da en tres ambientes:

1. **En el metamorfismo térmico o de contacto:** Se da un cambio que está controlado por el aumento de temperatura dentro de la roca huésped que rodea una roca ígnea intrusiva (Lutgens y Tarbuck, 2005).
2. **Metamorfismo hidrotermal:** Se caracteriza por las alteraciones químicas que se dan cuando el agua caliente y rica en iones circula por medio de las fracturas de las rocas (Lutgens y Tarbuck, 2005).
3. **El metamorfismo regional:** Se da durante la formación de montañas, cuando grandes cantidades de rocas enterradas a grandes profundidades están sometidas a presiones dirigidas y a temperaturas elevadas (Lutgens y Tarbuck, 2005).

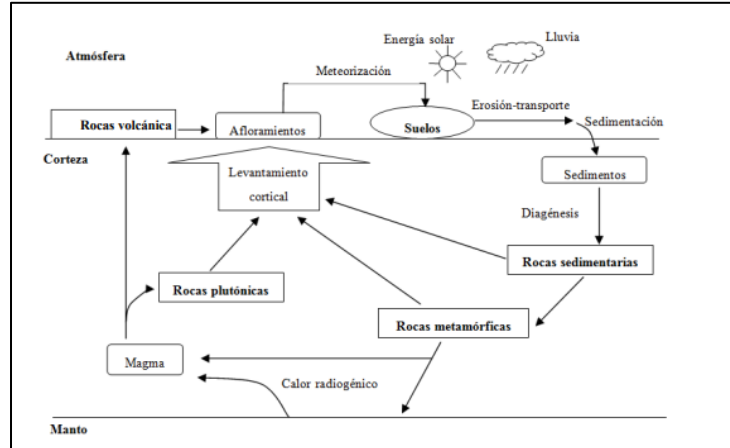


Figura 1. 8 Ciclo litológico de las rocas.

Fuente: (Gisbert J, et al.,2023).

1.5.4. Propiedades de las rocas

Las rocas se caracterizan por medio de ciertas propiedades, tales como: la humedad, densidad, grado de saturación, porosidad y permeabilidad.

Humedad

La humedad de una roca se define como la relación entre la masa de agua presente en la roca, que se evapora a 110° de temperatura y la masa de muestra seca (Alejano y Ramírez, 2004).

El parámetro definido se expresa como:

$$H = \frac{m_H}{m_s} * 100 \quad (1)$$

Donde

H: porcentaje de humedad

m_H : masa de agua presente en la muestra

m_s : masa de roca seca

Densidad

Para poder determinar el factor de densidad de una roca, es importante diferenciar entre la densidad natural y la densidad seca (Alejano y Ramírez, 2004).

○ Densidad natural

La densidad natural o también conocida como densidad húmeda es la correlación entre la masa de un fragmento de roca en estado natural y su respectivo volumen que ocupa (Alejano y Ramírez, 2004).

La densidad húmeda se la expresa, por medio de la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2)$$

Donde:

ρ : es la densidad natural

m : masa de la muestra

v : volumen de la muestra

○ **Densidad seca**

Se tiene una densidad seca cuando una porción de roca se seca en una estufa a una temperatura de 110° (Alejano y Ramírez, 2004). La densidad seca se la formula de la siguiente manera:

$$\rho = \frac{m_s}{v_s} \quad (3)$$

Donde:

ρ : densidad seca

m : masa seca

v : volumen seco

Grado de saturación

Se define como grado de saturación al porcentaje de poros que es ocupado por el agua (Alejano y Ramírez, 2004). Este parámetro se lo expresa como:

$$S_r = \frac{V_H}{V_P} * 100 \quad (4)$$

Donde:

S_r : grado de saturación

V_H : volumen ocupado por el agua

V_P : volumen total de los poros

Porosidad

La porosidad de las rocas relaciona el volumen de poros expresados en tanto por ciento del volumen total (Alejano y Ramírez, 2004).

$$n = \frac{V_P}{V} * 100 \quad (5)$$

Donde:

n: porosidad

V_P : volumen de los poros

V: volumen total

Cabe recalcar que los poros pueden ser observados a simple vista como también pueden ser vistos con un microscopio; tal es el ejemplo de las areniscas que tienen sus poros que pueden visualizar a simple vista y por otro lado se tiene a los granitos los cuales tienen una porosidad que deben ser observados por medio de un microscopio (Alejano y Ramírez, 2004).

1.6. Índice de carga puntual

1.6.1. Ensayo de Carga puntual

Point Load Test (PLT) o ensayo de Franklin son los nombres con los cuales se le conoce al ensayo de carga puntual, debido a que Franklin fue quien normalizó dicho ensayo. La primera referencia fue desarrollada por Reichmuth (1963), el cual definió el ensayo completo para probetas de varias formas y tamaños (Galván, 2015).

Según Galván (2015) el ensayo de Franklin, además de obtener la resistencia a la carga puntual, se lo puede aplicar para determinar la resistencia a compresión simple de fracciones irregulares de roca o testigos cilíndricos de sondeo. No obstante, cabe recalcar que el ensayo no puede ser utilizado para rocas blandas o anisotrópicas.

1.6.2. Tipos de probetas a ensayar

El ensayo de Franklin puede ser realizado a partir de algunos tipos de probetas. El más común es la probeta de forma cilíndrica a la cual se aplican cargas diametrales. Este procedimiento se caracteriza por ser usado con los testigos de sondeos y por ser el más normalizado. Otro tipo de probeta puede ser cilíndrica de caras paralelas o las probetas de forma irregular, las cuales pueden ser aplicadas en el ensayo cargándolas axialmente (Romana, 1996).

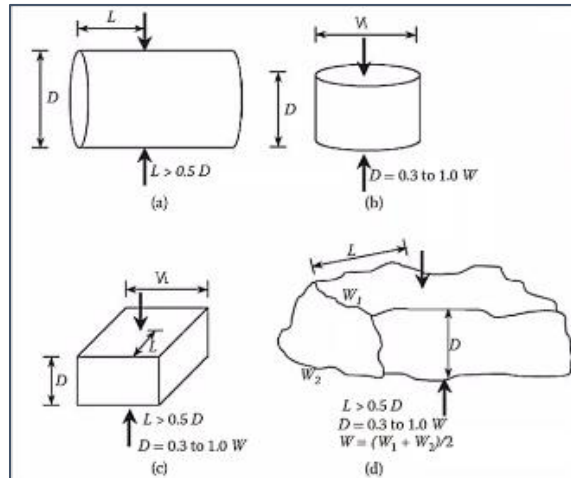


Figura 1. 9 Tipos de probetas y direcciones de carga: a) Diametral, b) Axial, c) Bloque y d) Irregular.

Fuente: (Sivakugan et al., 2021).

1.6.3. Ventajas del ensayo de carga puntual

El ensayo tiene dos importantes y claras ventajas:

- La primera hace referencia a las maquinas las cuales pueden ser usadas en campo y en laboratorio, las mismas que son fáciles de trasportar.
- La segunda hace referencia a los requerimientos de las probetas, las cuales exigen valores geométricos.

Tabla 1. 2 Requisitos geométricos de las probetas para el ensayo de carga puntual

Tipo de ensayo	Distancia entre puntos de carga	Semi-longitud de la probeta	Ancho de la probeta		
	D	L	Menor	Mayor	Medio
			w1	w2	w
Cilíndrico diametral	D	$L > 0,5D$	-	-	-
Cilíndrico Axial	$0.3W < D < w$	$L > 0,5D$	-	-	W
Bloque regular	$0.3W < D < w$	$L > 0,5D$	-	-	W
Bloque irregular	$0.3W < D < w$	$L > 0,5D$	W_1	W_2	$\frac{1}{2}(W_1 + W_2)$

Fuente: (Galván, 2015).

1.6.4. Formas de rotura

Los modos más comunes de una falla de probeta pueden ser:

- a) Tipos aceptados de falla en probetas cilíndricas
- b) Tipos de rotura aceptadas en probetas cilíndricas con carga ejercida en las superficies inferiores y superiores.
- c) Roturas aprobadas en probetas rectangulares
- d) Ensayos nulos en probetas cilíndricas por despostillamiento de superficies, debido a que las cargas puntuales no se encontraron en zonas concéntricas (Quevedo y Reyes, 2019).

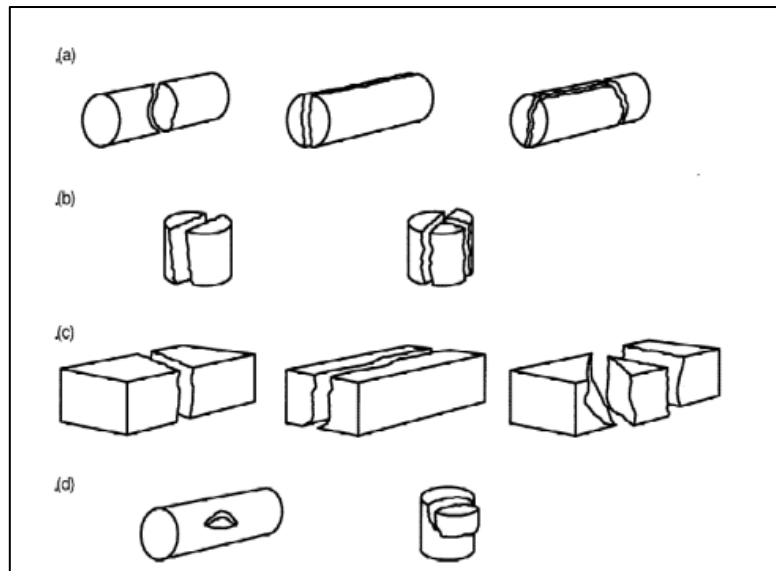


Figura 1. 10 Modos más comunes de fallas para muestras validas e invalidas.

Fuente: (Quevedo y Reyes, 2019).

1.6.5. Determinación del índice de carga puntual

A partir de la rotura de la roca realizada por medio del ensayo de Franklin, se puede obtener la resistencia a la carga puntual o índice de resistencia a la carga puntual no corregida (I_s) (Galván, 2015). El I_s se lo expresa de la siguiente manera:

$$I_s = \frac{P}{De^2} \quad (6)$$

Donde:

Is: Índice de carga puntual no corregido (MPa).

P: Fuerza (kN).

De: Diámetro equivalente de la probeta (mm).

1.6.5.1. Diámetro equivalente

Para obtener el diámetro equivalente se debe utilizar la siguiente ecuación:

$$De^2 = \frac{4}{\pi} * W * D \quad (7)$$

Donde:

W: es el ancho medio de la muestra en mm

D: es la distancia entre las puntas de los conos al momento que se realiza la rotura de la roca.

1.6.5.2. Factor de corrección (F)

El ensayo antes mencionado esta normalizado para probetas cilíndricas de 50mm de diámetro. Más aún, si el diámetro equivalente de una muestra es diferente a los 50 mm es necesario realizar una corrección por tamaño (Galván, 2015). Antes bien, si el ensayo de carga puntual se realiza con probetas de sondeo que tengan un diámetro (D) igual a 54 mm no es necesario realizar corrección alguna. Por lo tanto, para obtener un índice de carga corregido es necesario aplicar la siguiente ecuación:

$$I_{s(50)} = F * I_s \quad (8)$$

o

$$I_{s(50)} = F * P/D^2 \quad (9)$$

Donde

$I_{s(50)}$: es el índice de carga puntual corregida

F: factor de corrección

Is: es el índice de carga puntual obtenía al momento de la rotura de la roca

El factor de corrección (F) puede ser obtenida por medio de la siguiente ecuación:

$$F = \left(\frac{D_e}{50}\right)^{0.45} \quad (10)$$

Donde D_e es el diámetro equivalente (mm) del testigo

El factor F para ser graficado se debe relacionar el diametro equivalente (D_e) y factor de correccion por tamaño.

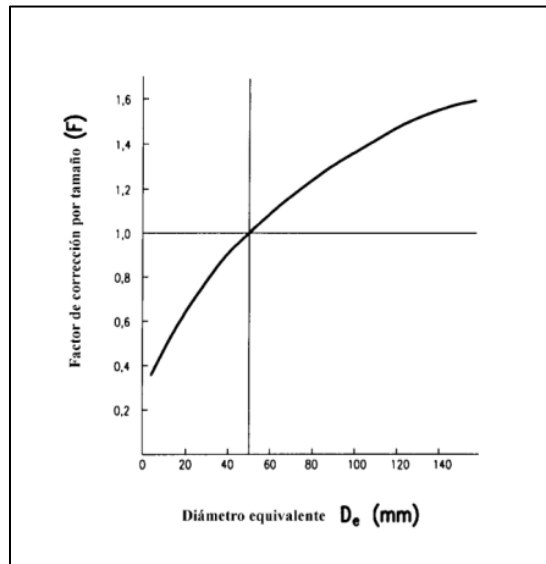


Figura 1. 11 Grafico del factor de corrección por tamaño de roca (F)

Fuente: (Grupos GInTE, 2012)

Según la normar NTL-252/91 (1991) afirma que, en ensayos de probetas con un tamaño próximo a los 50 mm, suele darse un mínimo error utilizando la expresión:

$$F = \sqrt{\frac{D_e}{50}} \quad (11)$$

Romana (1996) menciona que en casos importantes y cuando se disponen de probetas con varios tamaños. Se debe determinar un factor de corrección graficando un diagrama logarítmico doble, y la curva que relaciona $\log P$ con $\log D^2$. Con la curva obtenida se puede interpolar o extrapolar el valor del $I_{s(50)}$ para cualquier tamaño de la probeta.

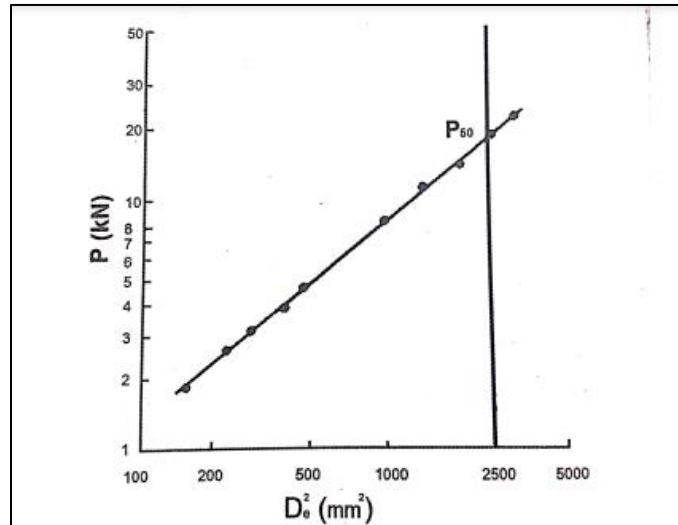


Figura 1. 12 Grafica para determinar el P(50).

Fuente: (Galván, 2015).

Por lo tanto, la índice resistencia a carga puntal se expresa como:

$$I_{S(50)} = \frac{P_{50}}{50^2} \quad (12)$$

1.6.5.3. Maquinas

La norma NLT-252/91 (1991) en la determinación del índice de resistencia a la carga puntal, señala que la máquina de ensayo que se puede utilizar para dicho fin, deberá disponer de un sistema bastidor de carga, una bomba, un embolo, bases, un sistema para medir la carga P, la cual es necesaria para fracturar la probeta, y un sistema para medir la distancia D entre los puntos de contacto de las dos bases.

Características importantes de los aparatos

Al momento de realizar los ensayos es necesario considerar las siguientes características:

1. El sistema de carga deberá ser ajustable para lograr ensayar las probetas de tamaño variable.
2. Las bases que se usan para trasferir la carga a la probeta deberán ser troncocónicas con la punta redondeada. El cono de 60° y su punta redondeada con radio de 5mm, además deberán de coincidir tangencialmente y las piezas han de

estar endurecidas de modo que no se perjudiquen los ensayos. Además, tendrán que estar alienadas correctamente de modo que sean mutuamente coaxiales y la maquina deberá estar rígida para que las bases estén alineadas durante el ensayo. Es importante asegurarse de no tener un sistema de carga con un asiento esférico y la otra parte no rígida.

3. El sistema de medición de la carga debe señalar la carga de fractura de la probeta, con una aproximación de ± 5 por 100, sea cual sea la resistencia de la probeta.
4. El sistema de medición de la distancia (D) tendrá que indicar la medida entre los puntos de contacto de las piezas troncocónicas con una aproximación de ± 2 por 100 D (NLT-252/91, 1991).

1.6.5.4. Partes de la máquina de Franklin

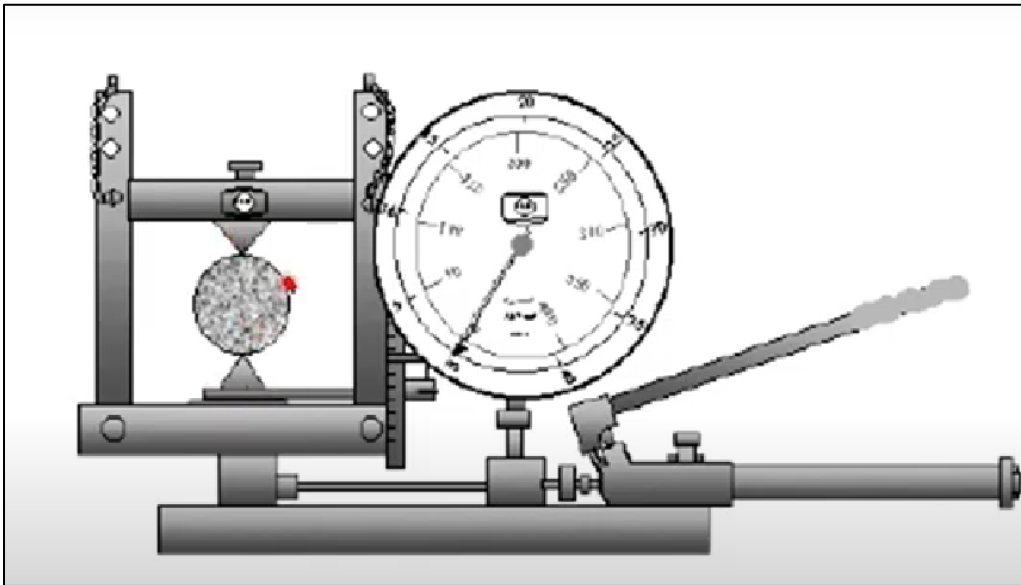


Figura 1. 13 Prensa Franklin.

Fuente: (Medina, 2019).

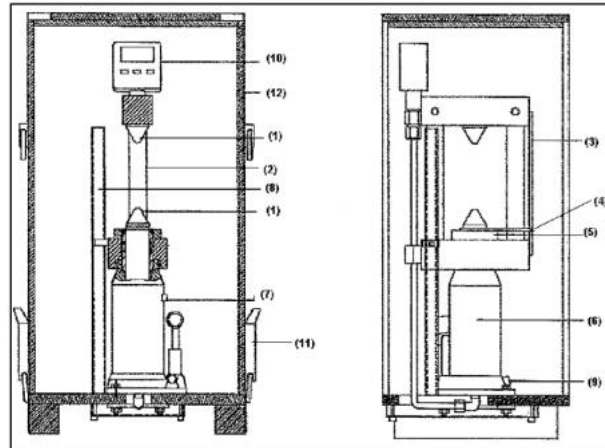


Figura 1. 14 Componentes de la prensa de Franklin.

Fuente: (Quevedo y Reyes, 2019).

La máquina Franklin está conformada por:

- 1) Dos puntas cónicas.
- 2) Dos columnas marco de la cruceta fija.
- 3) Escala.
- 4) Puntero escala.
- 5) Un perno.
- 6) El cuerpo de la bomba hidráulica.
- 7) Tapón de llenado de aceite.
- 8) Mango de la bomba
- 9) Válvula de liberación de presión
- 10) Caso trabado por la cubierta superior.
- 11) Lectura de la presión digital.
- 12) Cubierta superior probador de carga puntual.

1.6.5.5. Parámetros para la preparación de muestras

Para realizar los ensayos es importante, tomar en consideración lo siguiente:

- 1) Las probetas para los ensayos deberán tener una dimensión aproximada a 50mm.
- 2) El tamaño y forma de las probetas pueden ser cubicas, cilíndricas, paralelepípedos o irregulares.
- 3) Las superficies de las probetas tendrán que estar libres de irregularidades, ya que pueden generar concentraciones de esfuerzos.
- 4) Es necesario que se especifique el nivel de humedad de la muestra, debido a que el contenido de humedad podría afectar significativamente el valor de la resistencia de la roca (Ceballos y Restrepo, 2016).

1.7. Resistencia a la compresión simple

El ensayo de resistencia a la compresión simple, también es conocida como ensayo a la compresión uniaxial, se le utiliza para determinar el valor último de la carga de suelo, además de ser el parámetro más común para definir criterios sobre la ruptura y el comportamiento geomecánico del macizo rocoso. La determinación de este ensayo es de vital importancia, ya que conoceremos más del suelo donde se podrían realizar estructuras o cualquier otra obra (Olivera et al., 2014).

Según Galván Ceballos y Restrepo (2016) el ensayo consiste en aplicar fuerza axial en una zona cilíndrica de área, que se le lleva hasta el punto de ruptura por medio de una prensa.

Su fórmula se la expresa como:

$$C_o = \frac{P}{A} \quad \text{ó} \quad \sigma_c = \frac{P}{A} \quad (13)$$

Donde:

C_o ó σ_c : Resistencia a la compresión simple o uniaxial.

P: carga de rotura.

A: sección sobre la cual se aplica el esfuerzo.

El área corregida se obtiene con la siguiente formula:

$$A_c = \frac{\pi \frac{\phi^2}{4}}{1 - e} \quad (14)$$

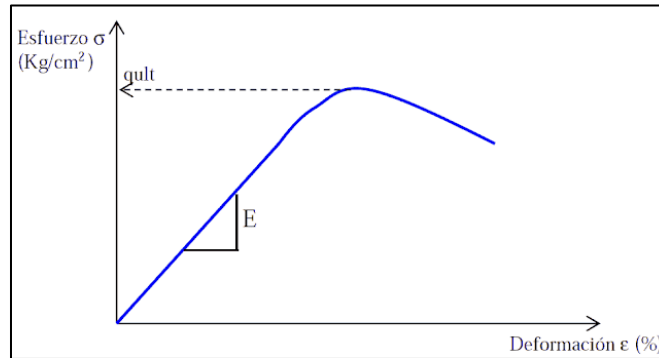


Figura 1.15 Gráfica de esfuerzo y deformación.

Fuente: (Universidad de los Andes).

Resistencia a la Compresión Simple (Mpa)	ISRM (1981)	Geological Society of London (1970)	Bieniawki (1973)	Ejemplos
<1			Suelos	
1-5	Muy blanda	Blanda >1,25	Muy baja	
5-12,5	Blanda	Moderadamente blanda	Muy baja	Sal, lutita, limolita, marga, toba, carbón
12,5-25	Blanda	Moderadamente dura	Muy baja	
25-50	Moderadamente dura	Moderadamente dura	Baja	Esquisto, pizarra
50-100	Dura	Dura	Media	Rocas metamórficas esquistosas, caliza porosa
100-200	Muy dura	Muy dura	Alta	Rocas ígneas y metamórficas duras, caliza
>200	Muy dura	Extremadamente dura	Muy alta	
>250	Extremadamente dura	Extremadamente dura	Muy alta	Cuarcita, gabro, basalto

Figura 1.16 Clasificación de la roca en base a la resistencia a la compresión simple.

Fuente: (Galván y Restrepo, 2016).

1.7.1. Parámetros de un ensayo de RCS

- La obtención de las muestras será por medio de perforaciones, corte torneado o pulido. Sin embargo, las muestras no deberán ser obtenidas por medio de voladura debido a que se pueden formar nuevas microfisuras en la roca o ampliar las que ya existen y alterarían los resultados del ensayo.
- Las muestras a ensayar deben tener forma cilíndrica o cubica

- Se deberá tener una relación de longitud y diámetro (L/D) de 2,5 a 3,0 según el ASTM (American Society for Testing and Materials) y entre, 2,5 y 3,0 según el ISRM (International Society for Rock Mechanics)
- El diámetro debe ser mayor de 10 veces el tamaño máximo de grano de la roca
- Las bases de la muestra deben ser planas y formar un ángulo recto con el eje de la probeta.
- La superficie lateral de la probeta debe ser lisa y estar libre de irregularidades.
- No se debe usar materiales de recubrimiento o igualadores en las muestras, ya que alteraría los valores de la fuerza de rotura. (Galván y Restrepo, 2016)

1.7.2. Máquina Humboldt

La máquina de compresión Humboldt está diseñada para obtener la resistencia de diversos tipos de materiales. Esta máquina se basa en aplicar cargas controladas sobre una probeta, las cuales deben tener un modelo de dimensiones preestablecidas. Además, mide en forma gráfica la deformación de las rocas y su carga al momento de su fractura. La máquina Humboldt es adecuada para cilindros, cubos, vigas y núcleos de mezclas, también, cuenta con un rango de prueba de 25000 a 250000 lb o 11 a 1112 kn, con una precisión de $\pm 0.5\%$ de la carga indicada (Feijoo y Padrón, 2020).



Figura 1.17 Máquina Humboldt

Fuente: (Feijoo y Padrón, 2020).

CAPITULO 2

EXPERIMENTACIÓN

2. Proceso

En el presente capítulo se mostró y detallo la obtención de las muestras, y su cantidad. Además, se presentó el área de donde se recolectaron las muestras. Así también como se desarrolló su preparación. Por consiguiente, se procedió a realizar los ensayos de carga puntual ($I_{s(50)}$) y resistencia a la compresión simple (RCS). Finalizando con 3 correlaciones de los datos obtenidos.

2.1. Obtención de las muestras

Las muestras fueron recolectadas de diferentes puntos del cerro Cojitambo de procedencia andesítica. Al contar con las muestras se procedió al traslado del material a un taller en donde se realizó el corte, para que se dé la forma de bloque con diferentes dimensiones. Se obtuvo un total de 180 muestras con los cuales se procedió a realizar los ensayos para la determinación del índice de carga puntual ($I_{s(50)}$) y la resistencia a la compresión simple (RCS).

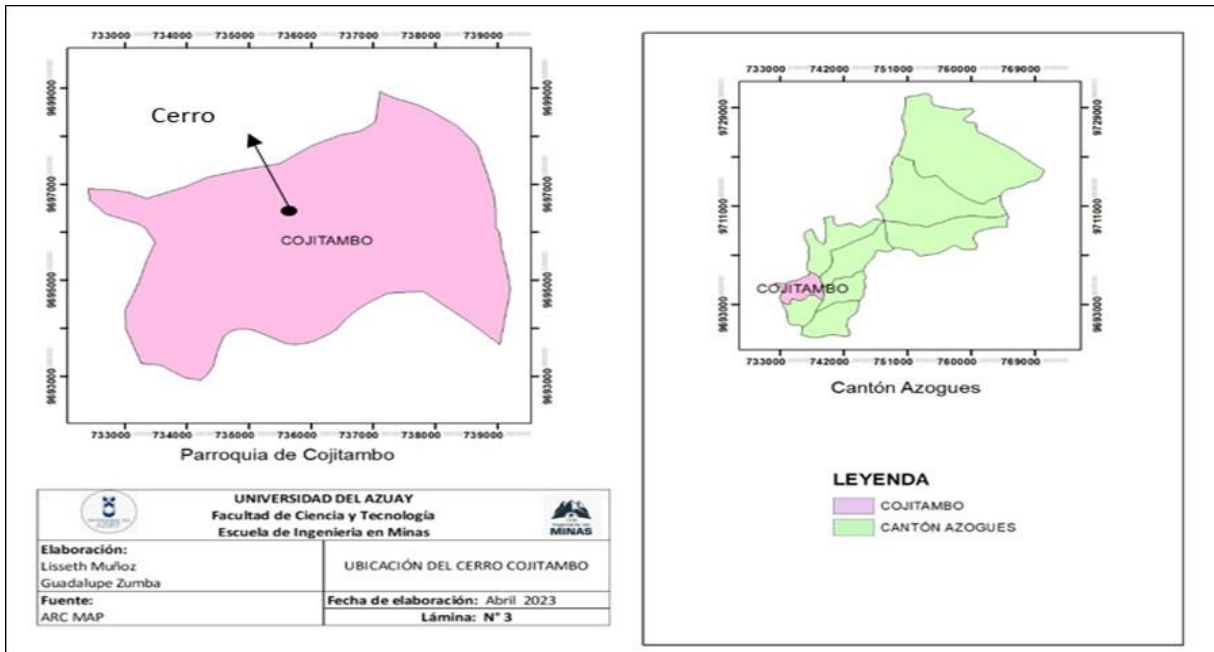


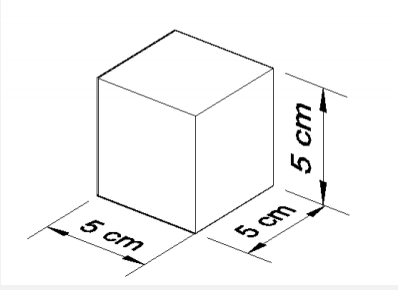
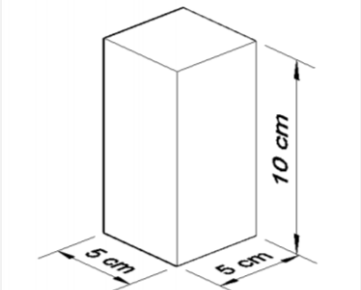
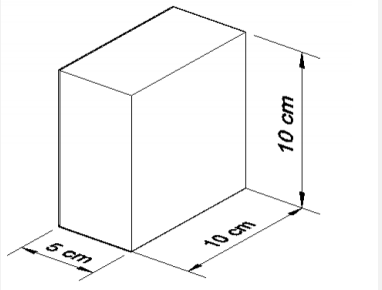
Figura 2 1 Área de recolección de las muestras.

Fuente: Elaboración propia.

2.2. Preparación de las muestras

En el presente proyecto se procedió a trabajar con probetas de forma prisma rectangular, las cuales fueron preparadas en el laboratorio. En total se utilizaron 180 muestras, las cuales fueron divididas en 3 grupos de 60 muestras y estas a su vez fueron subdivididas en 2 grupos; cada grupo conto con 30 muestras, con variación en sus dimisiones. En la tabla 2.1 se representan las dimensiones de los grupos de muestras.

Tabla 2. 1 Dimensiones específicas de los diferentes grupos de muestras de andesita con sus respectivas dimensiones, obtenidas en el sector de Cojitambo.

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Numero de muestras	60	60	60
Dimensiones	5cm x 5cm x 5cm	5cm x 5cm x 10cm	5cm x 10cm x 10cm
Imagen			

Fuente: Elaboración propia



Figura 2 2 Dimensiones de una muestra del grupo N°1.

Fuente: Elaboración propia.

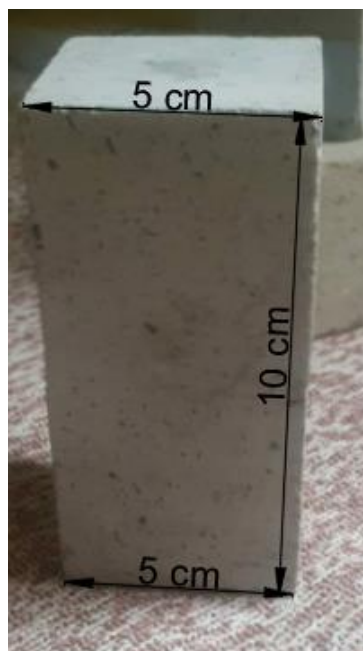


Figura 2 3 Dimensiones de una muestra del grupo N°2.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 2 4 Dimensiones de una muestra del grupo N°3.

Fuente: Elaboración propia.

2.3. Obtención de las medidas reales de las probetas

Para determinar el índice de carga puntual ($I_{S(50)}$) y la resistencia a la compresión simple (RCS) es necesario obtener las medidas exactas de cada probeta, por lo que se procedió a verificar el ancho (W), la longitud (L) y el diámetro (D) de las 180 muestras preparadas. Todas las dimensiones fueron obtenidas del grupo número uno con dimensiones de 5cm x 5cm x 5cm, del grupo número 2 con dimensiones de 5cm x 5cm x 10cm y las del grupo número 3 con dimensiones de 5cm x 10cm x 10cm.

2.4. Enumeración de las muestras

Por consiguiente, se enumeraron las probetas según su agrupación. Su enumeración se la asigno desde el numero 1 hasta el 30.

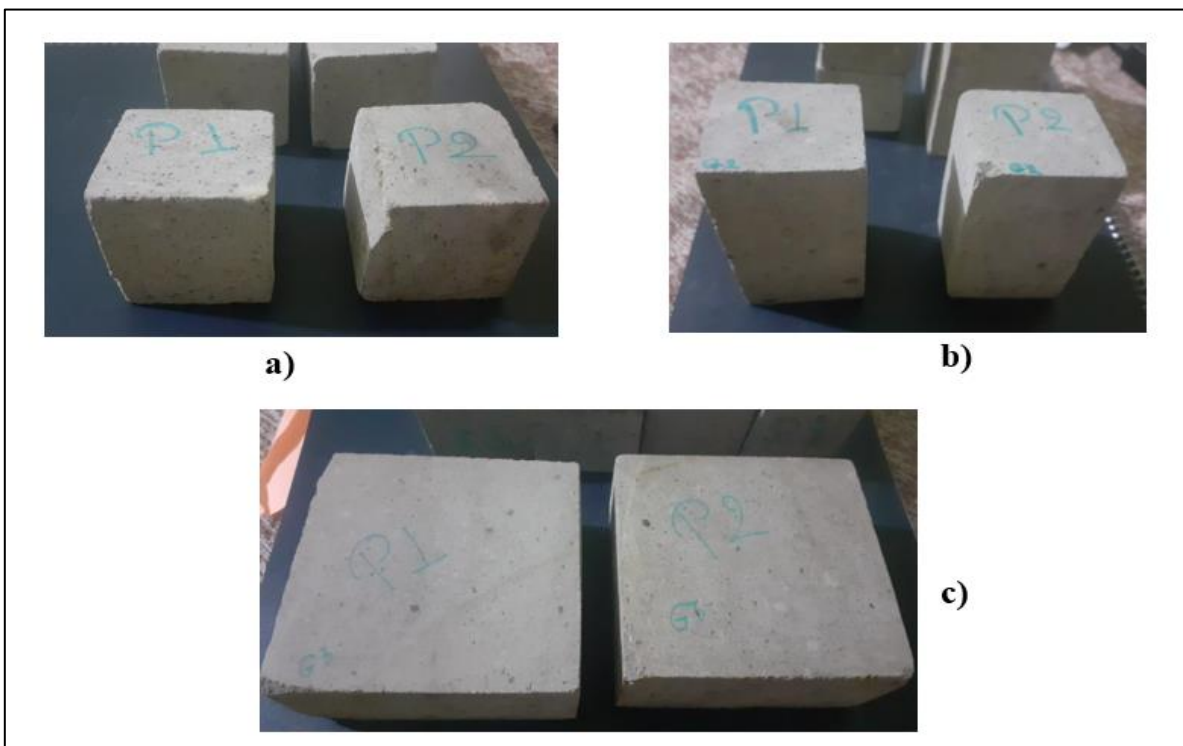


Figura 2.5 Numeración de muestras. a) Probeta de 5cm x 5cm x 5cm numerada, b) Probeta de 5cm x 5cm x 10cm numerada, c) Probeta de 5cm x 10cm x 10cm numerada.

Fuente: Elaboración propia

2.5. Determinación del índice de carga puntal

Al establecer las dimensiones reales de cada probeta y su enumeración, se procedió a llevarlas al laboratorio, donde se depositaron las muestras en la prensa de Franklin la cual consta de puntas cónicas. Al asegurar las muestras se las aplicó una fuerza, de las cuales se obtuvo la fuerza que necesita la roca para que se origine una falla o fractura.

Una vez obtenidas las fuerzas de cada muestra se procedió a detallar los datos obtenidos en una hoja de Excel 2019.

Para poder determinar el $Is_{(50)}$ de los tres tipos de probetas se procedió a:

- 1) Registrar el ancho (W), diámetro (D) y la longitud (L) real de cada probeta en cm en una hoja de Excel 2019.
- 2) Se registró los datos que proporcionó la prensa de Franklin al momento de la fractura de la roca en una hoja de Excel 2019.
- 3) Por consiguiente, se calculó el área equivalente de cada probeta.
- 4) Se determinó $L > 0.50 D$, ya que se está trabajando con una probeta de tipo bloque.
- 5) Se obtuvo el diámetro equivalente de cada muestra (De^2) por medio de:

$$De^2 = \frac{4WD}{\pi} \quad (15)$$

Donde:

W: es el ancho de la muestra

D: diámetro de la muestra

- 6) Al realizar todos los pasos antes mencionados, se procedió a calcular el Is no corregido por medio de la siguiente ecuación:

$$Is = \frac{P}{De^2} \quad (16)$$

Donde:

Is: es el Índice de carga puntual no corregido.

P: Fuerza de rotura obtenida en la prensa de Franklin.

De: Diámetro equivalente de la probeta.

- 7) Finalmente se procedió a calcular el índice de carga puntual corregido despejando la fórmula:

$$I_{S(50)} = F * I_s \quad (17)$$

Donde:

Is: Índice de carga puntual no corregido (Mpa).

F: Factor de corrección de la muestra

El factor de corrección se obtuvo utilizando la siguiente ecuación:

$$F = \left(\frac{De^2}{50} \right)^{0.45} \quad (18)$$

Donde el De es el diámetro equivalente de la muestra.

Al final se despejo F de la fórmula de $I_{S(50)}$, dándonos como resultado la siguiente formula que fue despejada en la hoja de cálculo de Excel 2019:

$$I_{S(50)} = \left(\frac{De^2}{50} \right)^{0.45} * I_s \quad (19)$$

Tabla 2. 2 Modelo de tabla usada en Excel 2019 para determinar el $Is_{(50)}$.

D	W	L	Fuerza (P)	L>0.5D	Área equivalente	De ²	Is no corregida	Is no corregida en MPa	Is(50) corregida
cm	cm	cm	kg	-	cm ²	cm ²	Kg/cm ²	MPa	MPa
Diámetro equivalente de la muestra	Ancho de la muestra	Longitud de la muestra	Fuerza obtenida de la Prensa de Franklin en Kg	0.50 x D (20)	WxD (21)	$De^2 = \frac{4WD}{\pi}$ (22)	$Is = \frac{P}{De^2}$ (23)	Conversión de Kg/cm ² en Megapascals	$(\frac{De^2}{50})^{0.45} * Is$ (24)

Fuente: Elaboración propia.

2.6. Índice de carga puntual obtenidas en los ensayos de laboratorio.

Los datos que se detallan en las tablas número 2.3, 2.4 y 2.5 hacen referencia a la $Is_{(50)}$ en MPa, de cada muestra ensayada en el laboratorio.

Tabla 2. 3 Índice de carga puntual de las muestras con dimensiones 5cm x 5cm x 5cm.

Grupo N° 1	
Dimensiones de las probetas	5cm x 5cm x 5cm
Probeta	Is 50
	(MPa)
1	0.9
2	1.0
3	1.0
4	1.0
5	1.1
6	1.1
7	1.2
8	1.2
9	1.4

10	1.4
11	1.4
12	1.4
13	1.6
14	1.7
15	1.8
16	1.9
17	2.0
18	2.6
19	3.5
20	3.5
21	3.6
22	3.6
23	3.8
24	4.1
25	4.3
26	4.4
27	4.5
28	4.5
29	4.6
30	5.1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. 4 Índice de carga puntual de las muestras con dimensiones 5cm x 5cm x 10cm.

Grupo N° 2	
Dimensiones de las probetas	5cm x 5cm x 10 cm
Probeta	Is 50
	(MPa)
1	1.5
2	1.5
3	2.1
4	2.6
5	2.6
6	2.6
7	2.6
8	2.9
9	3.0
10	3.0
11	3.0
12	3.0
13	3.0

14	3.1
15	3.1
16	3.1
17	3.1
18	3.1
19	3.1
20	3.2
21	3.2
22	3.2
23	3.2
24	3.2
25	3.3
26	3.3
27	3.3
28	3.4
29	3.5
30	3.5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. 5 Índice de carga puntual de las muestras con dimensiones 5cm x 10cm x 10cm.

Grupo N° 3	
Dimensiones de las probetas	5cm x 10 cm x 10 cm
Probeta	Is 50
	(MPa)
1	3.4
2	3.4
3	3.4
4	3.4
5	3.4
6	3.4
7	3.5
8	3.5
9	3.5
10	3.5
11	3.5
12	3.5
13	3.5
14	3.6
15	3.6
16	3.6
17	3.7
18	3.7

19	3.7
20	3.8
21	3.8
22	3.8
23	3.8
24	3.8
25	3.8
26	3.9
27	3.9
28	3.9
29	3.9
30	4.0

Fuente: Elaboración propia.

2.7. Determinación de la resistencia a la compresión simple

Para determinar la resistencia a la compresión simple (RCS) de las muestras, se procedió a llevar las muestras al laboratorio, en donde se realizó los ensayos de resistencia a la compresión uniaxial utilizando la maquina Humboldt. Posteriormente se selló la máquina con una puerta metálica para evitar que al momento de la rotura de la roca salten pequeños fragmentos. Una vez obtenido las fuerzas de rotura de cada roca se realizó una tabla en una hoja de Excel 2019 detallando los datos obtenidos.

Al tener los valores de la fuerza de fractura de las rocas, se pudo determinar la resistencia a la compresión simple de la siguiente manera:

- 1) Se registró el ancho (W), diámetro (D) y la longitud (L) real de cada probeta en cm en una hoja de Excel 2019.
- 2) Se registró los datos que proporcionó la maquina Humboldt al momento de la fractura de la roca en una hoja de Excel 2019.
- 3) Posteriormente se calculó el área de cada probeta mediante la ecuación:

$$A = W * D \quad (25)$$

Donde:

W: es el ancho

D: es el diámetro

- 4) Finalmente se procedió a calcular la resistencia a la compresión simple por medio de la siguiente ecuación:

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad (26)$$

Donde:

σ_c : Resistencia a la compresión simple o uniaxial.

P: carga de rotura.

A: sección sobre la cual se aplica el esfuerzo.

Tabla 2. 6 Modelo de tabla usada en Excel 2019 para determinar el RCS.

D	W	L	Fuerza de rotura (P)	Fuerza de rotura (P)	Área (A)	RCS (σ_c)	RCS σ_c
cm	cm	cm	kN	Kg	cm ²	Kg/cm ²	MPa
Diámetro equivalente de la muestra	Ancho de la muestra	Longitud de la muestra	Fuerza de rotura de la roca obtenida en la maquina Humboldt en Kn.	Fuerza de rotura de la roca transformada a kg.	WxD (27)	$\sigma_c = \frac{P}{A}$ (28)	Resistencia a la compresión simple expresada en MPa

Fuente: Elaboración propia.

2.8. Resistencia a la compresión simple obtenidas en los ensayos de laboratorio.

Los datos que se detallan en las tablas número 2.7, 2.8 y 2.9 hacen referencia a la RCS en MPa, de cada muestra ensayada en el laboratorio.

Tabla 2. 7 Resistencia a la compresión simple (RCS) de las muestras con dimensiones 5cm x 5cm x 5cm.

Grupo N° 1	
Dimensiones de la probeta	5cm x 5cm x 5cm
Probeta	RCS
	(MPa)
1	17
2	19
3	20
4	20
5	20
6	21
7	21
8	21
9	22
10	22
11	23
12	23
13	23
14	23
15	23
16	23
17	23
18	24
19	20
20	25
21	25
22	25
23	25
24	26
25	26
26	27
27	28
28	28
29	30
30	31

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. 8 Resistencia a la compresión simple (RCS) de las muestras con dimensiones 5cm x 5cm x 10cm.

Grupo N° 2	
Dimensiones de la probeta	5cm x 5cm x 10cm
Probeta	RCS
	(MPa)
1	17
2	19
3	26
4	28
5	29
6	30
7	30
8	31
9	32
10	32
11	33
12	34
13	34
14	36
15	36
16	36
17	37
18	37
19	39
20	39
21	39
22	39
23	39
24	41
25	42
26	47
27	47
28	47
29	47
30	52

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. 9 Resistencia a la compresión simple (RCS) de las muestras con dimensiones 5cm x 10cm x 10cm.

Grupo N° 3	
Dimensiones de la probeta	5cm x 10cm x 10cm
Probeta	RCS
	(MPa)
1	53
2	53
3	54
4	54
5	54
6	54
7	55
8	55
9	55
10	55
11	56
12	56
13	57
14	57
15	57
16	58
17	58
18	58
19	58
20	58
21	58
22	58
23	58
24	59
25	59
26	60
27	60
28	60
29	61
30	61

Fuente: Elaboración propia.

2.9. Correlación del $I_{s(50)}$ y la RCS

Al momento de obtener el $I_{s(50)}$ y la RCS de todas las muestras, se procedió a realizar una correlación con los datos de cada grupo de muestras; donde el eje X se caracteriza por llevar los valores del $I_{s(50)}$, mientras que el eje Y contiene los valores de la RCS.

Tabla 2. 10 Datos obtenidos del $I_{s(50)}$ y la RCS para realizar la primera propuesta de correlación.

Grupo N° 1		
Dimensiones de las probetas		5cm x 5cm x 5cm
Probeta	Is 50	RCS
	(MPa)	(MPa)
1	0.9	17
2	1.0	19
3	1.0	20
4	1.0	20
5	1.1	20
6	1.1	21
7	1.2	21
8	1.2	21
9	1.4	22
10	1.4	22
11	1.4	23
12	1.4	23
13	1.6	23
14	1.7	23
15	1.8	23
16	1.9	23
17	2.0	23
18	2.6	24
19	3.5	20
20	3.5	25
21	3.6	25
22	3.6	25
23	3.8	25
24	4.1	26
25	4.3	26
26	4.4	27
27	4.5	28
28	4.5	28
29	4.6	30
30	5.1	31

Fuente: Elaboración propia.

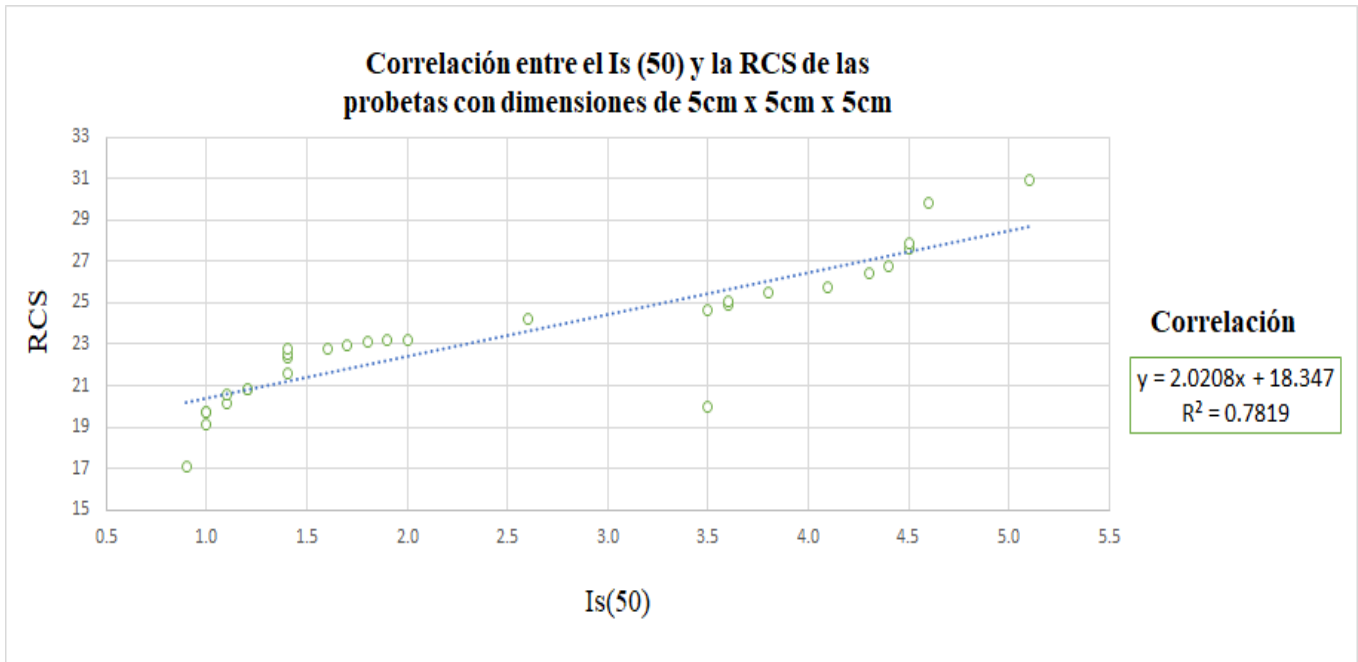


Figura 2.6 Correlación entre el $I_s(50)$ y la RCS de 30 muestras con dimensiones de 5cm x 5cm x 5cm.

Fuente: Elaboración propia.

La figura 2.6 nos muestra una correlación entre el Índice de carga puntual ($I_{s(50)}$) y la Resistencia a la compresión simple (RCS) por medio de la siguiente ecuación.

$$y = 2.0208x + 18.347 \quad (29)$$

Donde la variable Y hace referencia a la RCS, y la variable X se relaciona con el $I_{s(50)}$. Por lo tanto, al expresar la ecuación 29 en términos de $I_{s(50)}$ y RCS se tiene la siguiente ecuación:

$$\sigma_c = 2.0208 I_{s(50)} + 18.347 \quad (30)$$

Donde:

σ_c : Resistencia a la compresión simple

$I_{s(50)}$: Índice de carga puntual.

Al mismo tiempo, en la figura 2.6 se puede observar que el ajuste de la correlación es significativo, dado que contiene el valor de $R^2 = 0.7819$ el cual es cercano a 1.

Tabla 2. 11 Datos obtenidos del Is(50) y la RCS para realizar la segunda propuesta de correlación.

Grupo N° 2		
Dimensiones de las probetas		5cm x 5cm x 10cm
Probeta	Is 50	RCS
	(MPa)	(MPa)
1	1.5	17
2	1.5	19
3	2.1	26
4	2.6	28
5	2.6	29
6	2.6	30
7	2.6	30
8	2.9	31
9	3.0	32
10	3.0	32
11	3.0	33
12	3.0	34
13	3.0	34
14	3.1	36
15	3.1	36
16	3.1	36
17	3.1	37
18	3.1	37
19	3.1	39
20	3.2	39
21	3.2	39
22	3.2	39
23	3.2	39
24	3.2	41
25	3.3	42
26	3.3	47
27	3.3	47
28	3.4	47
29	3.5	47
30	3.5	52

Fuente: Elaboración propia.

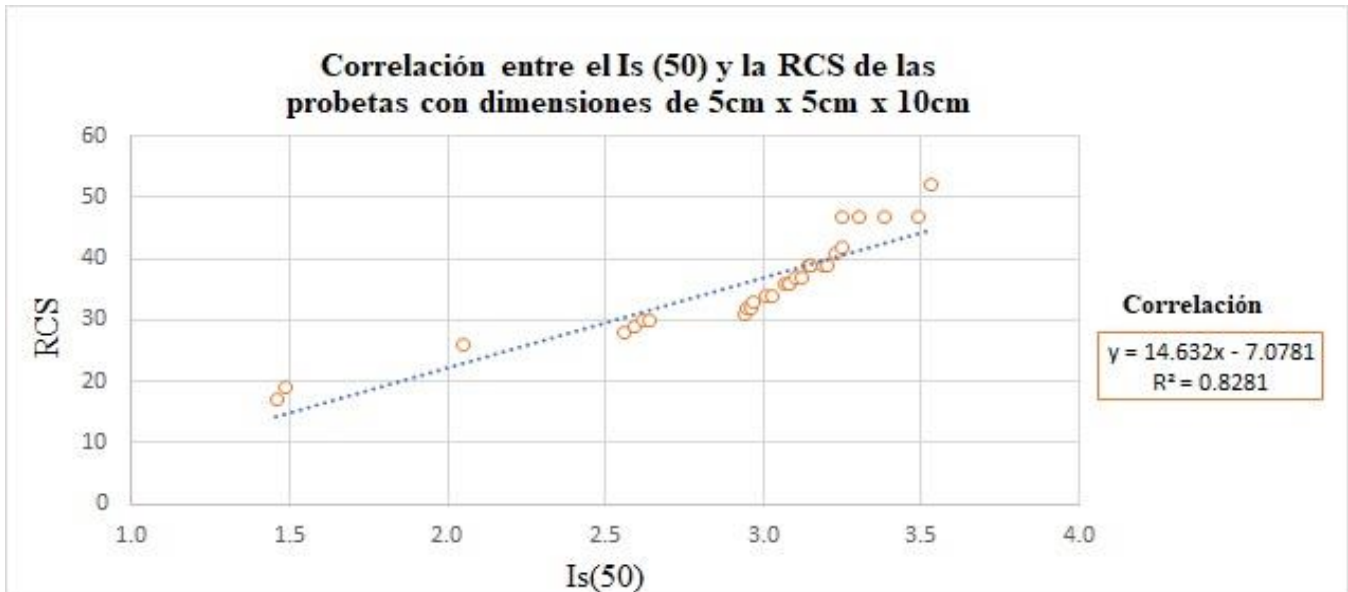


Figura 2.7 Correlación entre el $I_s(50)$ y la RCS de 30 muestras con dimensiones de 5cm x 5cm x 10cm.

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 2.7 se observó una correlación entre el Índice de carga puntual ($I_{s(50)}$) y la Resistencia a la compresión simple (RCS) de:

$$y = 14.632x - 7.0781 \quad (31)$$

Donde la variable Y se lo considera a la RCS, y a la variable X se lo relaciona con el $I_{s(50)}$.

Por lo que al expresar la ecuación 31 en términos de $I_{s(50)}$ y RCS se tiene:

$$\sigma_c = 14.632I_{s(50)} - 7.0781 \quad (32)$$

Donde:

σ_c : Resistencia a la compresión simple

$I_{s(50)}$: Índice de carga puntual.

Del mismo modo en la figura 2.7 se puede observar que el ajuste de la correlación es mayor que la primera correlación, dado que contiene un valor de $R^2 = 0.8281$ el cual es más cercano a 1.

Tabla 2. 12 Datos obtenidos del Is(50) y la RCS para realizar la tercera propuesta de correlación.

Grupo N° 3		
Dimensiones de las probetas		5cm x 10cm x 10cm
Probeta	Is 50	RCS
	(MPa)	(MPa)
1	3.4	53
2	3.4	53
3	3.4	54
4	3.4	54
5	3.4	54
6	3.4	54
7	3.5	55
8	3.5	55
9	3.5	55
10	3.5	55
11	3.5	56
12	3.5	56
13	3.5	57
14	3.6	57
15	3.6	57
16	3.6	58
17	3.7	58
18	3.7	58
19	3.7	58
20	3.8	58
21	3.8	58
22	3.8	58
23	3.8	58
24	3.8	59
25	3.8	59
26	3.9	60
27	3.9	60
28	3.9	60
29	3.9	61
30	4.0	61

Fuente: Elaboración propia.

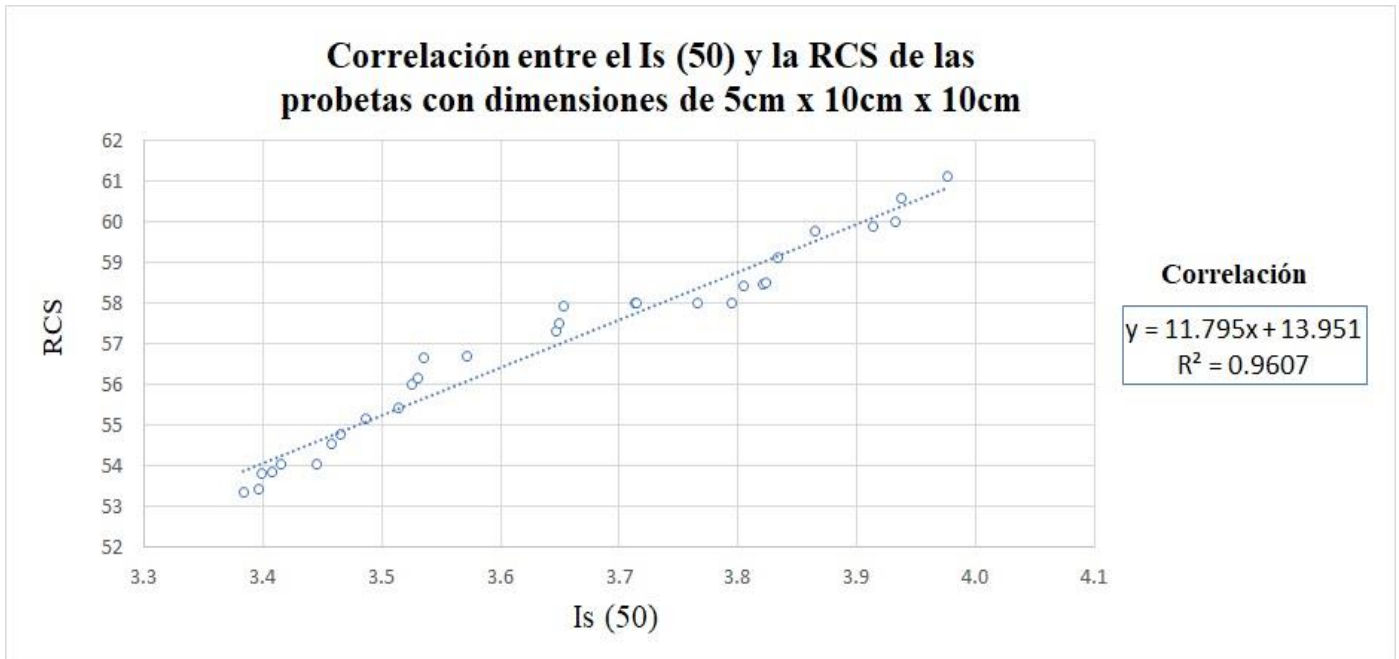


Figura 2.8 Correlación entre el $I_{s(50)}$ y la RCS de 30 muestras con dimensiones de 5cm x 10cm x 10cm.

Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 2.8 se obtuvo una correlación entre el índice de carga puntual ($I_{s(50)}$) y la resistencia a la compresión simple (RCS) de:

$$y = 11.795x + 13.951 \quad (33)$$

Donde la variable Y se lo considera a la RCS, y a la variable X se lo relaciona con el $I_{s(50)}$.

Por lo que al expresar la ecuación 33 en términos de $I_{s(50)}$ y RCS se tiene:

$$\sigma_c = 11.795I_{s(50)} + 13.951 \quad (34)$$

Donde:

σ_c : Resistencia a la compresión simple

$I_{s(50)}$: Índice de carga puntual.

En la figura 2.8 también se puede observar que el ajuste de la correlación es mucho mejor que la primera y la segunda correlación, dado que se tiene un valor de $R^2 = 0.9607$ el cual es más cercano a 1, en otras palabras, se puede decir que en esta correlación se tiene un mejor ajuste lineal debido a que los valores se encuentran más cercanos a la línea de tendencia.

CAPITULO 3

ANÁLISIS RESULTADOS

3. Proceso

En el presente capítulo se procedió a realizar una análisis sobre las correlaciones obtenidas entre el Índice de carga puntual ($I_{s(50)}$) y la Resistencia a la compresión simple (RCS) que fueron determinados en el capítulo anterior. Además, se procedió a realizar una comparación entre las correlaciones obtenidas por diferentes autores con las correlaciones adquiridas en el presente trabajo.

3.1. Correlaciones entre el Índice de carga puntual ($I_{s(50)}$) y la resistencia a la compresión simple (RCS).

3.1.1. Correlación N°1

Al realizar la correlación entre el $I_{s(50)}$ y la RCS del primer grupo de muestras con dimensiones 5cm x 5cm x 5cm, se obtuvo una relación de:

$$\sigma_c = 2.0208 I_{s(50)} + 18.347 \quad (35)$$

3.1.2. Correlación N°2

En la segunda correlación entre el $I_{s(50)}$ y RCS, con dimensiones de 5cm x 5cm x 10cm se obtuvo la siguiente ecuación:

$$\sigma_c = 14.632 I_{s(50)} - 7.0781 \quad (36)$$

3.1.3. Correlación N°3

Al realizar la tercera correlación entre el $I_{s(50)}$ y la RCS, a partir de las muestras con dimensiones de 5cm x 10cm x 10cm se obtuvo:

$$\sigma_c = 11.795 I_{s(50)} + 13.951 \quad (37)$$

3.2. Correlación de diferentes autores

Para realizar la comparación de las correlaciones descritas anteriormente, se adquirió 15 correlaciones de $I_{s(50)}$ y RCS de diversos autores los cuales han sido obtenidos en diferentes años.

Tabla 3. 1 Descripción de las correlaciones entre el $I_{s(50)}$ y la RCS de diferentes autores.

	Año	Autores	Tipo de rocas	Ecuación
1	2023	Zumba, G y Muñoz, L.	Andesita	$\sigma_c = 2.0208 I_{s(50)} + 18.347$
2	2023	Zumba, G y Muñoz, L.	Andesita	$\sigma_c = 14.632 I_{s(50)} - 7.0781$
3	2023	Zumba, G y Muñoz, L.	Andesita	$\sigma_c = 11.795 I_{s(50)} + 13.951$
4	1972	Broch, E y Franklin, J.	Rocas duras	$\sigma_c = 24 * I_{s(50)}$
5	1980	Read, et al.	Basalto	$\sigma_c = 20 * I_{s(50)}$
6	1981	Singh	Cuarcita, areniscas, anfibolita, gabro, caliza, dolomita, esquistos	$\sigma_c = 18.7 * I_{s(50)} - 13.2$
7	1983	Forster	-	$\sigma_c = 14.5 * I_{s(50)}$
8	1984	Gunsallus y Kulhawy	-	$\sigma_c = 16.5 * I_{s(50)} + 51$
9	1989	Delgado, R. y Jeremías	-	$\sigma_c = 19.5 * I_{s(50)}$
10	1991	Grosh y Srivastava	-	$\sigma_c = 16 * I_{s(50)}$
11	1992	Grasso et al.	-	$\sigma_c = 9.30 * I_{s(50)} + 20.04$
12	1993	Singh y Singh	Rocas con cuarcita	$\sigma_c = 23.4 * I_{s(50)}$
13	1993	Quinta, F y Machado, G	-	$\sigma_c = 18 * I_{s(50)}$
14	1994	Ulusay et al.	-	$\sigma_c = 19 * I_{s(50)} + 12.7$
15	1996	Chau, K y Wing, R	-	$\sigma_c = 12.5 * I_{s(50)}$
16	2001	Thuro, K y Plinninger, R.	Rocas con cuarzo filitas	$\sigma_c = 18.7 * I_{s(50)}$
17	2003	Quane y Russel	Rocas duras	$\sigma_c = 24.4 * I_{s(50)}$
18	2004	Tsiambaos y Sabatakakis	-	$\sigma_c = 23 * I_{s(50)}$

Fuente: Elaboración Propia.

3.3. Comparación de las diferentes correlaciones

Para realizar la comparación de las diferentes correlaciones se utilizaron los 90 datos del $I_{s(50)}$ que se obtuvieron de los ensayos realizados en el laboratorio y se las reemplazo en las ecuaciones de la tabla 3.1.

Tabla 3. 2 Resultados de las comparaciones de correlaciones obtenidas en los ensayos de laboratorio con las correlaciones de diferentes autores.

N°	Is(50)	Zumba, G y Muñoz, L.		Broch, E. y Franklin, J.	Read, et al.	Singh	Forster	Gunsallus y Kulkhavy	Delgado, R. y Jeremias	Grosh y Srivastava	Grasso et al.	Singh y Singh	Quinta, F y Machado, G.	Ulusay et al.	Chau, K. y Wong, R.	Thuro, K. y Plinninger, R.	Quane y Russel	Tsiambos y Sabatakakis	
		1	2																3
1	0.9	20.17	6.09	24.57	21.60	18.00	3.63	13.05	65.85	17.55	14.40	28.41	21.06	16.20	29.80	11.25	16.83	21.96	20.70
2	1.0	20.37	7.55	25.75	24.00	20.00	5.50	14.50	67.50	19.50	16.00	29.34	23.40	18.00	31.70	12.50	18.70	24.40	23.00
3	1.0	20.37	7.55	25.75	24.00	20.00	5.50	14.50	67.50	19.50	16.00	29.34	23.40	18.00	31.70	12.50	18.70	24.40	23.00
4	1.0	20.37	7.55	25.75	24.00	20.00	5.50	14.50	67.50	19.50	16.00	29.34	23.40	18.00	31.70	12.50	18.70	24.40	23.00
5	1.1	20.57	9.02	26.93	26.40	22.00	7.37	15.95	69.15	21.45	17.60	30.27	25.74	19.80	33.60	13.75	20.57	26.84	25.30
6	1.1	20.57	9.02	26.93	26.40	22.00	7.37	15.95	69.15	21.45	17.60	30.27	25.74	19.80	33.60	13.75	20.57	26.84	25.30
7	1.2	20.77	10.48	28.11	28.80	24.00	9.24	17.40	70.80	23.40	19.20	31.20	28.08	21.60	35.50	15.00	22.44	29.28	27.60
8	1.2	20.77	10.48	28.11	28.80	24.00	9.24	17.40	70.80	23.40	19.20	31.20	28.08	21.60	35.50	15.00	22.44	29.28	27.60
9	1.4	21.18	13.41	30.46	33.60	28.00	12.98	20.30	74.10	27.30	22.40	33.06	32.76	25.20	39.30	17.50	26.18	34.16	32.20
10	1.4	21.18	13.41	30.46	33.60	28.00	12.98	20.30	74.10	27.30	22.40	33.06	32.76	25.20	39.30	17.50	26.18	34.16	32.20
11	1.4	21.18	13.41	30.46	33.60	28.00	12.98	20.30	74.10	27.30	22.40	33.06	32.76	25.20	39.30	17.50	26.18	34.16	32.20
12	1.4	21.18	13.41	30.46	33.60	28.00	12.98	20.30	74.10	27.30	22.40	33.06	32.76	25.20	39.30	17.50	26.18	34.16	32.20
13	1.6	21.58	16.33	32.82	38.40	32.00	16.72	23.20	77.40	31.20	25.60	34.92	37.44	28.80	43.10	20.00	29.92	39.04	36.80
14	1.7	21.78	17.80	34.00	40.80	34.00	18.59	24.65	79.05	33.15	27.20	35.85	39.78	30.60	45.00	21.25	31.79	41.48	39.10
15	1.8	21.98	19.26	35.18	43.20	36.00	20.46	26.10	80.70	35.10	28.80	36.78	42.12	32.40	46.90	22.50	33.66	43.92	41.40
16	1.9	22.19	20.72	36.36	45.60	38.00	22.33	27.55	82.35	37.05	30.40	37.71	44.46	34.20	48.80	23.75	35.53	46.36	43.70
17	2.0	22.39	22.19	37.54	48.00	40.00	24.20	29.00	84.00	39.00	32.00	38.64	46.80	36.00	50.70	25.00	37.40	48.80	46.00
18	2.6	23.60	30.97	44.62	62.40	52.00	35.42	37.70	93.90	50.70	41.60	44.22	60.84	46.80	62.10	32.50	48.62	63.44	59.80
19	3.5	25.42	44.13	55.23	84.00	70.00	52.25	50.75	108.75	68.25	56.00	52.59	81.90	63.00	79.20	43.75	65.45	85.40	80.50
20	3.5	25.42	44.13	55.23	84.00	70.00	52.25	50.75	108.75	68.25	56.00	52.59	81.90	63.00	79.20	43.75	65.45	85.40	80.50
21	3.6	25.62	45.60	56.41	86.40	72.00	54.12	52.20	110.40	70.20	57.60	53.52	84.24	64.80	81.10	45.00	67.32	87.84	82.80
22	3.6	25.62	45.60	56.41	86.40	72.00	54.12	52.20	110.40	70.20	57.60	53.52	84.24	64.80	81.10	45.00	67.32	87.84	82.80
23	3.8	26.03	48.52	58.77	91.20	76.00	57.86	55.10	113.70	74.10	60.80	55.38	88.92	68.40	84.90	47.50	71.06	92.72	87.40
24	4.1	26.63	52.91	62.31	98.40	82.00	63.47	59.45	118.65	79.95	65.60	58.17	95.94	73.80	90.60	51.25	76.67	100.04	94.30
25	4.3	27.04	55.84	64.67	103.20	86.00	67.21	62.35	121.95	83.85	68.80	60.03	100.62	77.40	94.40	53.75	80.41	104.92	98.90
26	4.4	27.24	57.30	65.85	105.60	88.00	69.08	63.80	123.60	85.80	70.40	60.96	102.96	79.20	96.30	55.00	82.28	107.36	101.20
27	4.5	27.44	58.77	67.03	108.00	90.00	70.95	65.25	125.25	87.75	72.00	61.89	105.30	81.00	98.20	56.25	84.15	109.80	103.50
28	4.5	27.44	58.77	67.03	108.00	90.00	70.95	65.25	125.25	87.75	72.00	61.89	105.30	81.00	98.20	56.25	84.15	109.80	103.50
29	4.6	27.64	60.23	68.21	110.40	92.00	72.82	66.70	126.90	89.70	73.60	62.82	107.64	82.80	100.10	57.50	86.02	112.24	105.80
30	5.1	28.65	67.55	74.11	122.40	102.00	82.17	73.95	135.15	99.45	81.60	67.47	119.34	91.80	109.60	63.75	95.37	124.44	117.30
31	1.5	21.30	14.28	31.17	35.04	29.20	14.10	21.17	75.09	28.47	23.36	33.62	34.16	26.28	40.44	18.25	27.30	35.62	33.58
32	1.5	21.36	14.72	31.53	35.76	29.80	14.66	21.61	75.59	29.06	23.84	33.90	34.87	26.82	41.01	18.63	27.86	36.36	34.27
33	2.1	22.49	22.92	38.13	49.20	41.00	25.14	29.73	84.83	39.98	32.80	39.11	47.97	36.90	51.65	25.63	38.34	50.42	47.15
34	2.6	23.52	30.38	44.15	61.44	51.20	34.67	37.12	93.24	49.92	40.96	43.85	59.90	46.08	61.34	32.00	47.87	62.46	58.88
35	2.6	23.58	30.82	44.50	62.16	51.80	35.23	37.56	93.74	50.51	41.44	44.13	60.61	46.62	61.91	32.38	48.43	63.20	59.57
36	2.6	23.64	31.26	44.85	62.88	52.40	35.79	37.99	94.23	51.09	41.92	44.41	61.31	47.16	62.48	32.75	49.99	63.93	60.26
37	2.6	23.68	31.55	45.09	63.36	52.80	36.17	38.28	94.56	51.48	42.24	44.59	61.78	47.52	62.86	33.00	49.37	64.42	60.72
38	2.9	24.29	35.94	48.63	70.56	58.80	41.78	42.63	99.51	57.33	47.04	47.38	68.80	52.92	68.56	36.75	54.98	71.74	67.62
39	3.0	24.31	36.09	48.75	70.80	59.00	41.97	42.78	99.68	57.53	47.20	47.48	69.03	53.10	68.75	36.88	55.17	71.98	67.85
40	3.0	24.33	36.23	48.86	71.04	59.20	42.15	42.92	99.84	57.72	47.36	47.57	69.26	53.28	68.94	37.00	55.35	72.22	68.08
41	3.0	24.35	36.38	48.98	71.28	59.40	42.34	43.07	100.01	57.92	47.52	47.66	69.50	53.46	69.13	37.13	55.54	72.47	68.31
42	3.0	24.43	36.96	49.45	72.24	60.20	43.09	43.65	100.67	58.70	48.16	48.03	70.43	54.18	69.89	37.63	56.29	73.44	69.23
43	3.0	24.47	37.26	49.69	72.72	60.60	43.46	43.94	101.00	59.09	48.48	48.22	70.90	54.54	70.27	37.88	56.66	73.93	69.69
44	3.1	24.55	37.84	50.16	73.68	61.40	44.21	44.52	101.66	59.87	49.12	48.59	71.84	55.26	71.03	38.38	57.41	74.91	70.61
45	3.1	24.57	37.99	50.28	73.92	61.60	44.40	44.66	101.82	60.06	49.28	48.68	72.07	55.44	71.22	38.50	57.60	75.15	70.84
46	3.1	24.57	37.99	50.28	73.92	61.60	44.40	44.66	101.82	60.06	49.28	48.68	72.07	55.44	71.22	38.50	57.60	75.15	70.84
47	3.1	24.61	38.28	50.52	74.40	62.00	44.77	44.95	102.15	60.45	49.60	48.87	72.54	55.80	71.60	38.75	57.97	75.64	71.30
48	3.1	24.65	38.57	50.75	74.88	62.40	45.14	45.24	102.48	60.84	49.92	49.06	73.01	56.16	71.98	39.00	58.34	76.13	71.76
49	3.1	24.69	38.87	50.99	75.36	62.80	45.52	45.53	102.81	61.23	50.24	49.24	73.48	56.52	72.36	39.25	58.72	76.62	72.22
50	3.2	24.71	39.01	51.11	75.60	63.00	45.71	45.68	102.98	61.43	50.40	49.34	73.71	56.70	72.55	39.38	58.91	76.86	72.45
51	3.2	24.71	39.01	51.11	75.60	63.00	45.71	45.68	102.98	61.43	50.40	49.34	73.71	56.70	72.55	39.38	58.91	76.86	72.45
52	3.2	24.79	39.60	51.58	76.56	63.80	46.45	46.26	103.64	62.21	51.04	49.71	74.65	57.42	73.31	39.88	59.65	77.84	73.37
53	3.2	24.81	39.74	51.70	76.80	64.00	46.64	46.40	103.80	62.40	51.20	49.80	74.88	57.60	73.50	40.00	59.84	78.08	73.60
54	3.2	24.87	40.18	52.05	77.52	64.60	47.20	46.84	104.30	62.99	51.68	50.08	75.58	58.14	74.07	40.38	60.40	78.81	74.29
55	3.3	24.91	40.48	52.28	78.00	65.00	47.58	47.13	104.63	63.38	52.00	50.27	76.05	58.50	74.45	40.63	60.78	79.30	74.75
56	3.3	24.91	40.48	52.28	78.00	65.00	47.58	47.13	104.63	63.38	52.00	50.27	76.05	58.50	74.45	40.63	60.78	79.30	74.75
57	3.3	25.02	41.21	52.87	79.20	66.00	48.51	47.85	105.45	64.35	52.80	50.73	77.22	59.40	75.40	41.25	61.71	80.52	75.90
58	3.4	25.18	42.38	53.82	81.12	67.60	50.01	49.01	106.77	65.91	54.08	51.47	79.09	60.84	76.92	42.25	63.21	82.47	77.74
59	3.5	25.40	43.99	55.12	83.76	69.80	52.06	50.61	108.59	68.06	55.84	52.50	81.67	62.82	79.01	43.			

71	3.5	25.47	44.51	55.54	84.62	70.51	52.73	51.12	109.17	68.75	56.41	52.83	82.50	63.46	79.69	44.07	65.93	86.03	81.09
72	3.5	25.48	44.57	55.59	84.72	70.60	52.81	51.18	109.24	68.83	56.48	52.87	82.60	63.54	79.77	44.12	66.01	86.13	81.19
73	3.5	25.49	44.64	55.64	84.84	70.70	52.90	51.26	109.32	68.93	56.56	52.91	82.72	63.63	79.86	44.19	66.10	86.25	81.30
74	3.6	25.57	45.19	56.09	85.74	71.45	53.60	51.80	109.94	69.66	57.16	53.26	83.59	64.30	80.57	44.65	66.80	87.16	82.16
75	3.6	25.72	46.29	56.97	87.54	72.95	55.01	52.89	111.18	71.12	58.36	53.96	85.35	65.65	82.00	45.59	68.21	89.00	83.89
76	3.6	25.72	46.31	56.99	87.58	72.98	55.04	52.91	111.21	71.16	58.38	53.98	85.39	65.68	82.03	45.61	68.24	89.04	83.93
77	3.7	25.73	46.38	57.05	87.69	73.07	55.12	52.98	111.29	71.25	58.46	54.02	85.50	65.77	82.12	45.67	68.32	89.15	84.03
78	3.7	25.85	47.25	57.74	89.11	74.26	56.23	53.84	112.26	72.40	59.41	54.57	86.88	66.83	83.24	46.41	69.43	90.59	85.40
79	3.7	25.85	47.28	57.77	89.15	74.29	56.27	53.86	112.29	72.44	59.44	54.59	86.92	66.87	83.28	46.43	69.47	90.64	85.44
80	3.8	25.96	48.02	58.37	90.38	75.32	57.22	54.60	113.14	73.43	60.25	55.06	88.12	67.78	84.25	47.07	70.42	91.89	86.61
81	3.8	26.02	48.46	58.72	91.09	75.91	57.77	55.03	113.62	74.01	60.73	55.34	88.81	68.32	84.81	47.44	70.97	92.61	87.29
82	3.8	26.03	48.59	58.82	91.30	76.09	57.94	55.16	113.77	74.18	60.87	55.42	89.02	68.48	84.98	47.55	71.14	92.82	87.50
83	3.8	26.07	48.83	59.02	91.71	76.42	58.25	55.41	114.05	74.51	61.14	55.58	89.41	68.78	85.30	47.76	71.45	93.24	87.89
84	3.8	26.07	48.87	59.05	91.77	76.48	58.31	55.45	114.09	74.56	61.18	55.60	89.48	68.83	85.35	47.80	71.51	93.30	87.95
85	3.8	26.09	49.01	59.17	92.00	76.67	58.49	55.58	114.25	74.75	61.34	55.69	89.70	69.00	85.54	47.92	71.69	93.54	88.17
86	3.9	26.16	49.48	59.54	92.76	77.30	59.08	56.04	114.78	75.37	61.84	55.99	90.44	69.57	86.14	48.31	72.28	94.31	88.90
87	3.9	26.26	50.19	60.12	93.94	78.28	60.00	56.76	115.58	76.33	62.63	56.44	91.59	70.46	87.07	48.93	73.20	95.51	90.03
88	3.9	26.29	50.47	60.34	94.39	78.66	60.34	57.02	115.89	76.69	62.92	56.61	92.03	70.79	87.42	49.16	73.54	95.96	90.45
89	3.9	26.30	50.54	60.39	94.50	78.75	60.43	57.09	115.97	76.78	63.00	56.66	92.14	70.87	87.51	49.22	73.63	96.07	90.56
90	4.0	26.38	51.10	60.85	95.42	79.52	61.15	57.65	116.60	77.53	63.62	57.02	93.04	71.57	88.24	49.70	74.35	97.02	91.45

Fuente: Elaboración Propia.

Por consiguiente, se realizó una gráfica con los datos obtenidos en la tabla 3.2 para representar las correlaciones de los distintos autores y así poder compararlas con las 3 correlaciones obtenidas en el presente trabajo.

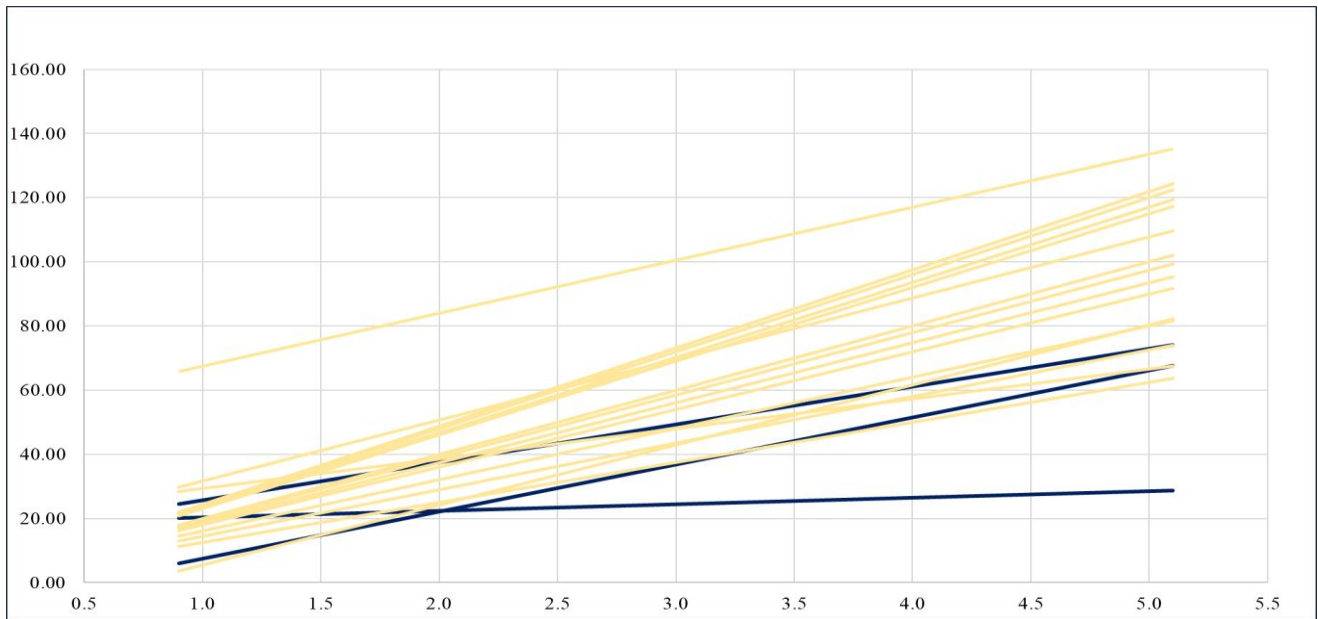


Figura 3. 1 Correlaciones entre el $I_{s(50)}$ y la RCS de 18 autores.

Fuente: Elaboración propia.

La grafica 3.1 representa las correlaciones de 18 autores, donde, las 3 líneas de color azul representan las 3 correlaciones obtenidas en los laboratorios, y las 15 líneas de color melón hacen referencia a las correlaciones teóricas. Al comparar las 3 correlaciones se pudo

observar que la correlación número 1 no sigue un patrón específico con las 17 correlaciones. Sin embargo, las correlaciones número 2 y 3 si tienen una relación con las demás.

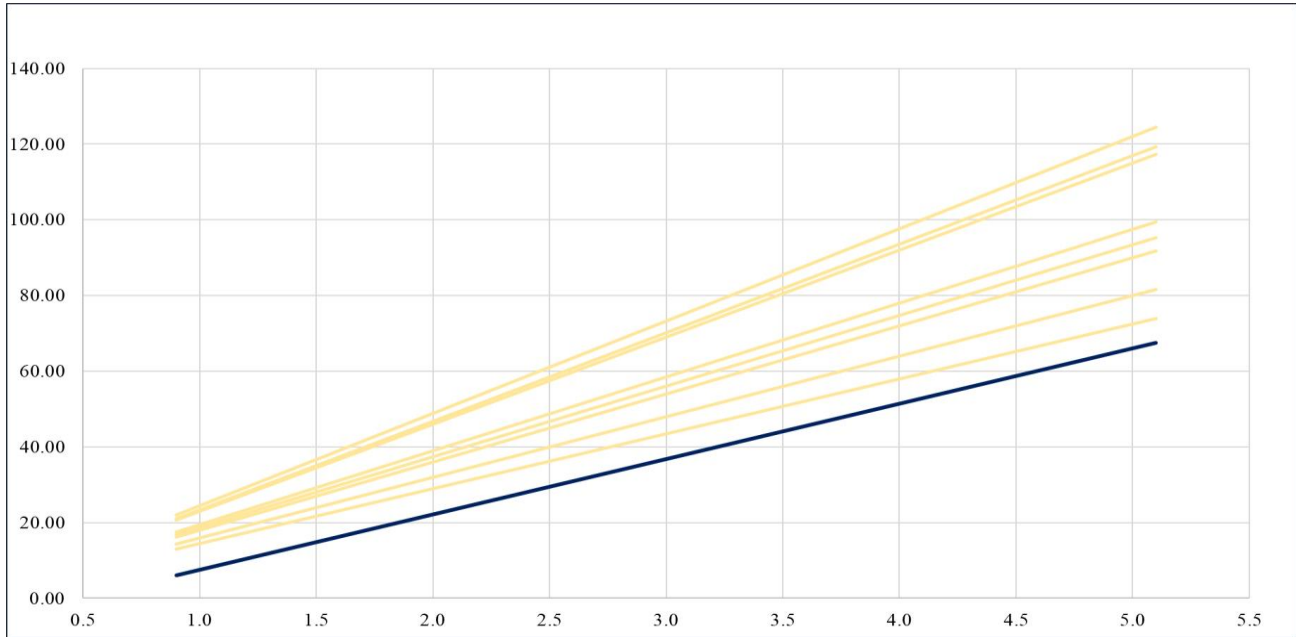


Figura 3. 2 Correlaciones entre el $I_{S(50)}$ y la RCS que son semejantes a la correlación número 2.

Fuente: Elaboración propia.

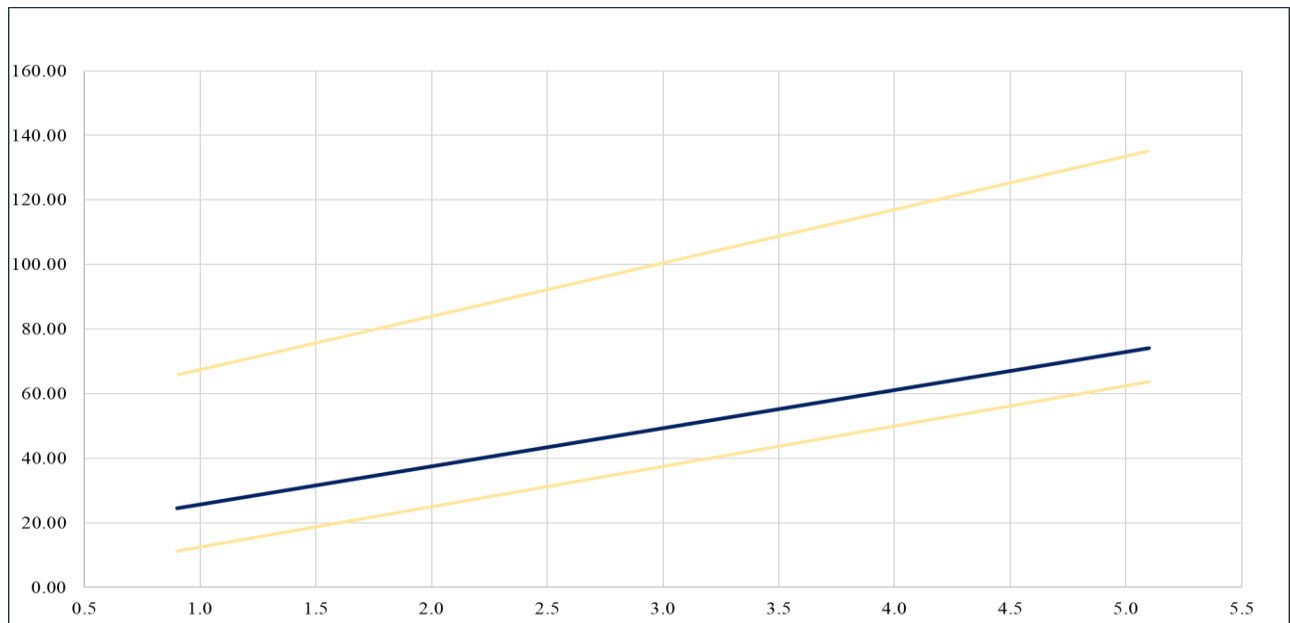


Figura 3. 3 Correlación entre el $I_{S(50)}$ y la RCS que se asemejan a la correlación número 3.

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

- Por medio del ensayo del índice de carga puntual se pudo obtener el $I_{s(50)}$, dándonos como resultado datos que se encuentran en un rango que va desde 3.4 MPa a 4 MPa. Del mismo modo, a partir del ensayo de resistencia a la compresión uniaxial se pudo observar que las rocas con las que se trabajó se encuentran en un rango de 53 MPa a 61 MPa. Por ende, se pudo deducir que la roca andesita se caracteriza por ser una roca dura.
- Para la obtención de las correlaciones entre el $I_{s(50)}$ y la RCS se procedió a realizar 3 graficas, las cuales se caracterizaron por contener en su eje X el $I_{s(50)}$ y en su eje Y la RCS, dándonos como resultado la gráfica 2.6 con una correlación de $\sigma = 2.0208 * I_{s(50)} + 18.347$, con un valor de R^2 igual a **0.7819**, la gráfica 2.7 con una correlación equivalente a $\sigma = 14.632 * I_{s(50)} - 7.0781$, con un coeficiente R^2 de **0.8281** y la gráfica 2.8 con una correlación igual a $\sigma = 11.795 * I_{s(50)} + 13.951$ y con su coeficiente R^2 de **0.9607**. El coeficiente de R^2 de la gráfica número 2.8 tiene un ajuste lineal casi perfecto debido a que su valor de R^2 se acerca a 1.
- De la comparación entre las correlaciones obtenidas en el presente trabajo se pudo obtener que: la correlación número 1 no tiene una relación específica en comparación con las otras 17 correlaciones. No obstante, la correlación número 2 tiene una similitud con las correlaciones de los autores: Foster (7), Delgado R. y Jeremías (9), Grosh y Srivastava (10), Singh y Singh (12), Quinta F. y Machado G. (13), Thuro K. y Plinninger R. (16), Quane y Russel (17) y finalmente con la correlación de Tsiambaos y Sabatakakis (18). Del mismo modo, la correlación número 3 tiene una similitud con la correlación de los autores Gunsallus y Kulhawy (8) y con la correlación de Chauk y Wing R. (15).
- Los resultados de este estudio, en resumen, nos permitieron deducir que no hay una correlación 100% igual a las correlaciones teóricas expuestas por diversos autores. Sin embargo, existen similitud tanto en la correlación número 2 como la correlación número 3.

RECOMENDACIONES

- La obtención de las muestras debe ser por medio de perforaciones, pulido o corte torneado; ya que, si se utiliza cualquier tipo de voladura esta puede formar microfisuras a las rocas o podría ampliar las ya existentes, alterando así los resultados de sus ensayos.
- Es recomendable verifica que las muestras no tengan fracturas, y si lo tiene evitar poner selladores, ya que esto alteraría el resultado de la fuerza de falla, por ende, conllevaría a obtener valores falsos.
- Para desarrollar los ensayos se debe asegurar que las superficies de las muestras estén libres de irregularidades, es decir, deben ser lo más homogéneas posibles para así evitar tener datos erróneos en las fuerzas de rotura de la roca.
- Al momento de realizar los ensayos del $I_s(50)$ y la RCS, se recomienda elaborarlos con una cantidad que sea mayor a 100 muestras, para que así, podamos obtener valores más efectivos.
- En el laboratorio se debe cumplir con todas las medidas de seguridad. Además, de verificar que las maquinas estén en óptimas condiciones para ser utilizadas y así evitar accidentes.

BIBLIOGRAFÍA

Alejano, L., & Ramírez, P. (2004). *Mecánica de rocas: fundamentos e ingeniería de taludes*. Red DESIR.

Alonso, J. (2022). Caracterización de macizos rocosos (Abril. 2007). *ResearchGate*, 15. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/364328640_Caracterizacion_de_macizos_rocosos_Abril_2007

Alvarado, G. (1990). *Los relieves de las rocas ígneas*. Tecnológica de Costa Rica.

Antola, M., Fraga, H., & Polare, M. (2017). *Rocas ígneas*. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura.

Arcia, S. (2021). *Slideshare*. Obtenido de Tuneles y mecánica de rocas: <https://www.slideshare.net/NiaArcia1/clase-5-parte-1>

Astromia. (2010). *Astromia*. Obtenido de El Neógeno: Mioceno y Plioceno: <https://www.astromia.com/tierraluna/neogeno.htm>

Campos, F., Garnier, M., Mora, R., & Sequeria, J. (2021). Aplicación de análisis de admisibilidad cinemática y equilibrio límite para optimizar la geometría de explotación de una cantera en el cantón de León Cortes, San José, Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*(66). doi:<https://doi.org/10.15517/rgac.v66i0.49786>

Enzo, L., Pereyra, M., & Roda, M. (2015). *Rocas sedimentarias y ambientes sedimentarios*. Obtenido de Academia: https://www.academia.edu/28563839/Rocas_sedimentarias

GAD de la parroquia de Cojitambo. (2019). *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial (PDOT) de la parroquia Cojitambo, perteneciente al cantón azogues, provincia del cañar*. Cojitambo.

Galván, M. (2015). *Mecánica de rocas: correlación entre la resistencia a carga puntual y la resistencia a la compresión simple*. Universidad del Valle.

Grupos GInTE. (2012). *Resistencia a carga puntual*. Universidades de Alicante y de La Laguna.

- Idrovo, J. (2021). *Informe de la prospección arqueológica en el complejo arqueológico y monumental de Cojitambo, provincia del Cañar*. Obtenido de <https://www.cojitambo.gob.ec/wp-content/uploads/2021/10/3.-INFORME-DE-LA-PROSPECCION-ARQUEOLOGICA-COJITAMBO.pdf>
- Lutgens, F., & Tarbuck, E. (2005). *Ciencias de la tierra*. Pearson Educación.
- Maldonado, Y. (2020). *GEOLOGIAWEB*. Obtenido de Macizo rocoso, matriz rocosa y discontinuidades. Descripción y caracterización de macizos rocosos: <https://geologiaweb.com/ingenieria-geologica/macizo-rocoso/>
- Medina, K. (2019). *Ensayo de Carga Puntal*. Obtenido de <https://www.scribd.com/document/411128471/Ensayo-de-Carga-Puntal>
- Meredith, S. (2012). *Rocks, Minerals, and Soil*. Rourke Educational Media.
- NLT-252/91. (1991). *NLT-252/91 Determinación del índice de resistencia a la carga puntual*. Obtenido de Normativa de carreteras: <https://normativadecarreteras.com/listing/nlt-25291-determinacion-del-indice-resistencia-la-carga-puntual/>
- Parlamento Andino. (2022). Fundación de Aozgues, Ecuador. *Parlamento Andino*, 1. Obtenido de <https://parlamentoandino.org/index.php/actualidad/noticias/818-fundacion-de-azogues-ecuador-2>
- Quevedo, J., & Reyes, J. (2019). *Construcción de la "Maquina de Franklin", pruebas y correlacion con ensayos e laboratorio en comprasion de rocas*. Obtenido de <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/8954/1/14599.pdf>
- Romana, M. (1996). El ensayo de compresión puntual de Franklin. *Revista Digital del Cedex*, 102(116), 7. doi:<http://ingenieriacivil.cedex.es/index.php/ingenieria-civil/article/view/1126>
- Cojitambo, G. (06 de 2017). Obtenido de <https://www.cojitambo.gob.ec/wp-content/uploads/2021/07/2-Antecedentes.pdf>

- Cuello, A., Rojas, E., Lascarro, F., & Manco, D. (2019). Determinación del uso de la andesita de la Formación Guatapurí en la industria cerámica.
- Feijoo Calle, P., & Padrón Suarez, J. (2020). LA RESISTIVIDAD DE ROCAS Y SU RELACIÓN CON LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE EN MINA.
- GAD PARROQUIA DE COJITAMBO. (2020). *PLAN DE DESARROLLO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PARROQUIA COJITAMBO PERTENECIENTE AL CANTÓN AZOGUES, PROVINCIA DEL CAÑAR. AZOGUES.*
- Galván, M., Ceballos, & Restrepo, I. (2016). Resistance correlation with compression uniaxial effective humidity and porous rocks. *scielo*.
- Moreno, H., & Ibáñez, S. (2018). *Diagrama QAFP*.
- Olivera, C., Carvajal, A., Banegas, G., & Gonzales, J. (2014). Mecánica de suelos. *Ensayo compresión simple*.
- Universidad de Alicante. (31 de 10 de 2020). *Universidad de Alicante*. Obtenido de <https://web.ua.es/es/pim/roca-volcanicas/andesita.html>
- Carrasquilla, A. (2012). *slideshare*. Obtenido de El mioceno: <https://es.slideshare.net/abelgonca/el-mioceno>
- Santiago. (2007). *La litología*. Obtenido de <https://geografia.laguia2000.com/relieve/la-litologia>
- Zaid, E. (2021). *Litología y estratigrafía*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/491156284/5-1-Litologia-y-estratigrafia#>