



Universidad  
Nacional  
de Loja

## Universidad Nacional de Loja

**Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no  
Renovables**

**Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental Y Ordenamiento Territorial**

**Estudio geológico-geotécnico de la galería principal de la mina Montesdeoca  
perteneciente a la Corporación Minera Miranda Miner Mir S.A., Áreas de  
concesión minera Mimopi COD. 264 y Miranda COD. 481.**

**Trabajo de Titulación  
Previo a la obtención del  
título de Ingeniero en  
Geología Ambiental y  
Ordenamiento Territorial**

**AUTOR:**

Steven Fernando Coello Jaramillo

**DIRECTOR:**

Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo Mg. Sc.

Loja – Ecuador  
2023

**Certificación**



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

Loja, 29 de marzo de 2023

Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo Mg. Sc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

**CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Estudio geológico - geotécnico de la galería principal de la mina Montesdeoca, perteneciente a la Corporación Minera Miranda Minermir S.A., Áreas de concesión minera Mimopi COD. 264 y Miranda COD. 481.**, previo a la obtención del título de **Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial**, de la autoría del estudiante **Steven Fernando Coello Jaramillo, con cédula de identidad N° 0706082450**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo Mg. Sc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**



unl

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

## Autoría

Yo, **Steven Fernando Coello Jaramillo**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente, acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi Trabajo de Titulación en el Repositorio Digital Institucional - Biblioteca Virtual.

**Firma:**

**Cedula de identidad:** 0706082450

**Fecha:** Loja, 27/03/2023

**Correo electrónico:** steven.coello@unl.edu.ec / stfernando\_5@hotmail.com

**Teléfono:** 0959560703



unl

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

**Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.**

Yo, **Steven Fernando Coello Jaramillo**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Estudio geológico - geotécnico de la galería principal de la mina Montesdeoca, perteneciente a la Corporación Minera Miranda Minermir S.A., Áreas de concesión minera Mimopi COD. 264 y Miranda COD. 481**, como requisito para optar por el título de **Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los veintisiete días del mes de marzo del dos mil veintitrés.

**Firma:**

**Autor:** Steven Fernando Coello Jaramillo

**Cédula:** 0706082450

**Dirección:** Calle 12 de octubre- Malvas-Zaruma (El Oro)

**Correo electrónico:** steven.coello@unl.edu.ec

**Teléfono Celular:** 0959560703

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Director del Trabajo de Titulación:** Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo, Mg. Sc.





UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

## **Dedicatoria**

El presente Trabajo de Titulación lo dedico con gran afecto a Dios, por su bondad al brindarme el impulso para seguir adelante y convertir todas las crisis en oportunidades, enseñanzas y sobre todo experiencias.

De igual manera este trabajo está dedicado a mi familia, especialmente a mi padre Juan Fernando y a mi madre María Isabel por haber sido mi apoyo incondicional a lo largo de toda mi carrera universitaria, ser ejemplos de superación y fortaleza al convertirse en pilares fundamentales en cada etapa de mi vida, como también educarme en un ambiente lleno de valores y principios. Mi gratitud incondicional por cada uno de sus consejos de amor, esfuerzo, sacrificios, apoyo en el cumplimiento de mis sueños y metas propuestas.

A mis hermanos Juan Diego y Mateo por su apoyo permanente, paciencia y comprensión, a todas las personas especialmente a mis docentes y mis amigos que me acompañaron en esta etapa, aportando a mi formación tanto profesional como ser humano.

***Steven Fernando Coello Jaramillo***



unl

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

## **Agradecimiento**

A la prestigiosa Universidad Nacional de Loja que me ha otorgado a través de la Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial una adecuada formación académica.

Al Ing. Iván Puglla, Mg. Sc, director del presente Trabajo de Titulación, gracias por brindarme su asesoramiento, confianza y conocimientos durante el desarrollo de la presente investigación como también experiencias en las diferentes prácticas de campo.

Al Sr. Pablo López por darme la oportunidad de elaborar mi Trabajo de Titulación en su empresa minera.

Al Ing. Henry Solano mi gratitud por su colaboración y valiosas sugerencias en las diferentes etapas de la presente investigación. Así mismo a los moradores del sector la Píllasela, por la apertura y las facilidades otorgadas durante el presente trabajo investigativo.

A mis padres y hermanos, gracias por su cariño, preocupación, consejos, enseñanzas, esfuerzos, sacrificios y apoyo incondicional que me han concedido siempre.

A mi grupo de amigos de la Universidad, mi gratitud por consolidarse como un gran equipo de estudio y trabajo; donde primó siempre el compañerismo, intercambio de ideas, el apoyo mutuo en salidas de campo y en la elaboración de informes. Gracias por la excelente amistad durante toda la etapa universitaria.

***Steven Fernando Coello Jaramillo***



UNL

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables

## Índice de contenido

<b>Portada</b> .....	<b>i</b>
<b>Autoría</b> .....	<b>iii</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>vi</b>
<b>Índice de contenido</b> .....	<b>vii</b>
Índice de tablas:.....	xi
Índice de figuras: .....	xiv
Índice de Anexos.....	xiv
Índice de fotografías:.....	xv
Índice de gráficos: .....	xvi
<b>1. Título</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Resumen</b> .....	<b>2</b>
2.1. Abstract .....	4
<b>3. Introducción</b> .....	<b>6</b>
<b>4. Marco teórico</b> .....	<b>8</b>
4.1. Topografía.....	8
4.1.1. Levantamiento topográfico .....	8
4.1.2. Levantamiento de minas.....	9
4.1.3. Planimetría .....	9
4.1.4. Curvas de Nivel .....	9
4.1.5. Taquimetría .....	10
4.1.6. Topografía Subterránea .....	11
4.1.6.1 La estación total. ....	11
4.2. Geología.....	11



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

4.2.1. Roca.....	13
4.2.1.1. Geología histórica.....	13
4.2.1.2. Cristalización.....	17
4.2.1.3. Rocas ígneas.....	17
4.2.1.4. Proceso de formación de las rocas ígneas.....	18
4.2.2. Geología Estructural:.....	19
4.2.2.1. Esfuerzos.....	20
4.2.2.2. Deformaciones.....	20
4.2.2.3. Contacto.....	21
4.2.2.4. Fallas Geológicas.....	22
4.2.2.5. Fracturas.....	23
4.2.2.6. Pliegues.....	23
4.2.2.7. Diaclasas.....	24
4.2.2.8. Discordancias.....	24
4.2.2.9. Discontinuidades.....	24
4.2.3. Geología económica.....	25
4.2.4. Origen de los yacimientos minerales.....	25
4.2.5. Procesos exógenos superficiales.....	26
4.2.6. Yacimientos Hidrotermales.....	27
4.2.7. Yacimientos Epitermales.....	30
4.2.7.1. Características de los yacimientos epitermales.....	30
4.3. Geotecnia.....	32
4.3.1. Propiedades físico -mecánicas de la roca.....	33
4.3.1.1. Deformabilidad.....	34
4.3.2. Método de Bieniawski.....	35
4.3.3. Clasificación Q de Barton, Lien y Lunde.....	38
4.3.4. Clasificación GSI de Hoek.....	42
4.3.5. Resistencia a la Compresión Simple de Rocas.....	44
4.3.6. Sostenimientos.....	45



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

<b>5. Metodología</b> .....	<b>49</b>
5.1. Materiales .....	49
5.2. Ubicación y Acceso a lugar de Estudio .....	50
5.2.1. Ubicación Geográfica .....	50
5.2.2. Acceso .....	51
5.2.3. Datos Generales de las concesiones mineras. ....	52
5.2.4. Clima .....	52
5.2.5. Sísmica .....	56
5.2.6. Geomorfología.....	57
5.2.7. Red Hidrográfica .....	58
5.2.4. Primer objetivo .....	61
5.2.5. Segundo objetivo.....	63
5.2.3. Tercer objetivo .....	66
<b>6. Resultados</b> .....	<b>70</b>
<u>6.1. Topografía del Área de Estudio</u> .....	70
6.1.1. Topografía Superficial.....	70
6.1.2. Topografía Subterránea .....	72
6.1.3. Clima .....	75
<u>6.2. Geología de la galería principal de transporte.</u> ....	83
6.2.1. Geología Regional .....	83
6.2.2. Geología Local .....	86
6.2.3. Estructuras del Distrito Zaruma Portovelo.....	87
6.2.4. Mineralización del Distrito Zaruma Portovelo.....	91
6.2.5. Geología del Sector .....	92
<u>6.2.6. Geología de la Galería Montesdeoca</u> .....	93



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

6.2.7. Caracterización geológica de las vetas de la galería .....	122
6.3. Caracterización geotecnia de la galería principal de transporte.....	129
6.3.1. Resistencia a la compresión simple.....	129
6.3.2. RQD (Rock Quality Designation) .....	132
6.3.3. Espaciado de las discontinuidades. ....	134
6.3.4. Condición de las juntas.....	135
6.3.5. Agua subterránea.....	140
6.3.6. Resultados e interpretación de la clasificación RMR de Bieniawski (1989) .....	141
6.3.7. Evaluación de los parámetros según Barton, Lunden y Cruden.....	156
6.3.8. Evaluación de los parámetros según el GSI (Índice de Resistencia Geológica). .....	168
<b>7. Discusión .....</b>	<b>172</b>
<b>8. Conclusiones .....</b>	<b>174</b>
<b>9. Recomendaciones .....</b>	<b>177</b>
<b>10. Bibliografía .....</b>	<b>178</b>
<b>11. Anexos .....</b>	<b>181</b>



unl

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

## Índice de tablas:

<b>Tabla 1.</b> Conversión de Azimut a Rumbo .....	12
<b>Tabla 2.</b> Épocas del terciario. ....	16
<b>Tabla 3.</b> Clasificación de yacimientos hidrotermales según la temperatura de formación y minerales.....	27
<b>Tabla 4.</b> Resistencia a la roca. ....	36
<b>Tabla 5.</b> Valoración ara el RQD. ....	36
<b>Tabla 6.</b> Valoración del espaciado de las discontinuidades. ....	37
<b>Tabla 7.</b> Condiciones de las discontinuidades.....	37
<b>Tabla 8.</b> Rugosidad de las discontinuidades.....	37
<b>Tabla 9.</b> Condiciones hidrogeológicas .....	37
<b>Tabla 10.</b> Clasificación del Macizo Rocoso en Relación al Q de Barton.....	39
<b>Tabla 11.</b> Calidad del R.Q.D. ....	39
<b>Tabla 12.</b> Número de familias juntas ( $J_n$ ). ....	39
<b>Tabla 13.</b> Rugosidad de las juntas ( $J_r$ ). ....	40
<b>Tabla 14.</b> Meteorización de las juntas ( $J_a$ ). ....	40
<b>Tabla 15.</b> Coeficiente reductor que tiene en cuenta la presencia de agua ( $J_w$ ). ....	41
<b>Tabla 16.</b> Condiciones tensionales SRF. ....	41
<b>Tabla 17.</b> Índice de resistencia geológica (GSI). Modificado. ....	43
<b>Tabla 18.</b> Clasificación de la roca en base a la resistencia a la compresión según la ISRM.....	45
<b>Tabla 19.</b> Equipos y materiales a utilizar .....	49
<b>Tabla 20.</b> Coordenadas del área de concesión MIMOPI (DATUM: WGS84 Zona 17-Sur) .....	50
<b>Tabla 21.</b> Coordenadas del área de concesión MIRANDA (DATUM: WGS84 Zona 17-Sur) ....	50
<b>Tabla 22.</b> Datos generales de la concesión minera MIMOPI Código 264. ....	52
<b>Tabla 23.</b> Datos generales de la concesión minera MIRANDA Código 481. ....	52
<b>Tabla 24.</b> Tabla de estaciones meteorológicas. ....	52
<b>Tabla 25.</b> Clases de clima según Lang. ....	53
<b>Tabla 26.</b> Tipos Climáticos Caldas - Lang. ....	53
<b>Tabla 27.</b> Zonas de peligro sísmico.....	57
<b>Tabla 28.</b> Ficha de puntos de la estación total.....	63



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

<b>Tabla 29.</b> Ficha de descripción de afloramientos. ....	64
<b>Tabla 30.</b> Ficha de descripción de muestras de mano interior mina .....	65
<b>Tabla 31.</b> Tipo de roca con sus características. ....	66
<b>Tabla 32.</b> Clasificación de BIENIAWSKI (RMR) 1989.....	68
<b>Tabla 33.</b> Clasificación de Geomecánica G.S.I.....	69
<b>Tabla 34.</b> Descripción de infraestructura existente en el área minera MONTESDEOCA.....	71
<b>Tabla 35.</b> Coordenadas galería Montesdeoca (Datum PSAD56-Zone 17 S) .....	72
<b>Tabla 36.</b> Descripción de la geomorfología .....	79
<b>Tabla 37.</b> Principales dominios fisiográficos de Zaruma. ....	81
<b>Tabla 38.</b> Muestra de mano 1, tramo P1-P4, con su diagrama de Streckeisen (1976). ....	107
<b>Tabla 39</b> Muestra de mano 2, tramo P4-P8, con su diagrama de Streckeisen (1976). ....	108
<b>Tabla 40.</b> Muestra de mano 3, tramo P8-P13A, con su diagrama de Streckeisen (1976). ....	109
<b>Tabla 41.</b> Muestra de mano 4, tramo P11A1-P66, con su diagrama de Streckeisen (1976). ....	110
<b>Tabla 42.</b> Muestra de mano 5, tramo P66-P74, con su diagrama de Streckeisen (1976). ....	111
<b>Tabla 43.</b> Muestra de mano 6, tramo P13A-P13B, con su diagrama de Streckeisen (1976). ....	112
<b>Tabla 44.</b> Muestra de mano 7, tramo P13B-P17, con su diagrama de Streckeisen (1976). ....	113
<b>Tabla 45.</b> Muestra de mano 8, tramo P17-P20, con su diagrama de Streckeisen (1976) .....	114
<b>Tabla 46.</b> Muestra de mano 9, tramo P20-P22, con su diagrama de Streckeisen (1976). ....	115
<b>Tabla 47.</b> Muestra de mano 10, tramo P22-P23, con su diagrama de Streckeisen (1976). ....	116
<b>Tabla 48.</b> Muestra de mano 11, tramo P23-P25, con su diagrama de Streckeisen (1976). ....	117
<b>Tabla 49.</b> Muestra de mano 12, tramo P34-P36, con su diagrama de Streckeisen (1976). ....	118
<b>Tabla 50.</b> Muestra de mano 13, tramo P36-P38, con su diagrama de Streckeisen (1976). ....	119
<b>Tabla 51.</b> Muestra de mano 14, tramo P38-P40, con su diagrama de Streckeisen (1976). ....	120
<b>Tabla 52.</b> Resultados de cada tramo con su tipo de roca y textura.....	121
<b>Tabla 53.</b> Resultados de laboratorio del ensayo a la compresión simple. ....	130
<b>Tabla 54.</b> Resultados del RQD por cada tramo. ....	133
<b>Tabla 55.</b> Resultados de espaciado de las discontinuidades por cada tramo.....	134
<b>Tabla 56.</b> Resultados de la Persistencia de las juntas por cada tramo. ....	135
<b>Tabla 57.</b> Resultados de la apertura de las juntas de cada tramo. ....	136
<b>Tabla 58.</b> Resultados de la rugosidad de las.....	137
<b>Tabla 59.</b> Relleno de las juntas por cada tramo.....	138





UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

<b>Tabla 60.</b> Alteración de las juntas por cada tramo. ....	139
<b>Tabla 61.</b> Agua subterránea por cada tramo. ....	140
<b>Tabla 62.</b> Resultados del RMR de Bieniawski tramo P1-P4.....	141
<b>Tabla 63.</b> Resultados del RMR de Bieniawski tramo P4 - P8.....	142
<b>Tabla 64.</b> Resultados del RMR de Bieniawski tramo P8 - P13A.....	143
<b>Tabla 65.</b> Resultados del RMR de Bieniawski tramo P11 - P66.....	144
<b>Tabla 66.</b> Resultados del RMR de Bieniawski tramo P66 - P74.....	145
<b>Tabla 67.</b> Resultados del RMR de Bieniawski tramo P13A - P13B .....	146
<b>Tabla 68.</b> Resultados del RMR de Bieniawski tramo P13B - P17. ....	147
<b>Tabla 69.</b> Resultados del RMR de Bieniawski tramo P17 - P20.....	148
<b>Tabla 70.</b> Resultados del RMR de Bieniawski tramo P20 - P22.....	149
<b>Tabla 71.</b> Resultados del RMR de Bieniawski tramo P22 - P23.....	150
<b>Tabla 72.</b> Resultados del RMR de Bieniawski tramo P23 - P25.....	151
<b>Tabla 73.</b> Resultados del RMR de Bieniawski tramo P34 - P36.....	152
<b>Tabla 74.</b> Resultados del RMR de Bieniawski tramo P36 - P38.....	153
<b>Tabla 75.</b> Resultados del RMR de Bieniawski tramo P38 - P40.....	154
<b>Tabla 76.</b> Resultados del RMR de Bieniawski de todos los segmentos.....	155
<b>Tabla 77.</b> Resultados de la Clasificación Q de Barton. ....	160
<b>Tabla 78.</b> Resultados del Índice Q del tramo 1. ....	161
<b>Tabla 79.</b> Resultados del Índice Q del tramo 2. ....	161
<b>Tabla 80.</b> Resultados del Índice Q del tramo 3. ....	162
<b>Tabla 81.</b> Resultados del Índice Q del tramo 4. ....	162
<b>Tabla 82.</b> Resultados del Índice Q del tramo 5. ....	163
<b>Tabla 83.</b> Resultados del Índice Q del tramo 6. ....	163
<b>Tabla 84.</b> Resultados del Índice Q del tramo 7. ....	164
<b>Tabla 85.</b> Resultados del Índice Q del tramo 8. ....	164
<b>Tabla 86.</b> Resultados del Índice Q del tramo 9. ....	165
<b>Tabla 87.</b> Resultados del Índice Q del tramo 10. ....	165
<b>Tabla 88.</b> Resultados del Índice Q del tramo 11. ....	166
<b>Tabla 89.</b> Resultados del Índice Q del tramo 12. ....	166
<b>Tabla 90.</b> Resultados del Índice Q del tramo 13. ....	167



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

<b>Tabla 91.</b> Resultados del Índice Q del tramo 14. ....	167
<b>Tabla 92.</b> Resultados de la Clasificación GSI. ....	169
<b>Tabla 93.</b> Parámetros Predominantes en las Clasificaciones RMR, Q de Barton y GSI.....	171

### Índice de figuras:

<b>Figura 1.</b> Planos equidistantes formando curvas de nivel. ....	10
<b>Figura 2.</b> Yacimientos epitermales.....	30
<b>Figura 3.</b> Modelo simplificado para los depósitos de alta, intermedia y baja sulfuración (Sillitoe, 1995; González, 2008). ....	31
<b>Figura 4.</b> Sostenimientos a partir del índice RMR (1989) .....	48
<b>Figura 5.</b> Ubicación de la bocamina y sus concesiones mediante Google Earth Pro.....	51
<b>Figura 6.</b> Poligonal Cerrada (Triangulación) .....	62
<b>Figura 7.</b> Evidencia de poligonal cerrada.....	62
<b>Figura 8.</b> Mapa topográfico subterráneo. ....	74
<b>Figura 9.</b> Mapa de Isotermas del área de estudio. ....	75
<b>Figura 10.</b> Mapa de Isoyetas del área de estudio.....	76
<b>Figura 11.</b> Mapa de amenazas sísmicas del Ecuador. ....	78
<b>Figura 12.</b> Mapa de geomorfología del área de estudio. ....	79
<b>Figura 13.</b> Red hidrográfica, distrito Zaruma-Portovelo.....	82
<b>Figura 14.</b> A) Mapa digital de elevación de Ecuador que muestra las principales provincias fisiográficas definidas por Litherland et al. (1994) B) Mapa geológico y metalogénico simplificado del margen sudamericano del noroeste que muestra la distribución de unidad.....	83
<b>Figura 15.</b> Mapa geológico del centro-sur de Ecuador que muestra las posiciones de los depósitos minerales del oligoceno tardío y del mioceno tardío investigados en este estudio. ....	84
<b>Figura 16.</b> Mapa estructural distrito Zaruma- Portovelo.....	88
<b>Figura 17.</b> Mega estructuras regionales de primer y segundo orden: Falla Jubones (FJ), Girón (FGi), Piñas- Portovelo (FPP); fallas de tercer orden:Falla Gañarín, Cerro Azul, Chilla, Paccha, Atahualpa, Puente Buza-palestina.....	90



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

## Índice de fotografías:

<b>Fotografía 1.</b> Proceso de elaboración de cubos perfecto para el ensayo de compresión simple...	67
<b>Fotografía 2.</b> Bocamina Montesdeoca (Concesión minera MIMOPI código.264) .....	73
<b>Fotografía 3.</b> Vista general de la geomorfología del cantón Zaruma. Se observan relieves tipo R5 (Relieve colinado alto) y R6 (Relieve colinado muy alto) .....	80
<b>Fotografía 4.</b> Vista general de geomorfología del cantón Zaruma y la BOCAMINA de la mina "Montesdeoca" .....	80
<b>Fotografía 5.</b> Afloramiento de andesitas altamente meteorizadas. ....	93
<b>Fotografía 6.</b> Falla Normal en el punto P2.....	94
<b>Fotografía 7.</b> Falla en el punto P8, sostenimiento de madera y presencia de milonita. ....	95
<b>Fotografía 8.</b> Falla inversa en el punto P9 que corta la veta Az. ....	96
<b>Fotografía 9.</b> Falla normal de 0.5 m de salto de falla, con sostenimiento de madera. ....	96
<b>Fotografía 10.</b> Falla en baipás (P11A3), presencia de milonita y filtración de agua. ....	97
<b>Fotografía 11.</b> Falla normal de 2.5 m de salto de falla en el punto P54 a P57, con sostenimiento de madera. ....	98
<b>Fotografía 12.</b> Falla normal con 60 cm de salto de falla, con presencia de milonita y filtración en el resbalón alto.....	99
<b>Fotografía 13.</b> Falla inversa de 0.5 m de salto de falla con andesita alterada.....	100
<b>Fotografía 14.</b> Falla INFERIDA entre la veta F y la veta A, con presencia de milonita y cuarzo alterado. ....	101
<b>Fotografía 15.</b> Winche de 33.2 m, con inclinación. de 21°.....	101
<b>Fotografía 16.</b> Andesita basáltica identificada en el tramo P19, sector fracturado.....	102
<b>Fotografía 17.</b> Falla inversa en el P19, con un salto de falla de 30 cm.....	102
<b>Fotografía 18.</b> Identificación de minerales de una roca andesita con textura porfídica, tramo P20-P22.....	103
<b>Fotografía 19.</b> Falla inversa en el punto P36A, corta en su totalidad a la veta A.....	104
<b>Fotografía 20.</b> Andesita basáltica de textura afanítica con vetillas, en el tramo P36-P38.....	105
<b>Fotografía 21.</b> Identificación de minerales con el microscopio del laboratorio de la carrera. ....	106
<b>Fotografía 22.</b> Identificación de veta con mineralización (tramo P11A5).....	122
<b>Fotografía 23.</b> Oxidación de la Py y CPy.....	123
<b>Fotografía 24.</b> Veta Az en el punto P65 con textura de la mena tipo crustiforme. ....	123



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

<b>Fotografía 25.</b> Veta F con presencia de bandeamiento. ....	124
<b>Fotografía 26.</b> Muestra de veta F, con presencia exigua de mineralización de Py – CPy y cuarzo lechoso. ....	124
<b>Fotografía 27.</b> Veta M en el P74, puro cuarzo lechoso con mínima mineralización de Py. ....	125
<b>Fotografía 28.</b> Veta B en el punto P25 con estructura brechoide y crustiforme con mínima cantidad de Py-CPy. ....	126
<b>Fotografía 29.</b> Veta A en el punto P36 su estructura de veta es crustiforme y bandeada, con presencia de minerales (Py-CPy-Ga). ....	127
<b>Fotografía 30.</b> Veta E en el punto P39 con textura brechoide-crustiforme y presencia mínima de mineralización. ....	128
<b>Fotografía 31.</b> Muestras de roca sometidas al ensayo de compresión simple. ....	129
<b>Fotografía 32.</b> Toma de la Rugosidad con el Peine de Bartom. ....	137

### Índice de gráficos:

<b>Gráfico N° 1.</b> Gráfico del ensayo a la compresión simple con respecto a la tabla 49. ....	130
<b>Gráfico N° 2.</b> Gráfico del grado de fracturamiento del RQD con respecto a la tabla 50. ....	133
<b>Gráfico N° 3.</b> Espaciado entre las juntas con respecto a la tabla 51. ....	134
<b>Gráfico N° 4.</b> Persistencia de las juntas con respecto a la tabla 52. ....	135
<b>Gráfico N° 5.</b> Gráfico de Apertura de las juntas. ....	136
<b>Gráfico N° 6</b> Gráfico de la Rugosidad de las juntas. ....	137
<b>Gráfico N° 7.</b> Gráfico del Relleno de las juntas. ....	138
<b>Gráfico N° 8.</b> Gráfico de alteración de las juntas. ....	139
<b>Gráfico N° 9.</b> Gráfico del agua subterránea. ....	140
<b>Gráfico N° 10.</b> Número de familia de juntas o discontinuidades. ....	156
<b>Gráfico N° 11.</b> Rugosidad de las juntas. ....	157
<b>Gráfico N° 12.</b> Grado de alteración de las juntas. ....	158
<b>Gráfico N° 13.</b> Presencia de agua. ....	158
<b>Gráfico N° 14.</b> SRF (Stress Reduction Factor). ....	159
<b>Gráfico N° 15.</b> Estructura de la masa rocosa. ....	168
<b>Gráfico N° 16.</b> Condición superficial de la masa rocosa. ....	168



*unl*

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

## **1. Título**

**Estudio geológico-geotécnico de la galería principal de la mina Montesdeoca perteneciente a la Corporación Minera Miranda Minermir S.A., Áreas de concesión minera Mimopi**

**COD. 264 y Miranda COD. 481.**



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

## 2. Resumen

La mina “Montesdeoca” perteneciente a la Corporación Minera Miranda Minermir S.A., Áreas de concesión minera Mimopi COD. 264 y Miranda COD. 481. Es una pequeña empresa minera que desarrolla actividades de exploración y explotación, está localizada en la provincia de El Oro, cantón Zaruma, parroquia Zaruma, se encuentra a 4km por la vía a Roma /Sinsao /Ortega /Salvias formando parte del distrito aurífero polimetálico Zaruma Portovelo mismo que se ha desarrollado desde tiempos coloniales. las áreas mineras constan de 18 y 18.6 hectáreas la mina se encuentra en coordenadas (655165; 9593180) en cota de 1266 m.s.n.m. El presente tema de investigación está basado en el estudio Geológico- Geotécnico de la galería principal de transporte, con el objetivo primordial de proponer posibles medidas de fortificación o sostenimiento, para dar estabilidad a sectores que lo requieran dentro de la mina

La presente investigación incluye análisis litológicos (mapeo de unidades geológicas), análisis estructurales, mineralógicos que permiten determinar la paragénesis y texturas de los mismos. La mineralización se distingue por presentarse en estructuras vetiformes asociadas a yacimientos epitermales de baja sulfuración, en donde la mineralización se aloja en rocas andesitas basálticas y andesitas de texturas porfídicas, afaníticas y faneríticas pertenecientes al miembro Portovelo. Principalmente se identifican alteración propilítica, existiendo oxidación de minerales de hierro y hematita afectando a la roca caja y las vetas que se encuentran en la zona de estudio.

Las vetas que se encuentran en la galería principal de transporte tienen un rumbo longitudinal N-S, presentan una mineralogía rica en carbonatos, malaquita (Mq), rica en sulfuros primarios, pirita (Py), calcopirita (CPy), galena (Gn), y de sulfuros secundarios; calcosina (Cc), covelita (Cv) mismos que se han formado por la alteración de los sulfuros primarios. La mineralización presenta texturas de cuarzo con sulfuro masivo, cuarzo masivo lechoso, texturas en bandas crustiformes-coloformes.

De acuerdo al “Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo en el ámbito minero”; con el objetivo de precautelar la seguridad del personal en todas las fases de la actividad minera; haciendo énfasis en el Art. 41 y 134 que están enfocados hacia el estudio geomecánico y el plan de minado, que permita la seguridad de los trabajadores y maquinarias, así como la estabilidad de



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

las excavaciones, además de que galerías que no se encuentren fortificadas, será necesario realizar procesos de estabilización para corregir las anomalías.

Conseguida la topografía superficial y subterránea, se procedió a detallar la geología con el diagrama de Streckeisen (QAPF) con el fin de conocer el nombre técnico de la roca, por ende se delimitó 14 segmentos considerando sus características mineralógicas y a su vez se ejecutó la caracterización del macizo rocoso dentro la galería principal de transporte mediante las clasificaciones geomecánicas: RMR de Bieniawski, Q de Barton y GSI, se procedió recopilar toda la información para dar una calificación unificada a los macizos rocosos y proponer medidas de sostenimiento en donde se requieran dentro de la galería principal de transporte de la mina “Montesdeoca”.

**Palabras Claves:** Minería, Topografía, Caracterización geotécnica, texturas crustiforme-coloforme.



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

## 2.1. Abstract

The "Montesdeoca" mine belonging to the Corporación Minera Miranda Minermir S.A., Mimopi COD mining concession areas. 264 and Miranda COD. 481. It is a small mining company that carries out exploration and exploitation activities, it is located in the province of El Oro, Zaruma canton, Zaruma parish, it is located 4 km along the road to Roma / Sinsao / Ortega / Salvias, forming part of the gold district The same polymetallic Zaruma Portovelo that has been developed since colonial times. The mining areas consist of 18 and 18.6 hectares. The mine is located at coordinates (655165; 9593180) at an elevation of 1,266 meters above sea level. This research topic is based on the Geological-Geotechnical study of the main transport gallery, with the primary objective of proposing possible fortification or support measures, to give stability to sectors that require it within the mine.

The present investigation includes lithological analyzes (mapping of geological units), structural and mineralogical analyzes that allow determining their paragenesis and textures. The mineralization is distinguished by occurring in vein structures associated with low sulphidation epithermal deposits, where the mineralization is hosted in porphyritic andesite, aphanitic andesite and basaltic andesite rocks belonging to the Portovelo member. Mainly propylitic alteration is identified, with oxidation of iron ores and hematite affecting the box rock and veins found in the study area.

The veins found in the main transport gallery have a longitudinal N-S course, present a mineralogy rich in carbonates, malachite (Mq), rich in primary sulfides, pyrite (Py), chalcopyrite (Ccp), galena (Gn), and of secondary sulfides; calcosina (Cc), covelita (Cv) same that have been formed by the alteration of the primary sulfides. The mineralization presents quartz textures with massive sulfide, milky massive quartz, textures in crustiform-coloform bands.

According to the "Regulation of Safety and Health at Work in the mining field"; with the objective of safeguarding the safety of personnel in all phases of mining activity; emphasizing Art. 41 and 134 that are focused on the geomechanical study and the mining plan, which allows the safety of workers and machinery, as well as the stability of the excavations, in addition to galleries that are not fortified, it will be necessary to carry out stabilization processes to correct the anomalies.





UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

Once the surface and underground topography was obtained, the geology was detailed with the Streckeisen diagram (QAPF) and in turn the characterization of the rock mass in a total of 14 geomechanical sections within the main transport gallery through the geomechanical classifications: Bieniawski RMR, Q de Barton and GSI, we proceeded to collect all the information to give a rating to the rock masses and propose support measures where they are required within the main transport gallery of the "Montesdeoca" mine.

**Keywords:** Mining, Topography, Geotechnical characterization, crustiform-colloform textures.



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

### 3. Introducción

Nuestro país presenta condiciones geológicas que permiten que sea privilegiada no solo por la biodiversidad, sino por la presencia de yacimientos metálicos y no metálicos que se posee. Desde tiempo atrás se viene desarrollando actividades mineras. En Ecuador tiene origen en las operaciones que se han realizado desde el siglo XVI en el área Portovelo- Zaruma. Especialmente se ha desarrollado actividades dentro de la categorización de minería artesanal y pequeña minería. En su mayoría produce afectaciones al entorno por la falta de procedimientos técnicos. Actualmente el país se está proyectando a la industrialización minera y para ello ya existen proyectos estratégicos para su explotación.

La galería de estudio es la mina Montesdeoca perteneciente a la Corporación Minera Miranda Minermir S.A., Áreas de concesión minera Mimopi COD. 264 y Miranda COD. 481. se ubicada geográficamente al Este de la cordillera occidental de los Andes dentro de jurisdicción de la cabecera urbana del cantón Zaruma, provincia de El Oro.

El uso y aprovechamiento de los recursos minerales en esta mina se lo ha venido trabajando desde algunas décadas atrás, debido a que es la principal actividad que permite el progreso y mejora las condiciones de vida de ciertas personas, en algunos casos se han encontrado yacimientos de manera casual, lo que ha permitido que se desarrolle actividades de extracción y beneficio de los mismos, sin estudios previos que garanticen su correcta explotación, como también no se realiza su análisis geotécnico e interpretación del macizo rocoso para evaluar el sector y concluir que tramo es necesario un sostenimiento. Razón por la cual se ha planteado el presente trabajo de titulación el cual comprende

“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DE LA GALERÍA PRINCIPAL DE LA MINA MONTESDEOCA PERTENECIENTE A LA CORPORACIÓN MINERA MIRANDA MINERMIR S.A., ÁREAS DE CONCESIÓN MINERA MIMOPI COD. 264 Y MIRANDA COD. 481.”

Con el propósito de ayudar a la empresa a tener un mejor planeamiento para la fortificación y sostenimiento de la galería principal de transporte, la cual se categoriza como pequeña minería y se encuentra en la fase de exploración y explotación.



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

- **Objetivo general**

Realizar el estudio Geológico-Geotécnico de la galería principal de la mina Montesdeoca perteneciente a la Corporación Minera Miranda Minermir S.A., Áreas de concesión minera Mimopi COD. 264 y Miranda COD. 481.

- **Objetivos específicos**

- Elaborar el levantamiento topográfico de la galería principal de la mina Montesdeoca de la Corporación Minera Miranda Minermir S.A.
- Realizar el mapeo geológico de la línea principal tomando en cuenta las características litológicas, mineralógicas, texturales y estructurales.
- Caracterizar geotécnicamente la galería principal de la mina Montesdeoca de la Corporación Minera Miranda Minermir S.A.



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

## 4. Marco teórico

### 4.1. Topografía

Ferrer, (1987). Indica que la topografía es la ciencia que estudia el conjunto de principios y procedimientos que tienen por objeto la representación gráfica de la superficie de la tierra, con sus formas y detalles, tanto naturales como artificiales

Aranha, Domínguez (1979), enuncia que la topografía es el conjunto de principios, métodos, instrumentos y procedimientos utilizados para la determinación del entorno, dimensiones y posición relativa de una porción limitada de la superficie terrestre.

Según S. Alcántara (2007), la topografía es la ciencia que se encarga de determinar las posiciones relativas o absolutas de los puntos sobre la Tierra, estos puntos son obtenidos mediante un levantamiento de campo, el cual consiste en un conjunto de operaciones y medios puestos en práctica para establecer su posición en el terreno y su representación en un plano.

Gámez, W. (2015). Menciona que la función de la topografía es medir extensiones de tierra tomando datos para su representación gráfica en un plano a escala, sus formas y accidentes. Explica que determina distancias horizontales y verticales entre puntos y objetos sobre la superficie terrestre permitiendo la medición de ángulos y establecer puntos por medio de ángulos y distancias previamente determinados (replanteo). Todo este conjunto de operaciones sirve para su posterior representación en un plano.

#### 4.1.1. Levantamiento topográfico

Conjunto de operaciones que tienen por objeto determinar la posición de puntos en el espacio y su representación en un plano, el conjunto de operaciones incluye:

- Selección del método de levantamiento y Elección del equipo a utilizar.
- Identificar y ubicar posibles vértices de apoyo.
- Realización de mediciones en terreno.
- Cálculo y procesamiento de datos.
- Elaboración de planos. (Rincón, M., Vargas, W., & González, C.,2017).



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

#### **4.1.2. Levantamiento de minas**

Según (Navarro, 2008) estos levantamientos tienen por objeto fijar y controlar la posición de los trabajos subterráneos requeridos para la explotación de minas de materiales minerales y relacionados con las obras superficiales. Las operaciones corresponden a las siguientes:

- Determinación en la superficie del terreno de los límites legales de la concesión y amojonamiento de los mismos.
- Levantamiento topográfico completo del terreno ocupado por la concesión y confeccionamiento del plano o dibujo topográfico correspondiente.
- Localización en superficie de los pozos, excavaciones, perforaciones para las exploraciones, las vías férreas, las plantas de trituración de agregados y minerales y demás detalles característicos de estas explotaciones.
- Levantamientos subterráneos necesarios para la localización de todas las galerías o túneles de la misma.
- Cubicación de tierras y minerales extraídos de la excavación en la mina

#### **4.1.3. Planimetría**

Según (Navarro L., 2008) es la representación horizontal de los datos de un terreno que tiene por objeto determinar las dimensiones de este. Se estudian los procedimientos para fijar las posiciones de puntos proyectados en un plano horizontal, sin importar sus elevaciones. Dicho de otra manera, estamos representando el terreno visto desde arriba o de planta.

Para la planimetría podemos usar la cinta o el teodolito como instrumento universal. Las distancias con que se trabaja y que se marcan en planos siempre son horizontales, por tanto, las distancias siempre que se puede se miden horizontales o se convierten a horizontales con datos auxiliares. La cinta determina las distancias con mayor exactitud, con teodolito tiene menor precisión en las distancias.

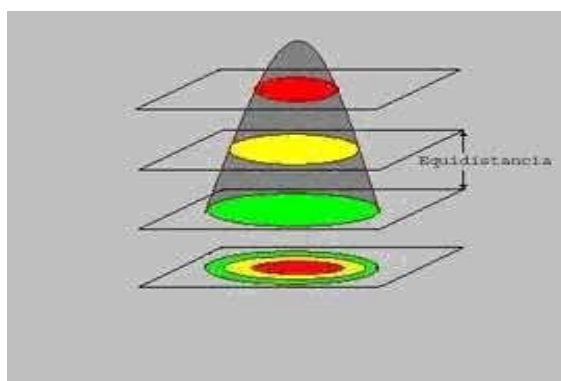
#### **4.1.4. Curvas de Nivel**

(Navarro L., 2008) nos hace mención que son líneas en un mapa, unen puntos de la misma altitud, por encima o por debajo de una superficie de referencia, que generalmente coincide con la línea del nivel del mar, y tiene el fin de mostrar el relieve de un terreno. Las curvas de nivel son uno de los variados métodos que se utilizan para reflejar la forma tridimensional de la

superficie terrestre en un mapa bidimensional. En los modernos mapas topográficos es muy frecuente su utilización, ya que proporcionan información cuantitativa sobre el relieve. Sin embargo, a menudo se combinan con métodos más cualitativos como el colorear zonas o sombrear colinas para facilitar la lectura del mapa.

Según (Urrutia, 2012) es el sistema de representación de curvas de nivel consiste en cortar la superficie del terreno mediante un conjunto de planos paralelos entre sí, separados una cierta distancia unos de otros. Cada plano corta al terreno formando una figura (plana) que recibe el nombre de **curva de nivel** o **isohipsa**. La proyección de todas estas curvas de nivel sobre un plano común (el mapa) da lugar a la representación buscada.

En la figura se ve la construcción para representar mediante curvas de nivel una montaña. La montaña es cortada mediante planos paralelos separados una cierta distancia que se llama **equidistancia entre curvas de nivel**.



**Figura 1.** Planos equidistantes formando curvas de nivel.

**Fuente:** (Urrutia, 2012)

Las intersecciones de los planos con la superficie de la montaña determinan un conjunto de secciones que son proyectadas sobre el plano inferior, que representa al mapa.

#### **4.1.5. Taquimetría**

Según (Koolhaas, M. 2004), la taquimetría es un procedimiento rápido y eficiente para medir distancias y diferencias de elevación indirectamente.

Es la técnica topográfica que resuelve simultáneamente la planimetría y la altimetría de una parte de la superficie terrestre, mediante el levantamiento de puntos del terreno por coordenadas polares, de esta forma podemos obtener las coordenadas cartesianas x,y,z, de esos mismos puntos.



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

#### **4.1.6. Topografía Subterránea**

Estruch, M. Tapia, A. (2003) indican que los trabajos topográficos en el interior de las minas son distintos a los de superficie, debido a los escenarios específicos de trabajo en el subsuelo, las galerías profundas, angostas, mal iluminadas, húmedas y no bien ventiladas, hacen que los métodos manejados en la superficie no puedan ser utilizados sin un previo ajuste especial, siendo en el interior de las minas muy fácil desorientarse cuando no se ha aplicado técnicas eficientes en levantamientos topográficos subterráneos en galerías, túneles o en explotación de cuerpos minerales. Razón por la cual es de vital importancia proveer a los técnicos que van a realizar este tipo de trabajos de conocimientos, especialización técnica que les permita realizar con eficiencia los trabajos de topografía en el subsuelo. Encontrando las principales excavaciones mineras subterráneas como pozos, rampas, chimeneas y coladores. En la actualidad es indispensable la ejecución de trabajos topográficos, geodésicos o cartográficos para la ejecución de un proyecto.

##### **4.1.6.1 La estación total.**

Se trata de uno de los aparatos topográficos de mayor difusión en la actualidad. Su potencia, flexibilidad, precisión, sencillez de manejo y posibilidades de conexión con ordenadores personales son los principales factores que han contribuido a su gran aceptación.

Las estaciones totales han venido, desde hace ya varios años, a facilitar enormemente la toma de datos en campo, mediante procedimientos automáticos. Todo ello ha contribuido a una notable mejora en las condiciones de trabajo de los topógrafos, así como a un mayor rendimiento en los levantamientos y el replanteo posterior. (Rey, J. 1999).

## **4.2. Geología**

Según (Suárez Díaz, 1998) en su libro de Deslizamientos y Estabilidad de taludes en Zonas tropicales desde el punto de vista litológico los materiales se clasifican de acuerdo a su génesis o formación. Como lo asegura también (Abramson, 1996), el cual diferencia dos grupos de materiales diversos que son: la roca y el suelo.

(Marco Ruíz, 1999), cita en su libro “geología y sociedad” que la Geología es el término utilizado para describir el estudio de la composición, estructura y diversos procesos que se llevan a cabo en nuestro planeta en general y desde el punto de vista de la ingeniería civil, nos restringimos a la parte más superficial del globo terráqueo, es decir su corteza (oceánica y continental).



Tarbutk, E, Lutgens, F. (2005). Explican que la Geología se basa en experimentos que se llevan a cabo en el campo, además que lleva un proceso de laboratorio especialmente en el estudio de materiales terrestres que permiten entender diferentes procesos como el ciclo de las rocas que permite comprender el origen de las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas y su relación entre ellas.

• **Elementos de Yacencia**

Describe que los elementos de yacencia de los yacimientos minerales definen sus dimensiones y la posición que estos ocupan en la corteza terrestre (Otaño Noguel y Blanco Torrens, 1988);

Los elementos de yacencia son de vital importancia para determinar la ubicación y dirección de las estructuras geológicas presentes en el interior de la mina así mismo como en la parte exterior, en donde el rumbo es el ángulo formado por la línea de intersección de la superficie (techo o piso) con una superficie horizontal y el meridiano magnético. El buzamiento es la inclinación del cuerpo con una superficie horizontal.

El ángulo de buzamiento es el ángulo formado entre la superficie del cuerpo y una superficie horizontal. Se denomina longitud a la distancia que alcanza el yacimiento según el rumbo, y su potencia es el ancho del cuerpo mineral, medido perpendicularmente a su eje. La profundidad de yacencia es la distancia vertical que hay desde la superficie, hasta la parte superior del cuerpo mineral.

**Tabla 1.** conversión de Azimut a Rumbo

Valor del Azimut	Valor del Rumbo
$Az^\circ = 0^\circ = 360^\circ$	Norte (N)
$0^\circ < Az^\circ < 90^\circ$	N $Az^\circ$ E
$Az^\circ = 90^\circ$	Este (E)
$90^\circ < Az^\circ < 180$	S $(180 - Az^\circ)$ E
$Az^\circ = 180$	Sur (S)
$180^\circ < Az^\circ < 270$	S $(Az^\circ - 180)$ W
$Az^\circ = 270^\circ$	Oeste (W)
$270 < Az^\circ < 360^\circ$	N $(360 - Az^\circ)$ W

Fuente: (Lopez, 2015)





UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

#### **4.2.1. Roca**

Según (Merino Juan F, 2009). Una roca es una piedra muy dura y sólida. Para la geología, una roca es un sólido cohesionado que está formado por uno o más minerales. Los minerales más abundantes en una roca se conocen como minerales esenciales, mientras que los que aparecen en proporciones pequeñas se denominan minerales accesorios.

(Vega, 2019) explica que una roca se define como una masa natural de minerales, la cual forma parte considerable de la corteza terrestre, y es originada a través de algún proceso geológico. Cuando las rocas están constituidas por un solo mineral se denominan simples, como por ejemplo el mármol, que se compone de calcita; pero la mayoría de ellas son compuestas, en otras palabras, de agregados de diversos minerales, como el granito roca, que es una mezcla de cuarzo, feldespato y mica.

(Ucha, 2009) menciona que se conoce como roca a aquel material que está formado por un conjunto, ya sea consolidado o no, de minerales definidos y que son los que de manera natural están hechos el manto y la corteza terrestre y también los equivalentes de otros planetas semejantes a la tierra.

##### **4.2.1.1. Geología histórica**

Estudia los eventos geológicos que tuvieron lugar en el pasado y que ayudan a reconstruir las diferentes etapas que ha sufrido la superficie de la tierra hasta la actualidad. Este número de cambios que ha registrado desde su consolidación, los cuales se estudian por medio de la paleontología (fósiles) y la estratigrafía (las rocas sedimentarias).

**La Estratigrafía** se ocupa del orden de superposición de los materiales erosionados, transportados y depositados por las fuerzas que actúan en la superficie del globo a través de las rocas sedimentarias, estratificadas, en sus relaciones mutuas, espaciales y temporales, y de la interpretación de los acontecimientos de carácter histórico que han quedado inscritos en ellas. Se ocupa, de la desaparición de los estratos, de su disposición en secciones locales y de correlación entre estas secciones, directamente asequibles al geólogo hasta integrarlas en una serie estratigráfica total que abarque los estratos formados en el transcurso de los tiempos geológicos, desde los más remotos hasta la actualidad.



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

**La Paleontología** es la ciencia que estudia los seres que vivieron en otros tiempos y que gracias a sus fósiles permiten establecer la sucesión cronológica necesaria para la Estratigrafía.

Una síntesis de los hechos históricos de la tierra basados en la Escala del Tiempo Geológicos es la siguiente:

**Era Arqueozoica.** Está representada por un largo período de tiempo en la cual la tierra parece haber carecido totalmente de vida. Aunque hay restos de algas que datan de 2700 millones de años.

**Era Proterozoica.** Los estratos proterozoicos contienen más material sedimentario y menos rocas metamórficas que el Arqueozoico. Se cree haberse iniciado hace unos 2000 millones de años. En México tenemos rocas metamórficas proterozoicas en los estados de Oaxaca y Sonora.

**Era Paleozoica.** Se inicia la vida organizada de seres marinos, cuando los mares y depósitos de agua presentaron condiciones estables. Se subdivide en seis periodos:

1. **Cámbrico.** Es el más antiguo de la Era Paleozoica. Su nombre proviene de Cámbrica, palabra latina para Gales Inglaterra, donde se estudiaron por primera vez. Está representado por trilobites y braquiópodos Marinos que se consideran como fósiles índices de gran valor estratigráfico. Tuvo una duración de unos 100 millones de años.
2. **Ordovícico.** Su nombre deriva de la antigua tribu céltica, también del país Gales. En éste se inician los primeros peces y dominan los invertebrados marinos, aparecen los ostracodernos. Se inicia y termina la orogenia tacónica. Duró unos 75 millones de años.
3. **Silúrico.** Llamado así por una tribu de Gales denominada Silures. Se inician las primeras plantas terrestres. En Norteamérica no hay evidencia de Orogenia, en cambio en Europa se desarrolló la Perturbación Caledoniana. Su duración fue de 20 millones de años.
4. **Devónico.** Viene su nombre de la localidad de Devonshire, Inglaterra. Se desarrollan los primeros anfibios y una gran variedad de peces. Se realizó una gran expansión de plantas terrestres, árboles con escamas y helechos. Al final del período se llevó a cabo la Orogenia Acadiana. Duró 60 millones de años.
5. **Carbonífero.** Este período así llamado en Europa, se subdividió en Estados Unidos en dos subperíodos: Missisipico y Pensilvánico y así se les conoce en Norte América, aunque también los consideran como períodos.
1. **Pérmico.** Su nombre proviene de la provincia de Perm al este de Rusia y el último de los períodos paleozoicos. Se extinguen gran cantidad de organismos como los trilobites. Los anfibios y reptiles continuaron estableciéndose en la tierra y varias especies evolucionaron. Se desarrollan las anomoides y grandes cantidades de moluscos. La mayoría de las plantas pantanosas desaparecieron y fueron reemplazadas por coníferas más adelantadas. En



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

nuestro país están representados todos los períodos paleozoicos en los que predominan rocas marinas. Duración del Pérmico 50 millones de años.

**Era Mesozoica.** Su nombre indica tiempo de vida media o sea la transición entre las plantas y animales relativamente antiguos del paleozoico a formas más modernas del cenozoico. La duración total fue de unos 170 millones de años.

1. **Triásico.** Es el más antiguo período mesozoico su nombre se deriva de la palabra latina “trias” o “tres” divisiones de estas rocas estudiadas por primera vez en Alemania. Se cree que predominaron las rocas continentales sobre las marinas. Aparecen los primeros reptiles (dinosaurios). Las rocas continentales son características como “capas rojas”. Son abundantes las cicádeas y coníferas. En México están representadas rocas continentales y marinas. Al final del Triásico se realizó la Orogenia Palizádica. La duración del período Triásico es de 50 millones de años.
2. **Jurásico.** - Su nombre proviene de las montañas Jura situadas entre Francia y Suiza. La vida se desarrolló con profusión y las plantas y animales habitaron la tierra, el aire y el mar en grandes cantidades. Se desarrollan los primeros mamíferos verdaderos y grandes reptiles (dinosaurios). Los cielos son cruzados por las primeras aves (arqueopterix). La vida en el fondo de los mares es muy prolífica, lo que dio lugar al desarrollo de grandes moluscos entre ellos los amonitas que constituyen excelentes fósiles índices. Al final del período se inicia en América del Norte la Orogenia Nevadiana que culmina a mediados del cretácico, nuestro país fue cubierto por grandes mares durante el Jurásico. Su duración fue de 45 millones de años.
3. **Cretácico.** - Su nombre proviene de la palabra latina “creta” que quiere decir yeso. Es uno de los períodos geológicos más extendidos en todo el mundo y es característica la presencia de caliza y evaporitas (yeso, caliza y dolomía). Se desarrollaron y extinguieron al final los dinosaurios, las amonitas y el foraminífero globotruncana. Se iniciaron las primeras plantas con floración formándose extensos depósitos de carbón en el cretácico superior de México (Coahuila). Es uno de los períodos geológicos junto con el jurásico, mejor estudiados debido a que ellos se localizan enormes depósitos petrolíferos. Culminó la Orogenia Nevediana y se inicia la Larimidica al finalizar el período, esta última, fué responsable de la formación de la Sierra Madre Oriental. Su duración fue de 72 millones de años.



**Era Cenozoica.** Duración total fue de 63 millones de años.

1. **Terciario.** Tuvo una duración de unos 62 millones de años, su nombre se deriva de la primea clasificación de rocas. Tiene 5 épocas bien definidas y según el origen de sus nombres se clasifican como sigue:

**Tabla 2.** Épocas del terciario.

EPOCA	SIGNIFICADO	EVIDENCIA DE VIDA
<i>Plioceno</i>	Más reciente	Grandes carnívoros
<i>Mioceno</i>	Menos reciente	Abundantes mamíferos aplacentados
<i>Oligoceno</i>	Poco reciente	Grandes mamíferos corredores
<i>Eoceno</i>	Aurora del reciente	Tipos modernos de mamíferos
<i>Paleoceno</i>	Antiguo reciente	Primeros mamíferos placentados

**Fuente:** (Mexicano, 2017)

Los climas del Terciario fueron más cálidos y húmedos que los recientes, lo que favoreció tanto la vida de los vertebrados (mamíferos principalmente), así como la de invertebrados, cuyas evidencias se presentan en la gran variedad de foraminíferos que permitió hacer una reconstrucción muy aproximada de la batimetría y extensión de los mares.

Predominan las rocas clásticas (continentales y marinas) sobre las carbonatadas y hay grandes extensiones de rocas volcánicas y continentales en todo el mundo, al finalizar el período terciario los continentes e islas presentan prácticamente la misma topografía actual. En nuestro país el terciario marino se desarrolló principalmente en las márgenes del Golfo de México, así como en el Océano Pacífico desde el sur de Chiapas, Oaxaca hasta Nayarit, Baja California y Sonora. La orogenia Laramídica tuvo su culminación a principios del terciario extinguiéndose a mediados del período, cuando se inició la Orogenia Cascadiana que continuó hasta el Pleistoceno.

2. **Cuaternario.** - Su nombre al igual que el Terciario proviene de una anticuada clasificación de las rocas. Su duración es de un millón de años; habiéndose dividido en dos épocas:

**Pleistoceno y Reciente.** La primera es característica por grandes glaciaciones y la aparición del hombre primitivo y extinción de distintas especies de vertebrados (mamíferos, reptiles y aves), y la segunda por la aparición del hombre moderno y el relieve actual que presenta la superficie de la tierra con muy pocas modificaciones. (Mexicano, 2017)



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

#### 4.2.1.2. Cristalización

Según (Vega, 2019) menciona a cristalización al proceso de formación de un cristal. En la naturaleza la cristalización se puede producir de tres maneras:

A) **Sublimación de gases:** es la forma menos frecuente. Consiste en la formación de un cristal por enfriamiento brusco de un gas. Es el caso del azufre que se forma alrededor de las solfataras, un tipo de fumarolas volcánicas ricas en azufre, que se desprenden en la erupción de algunos volcanes.

B) **Por precipitación de sales disueltas** cuando se evapora el agua que las contiene. Así se forman la sal común y el yeso.

C) **Por enfriamiento de un magma:** es el caso más frecuente. A medida que baja la temperatura van cristalizando los minerales con el punto de fusión más altos y después los de punto de fusión más bajos.

A veces los cristales crecen en el interior de cavidades de rocas y dan lugar a bonitas formaciones llamadas geodas. Para que se forme un cristal se necesita espacio y tiempo.

Cuando un magma se enfría lentamente los minerales tendrán más tiempo de formar caras planas. Si el enfriamiento es rápido, como sucede al salir la lava a través de un volcán, es posible que incluso no lleguen a formarse cristales o que se sean microscópicos.

Los primeros minerales que cristalizan al enfriarse un magma (los de punto de fusión más elevados) podrán formar cristales de gran tamaño (**fenocristales**) y los demás tendrán que ir ocupando los huecos que dejan estos, formándose cristales pequeños e irregulares.

#### 4.2.1.3. Rocas ígneas

(Gencat, 2021) nos menciona que las rocas ígneas, o magmáticas, son las que resultan de la solidificación de material rocoso fundido, los magmas. Éstos se forman por la fusión de rocas en la base de la corteza terrestre, o en el manto, y tienden a ascender hacia zonas más superficiales de la corteza, al tener una densidad menor que las rocas donde se emplazan.

La clasificación genética de las rocas ígneas se fundamenta en la interpretación de las condiciones en las que se desarrolló el proceso de enfriamiento y cristalización del magma: las que cristalizan en el interior de la corteza se denominan intrusivas; si lo hacen en cámaras magmáticas las rocas resultantes se denominan plutónicas y forman los batolitos, mientras que si se sitúan en



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

conductos tabulares, formando diques, se denominan hipoabisales. Cuando los magmas alcanzan la superficie de la Tierra y se enfrían y cristalizan en condiciones subaéreas o subacuáticas, las rocas que resultan se denominan extrusivas o volcánicas.

Las rocas ígneas están constituidas por minerales del grupo de los silicatos. Las rocas plutónicas están formadas por cristales de tamaño regular, generalmente identificables a simple vista, es decir, tienen textura granular; ésta es indicativa del enfriamiento lento de los magmas, lo que da tiempo a los cristales minerales para crecer. Las rocas volcánicas y las hipoabisales suelen tener cristales relativamente grandes y aislados, que se destacan en una masa de cristales de medida muy pequeña, la matriz; esta textura, denominada porfídica o microgranular, es indicativa de un enfriamiento muy rápido.

(Gencat, 2021) enuncia que las clasificaciones de las rocas ígneas se basan en la composición mineralógica, la composición química, el tipo de yacimiento y la textura. Uno de los criterios de clasificación más sencillos es “el grado de acidez”, basado en la cantidad de cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ): de mayor a menor proporción de cuarzo se clasifican como ácidas o intermedias, y básicas o ultrabásicas cuando no tienen cuarzo. La clasificación mineralógica más utilizada se basa en las proporciones de cuarzo, minerales del grupo de los feldespatos (plagioclasa y feldespato potásico) y feldespatoides, y también en el tipo de roca ígnea. Esta clasificación es muy útil para las rocas plutónicas, puesto que los minerales se identifican fácilmente a simple vista, pero para las rocas volcánicas, debido a su pequeño tamaño de grano, son necesarios los análisis geoquímicos.

#### **4.2.1.4. Proceso de formación de las rocas ígneas**

(Andrade, 2017) hace referencia al proceso de formación de las rocas ígneas que el enfriamiento lento promueve el crecimiento de grandes cristales mientras que el enfriamiento rápido tiende a generar cristales más pequeños. Consideremos los otros dos factores que afectan al crecimiento del cristal conforme examinemos los principales tipos de textura.

**Textura afanítica** (a= no; phaner =visible). Por definición, los cristales que constituyen las rocas afaníticas son demasiado pequeños para que los minerales individuales se distingan a simple vista. Dado que la identificación del mineral no es posible, normalmente caracterizamos las rocas de grano fino por su color claro intermedio u oscuro. Utilizando esta clasificación, las rocas afaníticas de color claro son las que contienen fundamentalmente silicatos no ferromagnesianos y de color claro, y así sucesivamente.



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

En muchas rocas afaníticas se pueden observar los huecos dejados por las burbujas de gas que escapan conforme se solidifica el magma. Esas aberturas esféricas alargadas se denominan vesículas y son más abundante en la parte superior de una colada de lava donde el enfriamiento se produce lo bastante deprisa como para la lava, conservando así las aberturas producidas por las burbujas de gas en expansión.

**Textura Fanerítica** (de grano grueso). Cuando grandes masas de magma se solidifican lentamente bastante por debajo de la superficie, forman las rocas ígneas que muestran una estructura de grano grueso denominada fanerítica. Estas rocas de grano grueso consisten en una masa de cristales intercrecidos que son aproximadamente del mismo tamaño y lo suficientemente grandes como para que los minerales individuales puedan identificarse sin la ayuda de un microscopio. Los geólogos suelen utilizar una lupa que les ayuda a identificar los minerales de grano grueso.) Dado que las rocas faneríticas se forman en el interior de la corteza terrestre, su afloramiento en la superficie de la tierra solo ocurre después de que la erosión elimina el recubrimiento de rocas que una vez rodearon las cámaras magmáticas.

**Textura porfídica.** Una gran masa de magma localizada profundamente puede necesitar de decenas a centenares de miles de años para solidificar. Dado que los diferentes minerales cristalizan a temperaturas diferentes (así como a velocidades diferentes) es posible que algunos cristales se hagan bastante grandes mientras que otros estén empezando a formarse. Si el magma que contiene algunos cristales grandes cambia de condiciones (por ejemplo, saliendo a la superficie) la porción líquida restante de la lava se enfriará relativamente rápido. Se dice que la roca resultante, que tiene grandes cristales incrustados en una matriz de cristales más pequeños, tiene una textura porfídica. los grandes cristales que hay en una roca de este tipo se denominan fenocristales (pheno=mostrar; cristal=cristal), mientras que la matriz de cristales más pequeños se denomina pasta. Una roca con una textura de este tipo se conoce como pórfido.

#### ***4.2.2. Geología Estructural:***

Belousov, V. (1979) menciona que la geología estructural es una parte de la geotectónica, es decir, de esa asignatura geológica que estudia las particularidades de la estructura y desarrollo de la corteza terrestre relacionada con los procesos mecánicos, movimientos y deformaciones que en ella tienen lugar. La corteza terrestre se compone de rocas que constituyen cuerpos de formas diversas. Así, por ejemplo, las rocas sedimentarias aparecen en forma de estratos. Estos pueden ser





UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

horizontales y también inclinados o encorvados en pliegues. Toda la corteza terrestre se compone de cuerpos adyacentes formados por rocas diferentes.

#### 4.2.2.1. Esfuerzos

Rodríguez, M. (2012). Menciona que los esfuerzos representan una fuerza aplicada a una determinada roca. La unidad de medida es el kilogramo por centímetro cuadrado (Kg/cm<sup>2</sup>). Según las fuerzas que se han aplicado, el esfuerzo puede presentarse en tres diversidades.

- **Compresión:** Cuando las rocas son sometidas a un esfuerzo se comprimen por fuerzas dirigidas unas con otras.
- **Tensión:** Efecto de las fuerzas que ejercen a lo largo de la misma línea, pero en dirección opuesta. **Cizalla:** El esfuerzo funciona en paralelo, pero en direcciones opuestas.

#### 4.2.2.2. Deformaciones

Belousov, I. (1979). Indica que la **deformación elástica** la anulación de la carga deformadora conduce al retorno del cuerpo a su forma inicial, por el contrario, durante la deformación plástica, una vez anulada la carga deformadora, el cuerpo conserva la forma adquirida durante el proceso de deformación. Todo cuerpo sometido a una deformación elástica presenta resistencia, y para obtener la dimensión deseada de deformación es superar dicha resistencia. La resistencia demuestra que, al aplicar cargas exteriores, en cualquier punto del cuerpo y en cualquier punto del cuerpo y en cualquier superficie que mentalmente podamos trazar en el interior de éste, surgen fuerzas internas de dirección opuesta.

Belousov, I. (1979). Indica que la **deformación plástica** sucede a la elástica al crecer las tensiones. Alcanzando el límite de proporcionalidad, por encima del cual la ley de Hooke. El límite de elasticidad para los diversos cuerpos, y para cuerpos iguales a diferentes presiones y temperaturas puede ser de extraordinaria diversidad. Existen cuerpos de bajo límite de elasticidad, próximo al cero.

Oyanguren, P. Monge, L. (2004) Mencionan que la deformación depende del tiempo, factor que afecta en mayor o menor grado a todas las rocas. Específicamente cuando se elimina la carga no se puede volver a la situación inicial, después de un cierto tiempo, este tipo de deformaciones tiene un carácter plástico. Los efectos diferidos se marcan con el aumento de la temperatura. Dentro





UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

de los parámetros deformaciones de las discontinuidades se estima las rigideces normales, tangencial y la dilatación.

- **La rigidez tangencial** señala que es la relación entre la tensión cortante aplicada sobre una muestra. frente al desplazamiento de corte sufrido por el bloque que se desplaza antes de alcanzar el límite de resistencia.
- **La rigidez cortante** es la relación entre la tensión cortante aplicada sobre una muestra frente al desplazamiento de corte sufrido por el bloque que se desplaza.
- **La dilatación** es la relación entre el desplazamiento vertical y el horizontal en un punto de la discontinuidad durante el proceso de corte.

#### 4.2.2.3. Contacto

Según (Schlumberger, 2020) es la superficie que separa los cuerpos de rocas de diferentes litologías, o tipos de rocas. Un contacto puede ser concordante o discordante, según los tipos de rocas, sus edades relativas y sus disposiciones. Una superficie de falla también puede actuar como un contacto.

(Cataluña, 2013) menciona que los contactos son las superficies que delimitan los volúmenes rocosos. En un mapa geológico se representa la línea de intersección entre la superficie que limita dos volúmenes de roca diferentes y la superficie topográfica. Los contactos geológicos se clasifican en cuatro grandes grupos, atendiendo al proceso geológico que los ha generados:

- **Contactos sedimentarios:** son los contactos originarios entre rocas sedimentarias, o entre estas y su sustrato; los más comunes son “el contacto normal o concordante”, los “contactos transicionales” y los “contactos discordantes”
- **Contactos ígneos:** son los contactos que limitan masas de rocas ígneas intrusivas de las rocas encajantes, o entre ellas mismas; en el caso de las rocas volcánicas la base de las coladas de lava también se considera así.
- **Límites de procesos metamórficos:** corresponden a los contornos de los volúmenes rocosos afectados por metamorfismo, es decir, el límite de la aureola de metamorfismo de contacto, o bien los límites entre diferentes zonas de metamorfismo regional.
- **Contactos mecánicos:** son aquellos contactos entre unidades rocosas que corresponden a superficies de fractura, acompañados de un movimiento relativo de los dos bloques



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

delimitados por éstas. Pueden ser de varios tipos, los más comunes son las “fallas normales”, los “cabalgamientos” y las “fallas inversas”.

#### **4.2.2.4. Fallas Geológicas**

Las fallas geológicas se definen como dislocaciones de la corteza terrestre, es decir, fracturas a lo largo de las cuales se producen importantes deslizamientos relativos. La magnitud de estos desplazamientos puede ser de algunos metros, pero en la medida que las fallas son más antiguas, la magnitud acumulada de los desplazamientos puede alcanzar varios centenares de metros y kilómetros

Hans Niemeyer (1999) explica que una falla es una fractura planar en donde la roca se ha desplazado según una dirección que es generalmente paralela al plano de ruptura, como resultado de la aplicación de un stress de cizalle, además señala que una fractura recibe el nombre de falla si presenta un desplazamiento mínimo de 0.5 mm caso contrario si el desplazamiento es demasiado pequeño la fractura se denomina diaclasa.

Explica también que algunas fallas presentan componentes de dilatación o de convergencia, es frecuente que no se observe un plano de falla bien definido, sino que se identifica una zona de falla que puede consistir en muchas superficies de falla, esta zona de falla puede tener entre algunos metros y muchas decenas de metros de ancho. (Llegando a tener hasta varios cientos de kilómetros)

Hans Niemeyer (1999) Indica que la clasificación más adecuada de las fallas en el dominio frágil es basada en su desplazamiento o rechazo. Se denomina rechazo de una falla al movimiento relativo a lo largo del plano de falla, de dos puntos originalmente adyacentes. Se distinguen fallas translacionales, (la magnitud y orientación del rechazo es el mismo en todas sus partes y fallas rotacionales, (el rechazo cambia según la porción del plano que se considere).

Hans Niemeyer (1999) Indica que las fallas translacionales se clasifican, de acuerdo a su desplazamiento y son: fallas normales, fallas inversas, fallas de rumbo y fallas con rechazo oblicuo. En los dos primeros tipos el movimiento se presenta de acuerdo a la dirección del manto, mientras tanto las fallas de rumbo, el movimiento es paralelo al rumbo de falla. Las fallas con rechazo oblicuo muestran movimiento compuesto, según el manto y según el rumbo. Explica que en una



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

falla normal el bloque colgante desciende respecto al bloque yacente, mientras que en una falla inversa el bloque colgante se alza respecto al bloque yacente.

Si la falla es vertical, se debe indicar cuál de los bloques asciende o desciende. Las fallas con rechazo oblicuo se las denominan compuestas y depende del rake que es el ángulo que forma una recta con el rumbo de un plano que la contiene. Si el rake es menor que  $45^\circ$  prevalecerá la componente transcurrente y la falla será dextral normal o dextral inversa, sinistral normal o sinistral inversa. Pero si el rake es mayor que  $45^\circ$  prevalecerá el componente en el manto y la falla será normal dextral o normal sinistral, inversa dextral o inversa sinistral.

- **Brecha de Falla:** Hans Niemeyer (1999) explica las zonas de fallas se caracterizan por la presencia de rocas de falla como por ejemplo brechas de falla, milonitas.

#### 4.2.2.5. Fracturas

(Aubinet G. y Arias A.1991) mencionan que el fracturamiento corresponde a una pérdida de la continuidad entre dos partes del cuerpo rocoso. Además, implica la generación de una grieta y su propagación hasta que se presente la falla general o que se alcance un nuevo estado de equilibrio.

El término fracturas tiene un carácter general e incluye a las roturas de rocas con desplazamiento relativo de los bloques rocosos (fallas) y aquellas que no presentan desplazamientos apreciables (diaclasas).

#### 4.2.2.6. Pliegues

Como resultado de la deformación de las rocas debida a las fuerzas naturales, se forman varios tipos de estructuras. En altas presiones y temperaturas, a gran profundidad, las rocas se comportan dúctilmente, dando lugar a pliegues de diferentes tipos. Los pliegues, son estructuras curvadas y se clasifican de una manera general en anticlinales y sinclinales.

Rodríguez, M. (2012) menciona que una roca se pliega cuando una superficie de referencia definida antes del plegamiento como plana se transforma en una superficie curva.

El plegamiento es tanto mayor cuanto más numerosas y fuertes son las variaciones de buzamiento.



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

#### **4.2.2.7. Diaclasas**

Hans Niemeyer Rubilar, Antofagasta (1999). Define a las diaclasas como fracturas en las que no existe desplazamiento, es decir es un plano de discontinuidad en la roca, pero sin desplazamiento. Además, tienen mucha importancia práctica, debido a que se determina las propiedades geo mecánicas y la porosidad de origen tectónico de un macizo rocoso. Es por eso que tienen un significado importante en minería y en labores a cielo abierto, en canteras, obras ingenieriles, circulación de aguas subterráneas, reservorios de hidrocarburos y circulación de fluidos hidrotermales y depósitos minerales. Indica que son las estructuras tectónicas más frecuentes en la superficie terrestre, presentes en una gran variedad de rocas y ambientes tectónicos.

Existen diferentes razones por la cual su análisis es difícil, generalmente su edad no se la conoce, se reactivan fácilmente como fallas, no representan una magnitud de strain cuantificable o de importancia.

#### **4.2.2.8. Discordancias**

Escobar, G. (2017). Explica que son contactos de dos estratos que no son sucesivos en el tiempo porque falta uno o más estratos de la serie, lo que se reconoce como una laguna estratigráfica. Las discordancias se originan generalmente porque una cuenca sedimentaria sufre una elevación que interrumpe la sedimentación, mecanismo que es seguido por un proceso erosivo que elimina algunos estratos. Si posteriormente vuelve a transformarse en una cuenca sedimentaria proseguirá el mecanismo que es seguido de la superposición de estratos.

#### **4.2.2.9. Discontinuidades**

Oyanguren, P. Monge, L. (2004) explican que los macizos rocosos en la naturaleza presentan un número elevado de discontinuidades, en donde resulta necesario analizar previamente el comportamiento de las discontinuidades naturales. Hans Niemeyer (1999) indica que las fallas (fault) y diaclasas (joints) son las principales discontinuidades de origen tectónico que aparecen en los mapas geológicos.

Las discontinuidades son fracturas de la corteza terrestre a lo largo de las cuales ha sufrido un desplazamiento paralelo a la superficie de fractura, por lo tanto una pared se ha movido en relación con la otra. La superficie de la fractura es la que quedó en el sitio de origen, se llama plano



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

de falla y es el resultado del movimiento entre bloques. Así tenemos que las grietas se utilizan para definir una fractura pequeña.

#### **4.2.3. Geología económica**

(ecured, 2019) Nos menciona que la geología económica aporta básicamente su conocimiento para la localización y estudio de los yacimientos. La localización puede ser fortuita o puede realizarse según una metodología geológica que se denomina prospección mineral. Ésta puede efectuarse mediante la extrapolación de los datos geológicos o condiciones favorables analizadas en una serie de yacimientos a otras zonas donde por darse alguna de estas condiciones se supone que hay yacimientos, en esta zona reservada se efectúan sondeos de localización. Los estudios de geología económica o de prospección, se hacen mediante:

- Evaluación geológica de la zona de interés
- Estudios asociados de otras ramas de la Geología como la Geoquímica, Geología estructural, Geofísica, Sedimentología, que permiten conocer más a fondo el potencial mineralógico y hacer la delimitación y cuantificación de la fuente de material.

#### **4.2.4. Origen de los yacimientos minerales**

##### **• Procesos Ígneos**

- **Plutonismo:** El magma que ya está constituido, al momento de su ascenso, se acopla en las rocas circundantes mediante varios procesos:

- Inyección forzada:** Desplaza hacia arriba a la roca encajante.
- Digestión magmática:** Asimilación de fragmentos de la roca encajante.
- Hundimiento de la roca encajante:** Se produce fracturación lítrica en la roca encajante y caída de bloques en el magma,
- Intrusión pasiva:** Utiliza fracturas preexistentes para desplazarse,
- Metasomatismo:** Elevadas temperaturas y presiones provocan la fusión de la roca.

- **Volcanismo:** El magma sube a la superficie terrestre mediante fracturas, provocando una liberación brusca de la presión y los materiales hasta entonces en estado semifundido, pasan



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

a fases líquidas y gaseosas. El ascenso es brusco y se arrastran cristales previamente ya formados en el magma.

**-Procesos pegmatíticos:** Las pegmatitas descansan tanto en las rocas intrusivas como en las de techo es decir los gneis y los esquistos cristalinos. Las pegmatitas adquieren una forma principalmente filoniana, lenticular, a veces ramificada, así como stockworks.

**-Procesos hidrotermales:** Se presentan entre las pegmatitas y rocas hidrotermales, en temperaturas propias de su formación que oscilan entre 400 y 500 °C, de esta manera dan lugar a la formación de yacimientos de minerales metálicos.

#### ***4.2.5. Procesos exógenos superficiales***

**-La erosión:** Escobar, G. (2013). Indica que la erosión es el proceso de desprendimiento de las unidades alteradas de la roca por medio de agentes como el hielo, el agua y el viento. Estos mismos agentes causan luego el transporte de los materiales desprendidos, para formar los depósitos sedimentarios, utilizando la energía proveniente de la gravedad y del sol.

**-El transporte:** Es el proceso mediante el que los fragmentos erosionados se trasladan hacia zonas más bajas. Lo puede efectuar el mismo agente que erosionó u otro distinto. Por la naturaleza de los agentes responsables, el transporte siempre lleva consigo erosión.

**-Sedimentación:** Es el depósito de los fragmentos y de los productos resultantes de su alteración en zonas bajas de los continentes y, sobre todo, en los océanos. Estos depósitos acumulados dan lugar a sedimentos, dispuestos en capas generalmente horizontales, denominadas estratos. Después de millones de años los estratos darán lugar a las rocas sedimentarias mediante un proceso conocido como litificación o diagénesis. Se presentan tres tipos de sedimentación.

- **Sedimentación detrítica.** (La que da origen a la formación de areniscas, y minerales concentrados en éstas en yacimientos tipo placeres)
- **Sedimentación química.** (Permite la formación de calizas, yeso y minerales con fines industriales).
- **Sedimentación orgánica.** (Da origen a la formación de carbón e



hidrocarburos sólidos “asfalto”, líquidos “petróleo” y gaseosos “gas natural”.

Smirnov, V. (1982), menciona que la sedimentación asociada a los fenómenos volcánicos produce yacimientos de minerales metálicos de gran importancia.

#### 4.2.6. Yacimientos Hidrotermales

Según Smirnov, S. (1947) explica que los yacimientos hidrotermales son creados por soluciones gaseoso- líquidas mineralizadas calientes que circulan bajo la superficie de la tierra. Las acumulaciones minerales de origen hidrotermal se forman tanto a consecuencia de la deposición de masas minerales en las oquedades de las rocas, como causa de la sustitución de éstas. Lindgren (1913) en cambio, señala que los yacimientos hidrotermales pueden alcanzar temperaturas de 500°C y profundidades de hasta 7 km, es por este motivo que se han dividido desde el más profundo hasta el que se encuentra cerca de la superficie.

Lindgren (1933), definió la alteración hidrotermal, con reemplazo o metasomatismo como “El proceso de solución capilar y depositación, prácticamente simultáneo, mediante el cual un mineral nuevo de composición química parcial o totalmente diferente puede crecer en el cuerpo de un mineral viejo o agregado mineral”. Guilbert (1986) interpreta que además participan mecanismos de difusión e infiltración. **Ver tabla N°3.**

**Tabla 3.** Clasificación de yacimientos hidrotermales según la temperatura de formación y minerales

	Temperaturas de Formación	Minerales Comunes
<b>YACIMIENTOS HIPOTERMALES</b>	Temperatura de 300-500°C	Cuarzo (Casiderita), Pirrotina (Cobre, Sulfuros), Molibdenita (oro), Wolframita(oligsito)
	Profundidad de 5 a 7 Km	
	Presión alta	
<b>YACIMIENTOS MESOTERMALES</b>	Temperatura de 175-300°C	Cuarzo(blenda), Calcita(plata), Siderita (oro), Oligisto (galena)
	Profundidad de 2-5 Km	
	Presión 140-400 atm	
<b>YACIMIENTOS EPITERMALES</b>	Temperaturas de 50 a 300° C	Baritina (Cinabrio), Calcita (manganeso, óxidos y carbonatos)
	Profundidad de 1-2 km	
	Presión moderada baja	
<b>YACIMIENTOS TELETERMALES</b>	Temperaturas hasta los 50°C	Pirita, Cuarzo
	Someros	
	Presión muy baja	

Fuente: Clasificación de yacimientos hidrotermales según Lindgren (1913)

Smirnov (1976). Ubicó los depósitos minerales en un marco tectónico-formacional, clasificándolos de acuerdo a su formación dentro del desarrollo de geosinclinales, los de



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

afinidad basáltica y los de afinidad granítica, produciendo cada uno diferentes depósitos minerales a lo largo de su desarrollo geológico.

**Clasificación por tipo de yacimiento.** Para una veraz clasificación de un depósito mineral y su material rocoso asociado, se deberá disponer de información geológica suficiente que incluya estudios de metalogenia, geología histórica de la zona y, sobre todo, de núcleos de barrenación provenientes de un programa reciente de exploración aún, en localidades donde se disponga de suficiente información obtenida en exploraciones y estudios anteriores. En forma general se pueden identificar los siguientes tipos de depósito:

- **Depósitos Masivos.** Depósitos de extensión considerable, tanto en sentido horizontal como vertical dentro de los cuales la mineralización está distribuida en forma relativamente uniforme (cobre diseminado, domos salinos).
- **Depósitos Estratiformes.** Depósitos alojados paralelamente a los planos de estratificación de la roca huésped, la cual invariablemente está formada por rocas sedimentarias (carbón, evaporitas –potasa-, fosforitas).
- **Vetas.** Zonas de mineralización de gran longitud con un ángulo de buzamiento pronunciado, pueden ser *angostas* de poca potencia (menos de 3m) y anchas o de gran potencia (mayor de 3m).
- **Cuerpos Lenticulares (clavos).** Cuerpo mineral en forma de lente que se presenta aisladamente en zonas mineralizadas alojado dentro de depósitos masivos, mantos o vetas (sulfuros simples).
- **Depósitos Tabulares (chimeneas).** Cuerpos masivos de forma cilíndrica y de dimensiones variables, con un desarrollo vertical mayor que su extensión horizontal.
- **Depósitos de Placer.** Depósitos sedimentarios superficiales o cercanos a la superficie, generalmente de forma tabular y de extensión considerable (oro, platino, estaño, detritos).

Adicionalmente, los materiales rocosos asociados a los depósitos minerales se pueden clasificar de la siguiente manera:





UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

- **Detritos.** Fragmentos de partículas sólidas producidas por desintegración química y/o mecánica de la roca (suelos, gravas, arenas).
- **Rocas Fracturadas con diaclasas.** Macizo rocoso cerca o en zona de falla.
- **Estratos Laminares.** Cuerpos rocosos generalmente de origen sedimentario, pueden ser estratos delgados (menor de 30cm) o gruesos (mayor de 30cm), (lutitas y areniscas).
- **Rocas Masivas.** Conjunto masivo de rocas con o sin fracturas en donde el grado de cementación entre los estratos produce un material rocoso de gran resistencia (brechas y conglomerados). (Mexicano, 2017)

De acuerdo con **Routhier** (1916-2008), el estudio de los yacimientos minerales se debería efectuar siguiendo los métodos de la anatomía comparada, debido a que el ambiente geológico ha condicionado su anatomía y morfología, este método es, por tanto, uno de los caminos para remontarse al estudio de su formación y de sus transformaciones eventuales. Él selecciona ciertos caracteres que definen los tipos de yacimientos:

**A. Caracteres propios al yacimiento:**

- Paragénesis y, eventualmente, sucesión.
- Alteración superficial.
- Composición química y leyes.
- Tonelaje y relación entre éste y las leyes.

**B. Caracteres propios al medio que rodea al yacimiento:**

- Naturaleza litológica de las rocas encajonantes.
- Forma del yacimiento en relación con las estructuras de las rocas encajonantes.
- Rocas plutónicas o volcánicas próximas.
- Edad del yacimiento e historia geológica de la región.

A estos caracteres se pueden añadir, además:

- Ejemplos acompañados hasta donde sea posible, de la edad de los yacimientos.
- Hipótesis genéticas.

En suma, cualquier sistema de clasificación en cuanto a su permanente utilidad debe ser capaz de reflejar nuevos hallazgos, es decir, debe ser revisable.

#### 4.2.7. Yacimientos Epitermales

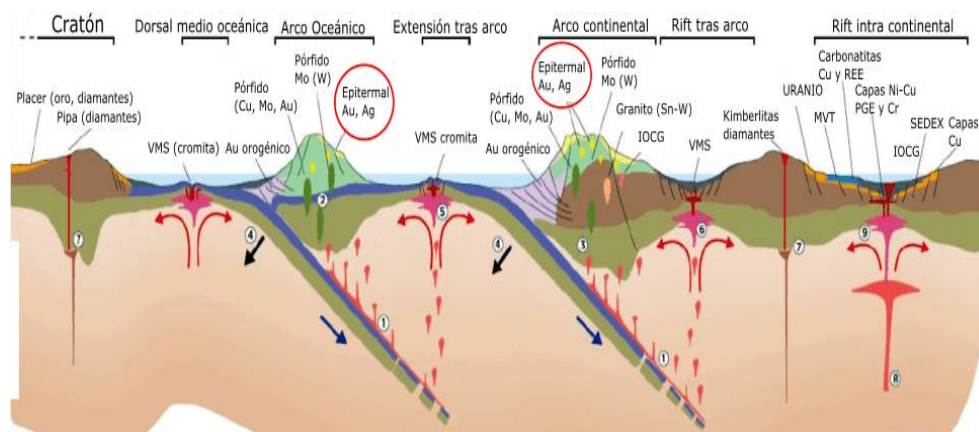
Estos yacimientos se encuentran relacionados con yacimientos de metales preciosos asociados a mineralizaciones de Au - Ag y sulfuros de metales base generalmente Cu, Pb y Zn, presentándose en vetas, vetillas o intensas zonas de brechización, así como también en forma diseminada; asociados a actividad volcánica (Hedenquist, 2001) y formados a niveles corticales someros (epizona) a profundidades entre 1- 2 km y temperaturas aún poco definidas con un promedio de 250°C.

Según Hedenquist, (2001) estos yacimientos se pueden presentar en dos tipos: los de baja sulfuración (LF) y alta sulfuración (HS).

##### 4.2.7.1. Características de los yacimientos epitermales

Según (Geologiaweb, 2016), los yacimientos epitermales se forman en condiciones de temperatura que se encuentra entre 150°C y 300°C (a veces mayores) y en profundidades bajo la corteza entre 1Km a 2Km, con presiones de varios centenares de bares.

Tal como se muestra en la imagen de abajo, los yacimientos epitermales se encuentran relacionados con ambientes geológicos y tectónicos activos (zonas de subducción), donde ocurre procesos volcánicos, es decir arcos de islas oceánicas y arcos volcánicos continentales.

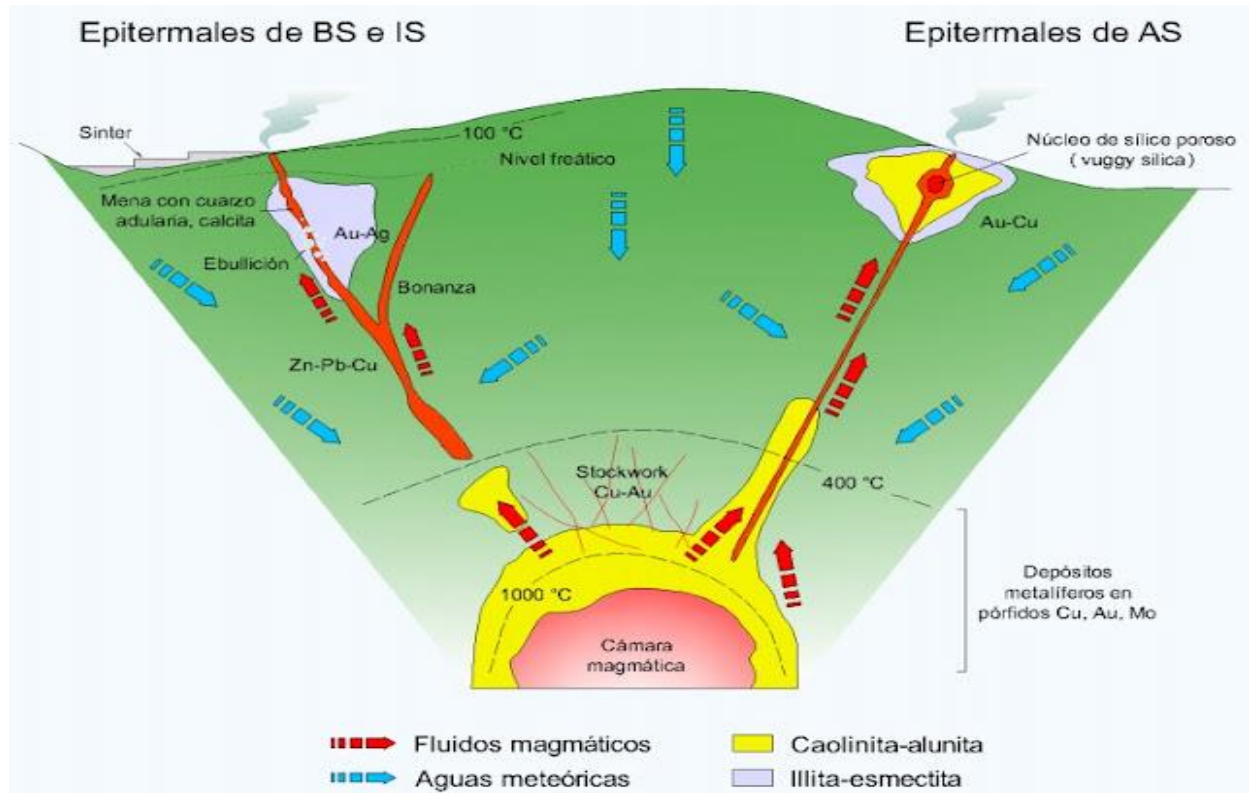


**Figura 2.** yacimientos epitermales  
**Fuente:** (Geologiaweb, 2016)

Además, es común que los depósitos epitermales geológicamente se encuentren relacionados con vulcanismo subaéreo y subvolcanismo, donde los fluidos magmáticos tienen composición ácida o intermedia, pudiendo el basamento (roca caja) ser de cualquier tipo.

Finalmente, los depósitos epitermales, presentan enriquecimiento general, en agregados minerales que contienen Au, Ag, As, B, Hg, S, Sb, Se, Te, Tl y U.

(Maksaev, 2001). Hace mención acerca de que los depósitos epitermales se caracterizan por estar a profundidades entre 1 a 2 kilómetros y ser yacimientos de metales preciosos, donde la mineralización es producto de fluidos hidrotermales calientes con temperaturas entre 100-320°C. La mineralización es principalmente de Au y Ag con sulfuros de metales base como Cu, Pb y Zn. Se distinguen dos tipos químicos de fluidos (ver figura 1): los de baja sulfuración (BS) que son una mezcla de aguas meteóricas que percolan al subsuelo y aguas magmáticas derivadas de roca fundida a gran profundidad que han ascendido a la superficie, y los de alta sulfuración (AS) derivados de una fuente magmática que ha depositado metales cerca de las superficie cuando el fluido se enfría o mezcla con aguas meteóricas



**Figura 3.** Modelo simplificado para los depósitos de alta, intermedia y baja sulfuración (Sillitoe, 1995; González, 2008).

**Fuente** (Geoaprendo, 2015)

Asociados a volcanismo terciario con rocas de carácter alcalino, estos depósitos se presentan principalmente en zonas de borde continental activos con zonas de subducción, en dos tipos de



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

régimen tectónicos. El primero es un sistema geotermal asociado a cuencas o zonas de extensión, donde las soluciones hidrotermales ascienden desde zonas profundas de la corteza, formando piscinas termales de aguas alcalinas cloradas y depósitos silíceos. La segunda es un sistema geotermal en zonas de subducción, donde las soluciones rara vez alcanzan la superficie y se presentan como fumarolas, vapor superficial y depósitos de azufre nativo (Townley, 2001).

### 4.3. Geotecnia

(Ángeles, 2020) menciona que la geotecnia es la rama de la geología que trata de la aplicación de los principios geológicos en la investigación de los materiales naturales como las rocas que constituyen la corteza terrestre implicados en el diseño, la construcción y la explotación de proyectos de ingeniería civil, como autopistas, vías férreas, puentes, presas, oleoductos, acueductos, unidades habitacionales, sitios de confinamiento y edificios en general.

El conocimiento preciso de las propiedades mecánicas del suelo donde se pretende edificar y de las condiciones físicas del ambiente, constituyen el mejor medio de prevención ante desastres naturales que pueden causar graves daños a las obras civiles y a los seres humanos que las habitan.

(Gardey, 2019) Destaca que **Karl von Terzaghi** (1883-1963) es señalado como el precursor de la ingeniería geotécnica. A lo largo de su toda su trayectoria profesional se dedicó a analizar problemáticas vinculadas a las cimentaciones y los suelos, volcando su trabajo en textos que se consideran como las bases de la geotecnia.

El nombre de Terzaghi destacó especialmente a través de la edición de su libro llamado *Erdbaumechanik*, que se puede traducir como «mecánica de la construcción sobre el suelo». Más adelante colaboró con Ralph B. Peck y Gholamreza Mesri en la publicación de *Mecánica de suelos en la ingeniería práctica*, otro libro que sirvió para sentar las bases de esta ciencia.

Hace muchos años, la primera concepción de geotecnia incluía solamente las ciencias conocidas como **mecánica de rocas** y **mecánica de suelos**. La primera es la ciencia teórica que se aplica al comportamiento de las rocas y los macizos desde un punto de vista mecánico. Se trata de la parte de la mecánica que concierne a la respuesta que las rocas manifiestan ante los campos de fuerza de su entorno físico.

Además de formar parte de la geotecnia, la mecánica de rocas se enmarca en la geomecánica, una disciplina que estudia la respuesta mecánica de los materiales geológicos, como ser los suelos. Sus campos de aplicación incluyen la ingeniería civil, la del petróleo y la geológica.



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

#### **4.3.1. Propiedades físico -mecánicas de la roca**

Según (Suarez, 2007). Las rocas, y otros materiales pétreos artificiales utilizados en la construcción, son sustancias heterogéneas caracterizadas por amplios rangos de variación composicional, textural y estructural. Esta variabilidad hace que las propiedades de los materiales, que son las que dictan sus campos de aplicación, sean también variables. Así, la adecuación de un material para un propósito concreto, tanto desde el punto de vista constructivo-ornamental como restaurador, debe basarse en determinadas propiedades que deben, a su vez, ser fácilmente medibles en el laboratorio.

Las propiedades de los materiales se clasifican generalmente como físicas, químicas y mecánicas, aunque en el campo de la construcción/ornamentación/restauración también pueden incluirse las propiedades relacionadas con su trabajabilidad. Es evidente que la lista de propiedades que pueden medirse en un material es extensa. Por ello en este tema se presentan aquellas que tienen más relevancia desde el punto de vista que nos atañe.

Dentro de las propiedades físicas se incluyen densidad, porosidad, permeabilidad a líquidos y gases, capacidad calorífica, conductividad y expansión térmicas, etc. Entre las propiedades químicas pueden incluirse la resistencia a soluciones ácidas y alcalinas, y a las reacciones inducidas por la presencia de sales. Las propiedades mecánicas incluyen la resistencia a la compresión, tensión, flexión e impacto y penetración por otro cuerpo y por otras acciones que involucran la generación de fuerzas, como la cristalización de hielo y sales en el interior del sistema poroso de los materiales y los cambios volumétricos de los mismos debidos a cambios de temperatura. Estas propiedades, que en última instancia resultan de la composición química y mineralógica de los materiales, de su textura y de su estructura, permiten caracterizar la resistencia de los materiales a los agentes de deterioro. Esto último gobierna la vida útil del material, que a fin de cuentas es equivalente a la vida útil de las partes del edificio construidas con el mismo y, para determinados elementos constructivos, del edificio mismo.

##### **➤ Densidad y peso específico.**

La densidad de un mineral es una de sus propiedades más importantes, ya que es reflejo directo de su quimismo y de su estructura cristalina. La densidad se define como masa por unidad de volumen, y sus unidades son gramos por centímetro cúbico. (Alicante, 2020).



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

El peso específico (G) o densidad relativa de un mineral es un número que expresa la relación entre su peso y el peso de un volumen igual de agua a 4°C (a esta temperatura la densidad del agua es máxima).

El peso específico de un mineral de composición determinada es constante y más fácil de medir. Una desventaja en la medición de la densidad de un mineral es que el volumen de un ejemplar de forma irregular es extremadamente difícil de determinar. En el reconocimiento de “visu” al sostener el mineral en la mano es posible tener una idea de su densidad. Por ejemplo, el yeso (G=2.32) parece ligero en comparación con la baritina (G=4.5). (Alicante, 2020)

#### ➤ **Peso Volumétrico**

El peso volumétrico es la relación del peso de la masa de suelos entre su volumen de masa. Se consideran las tres fases del suelo:

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m}$$

**Donde:**

**W<sub>m</sub>**= Peso de la masa

**V<sub>m</sub>**= Volumen de la masa

Es la densidad del suelo, se le conoce también como peso unitario ó como peso específico de masa.

#### ➤ **Porosidad (ϕ)**

Es la fracción del volumen total de la roca ocupada por su espacio poroso, y representa el porcentaje del espacio total que puede ser ocupado por líquidos o gases. Esta propiedad determina la propiedad de acumulación de las rocas y, generalmente, se expresa como porcentaje o fracción de la unidad. (Suarez, 2007)

#### **4.3.1.1. Deformabilidad**

(Cortéz, 2015). Menciona que cuando se somete una muestra de roca a una carga esta tiende a cambiar de forma, de volumen o bien las dos cosas simultáneamente. Durante el período de aplicación del esfuerzo, este y la deformación son inseparables, por lo que se acostumbra a estudiar a la deformación mediante gráficas conocidas como Esfuerzo-Deformación





UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

(FERNANDEZ, 2014) hace énfasis en que la deformabilidad es la propiedad que tiene la roca para alterar su forma como respuesta a la actuación de fuerzas. Según sea la intensidad de la fuerza ejercida, el modo en que se aplica y las características mecánicas de la roca, la deformación será permanente o elástica; en este último caso el cuerpo recupera su forma original al cesar la actuación de la fuerza.

- **Ensayos de laboratorio de resistencia y deformabilidad.**

Los métodos experimentales para determinar la resistencia y la deformabilidad de las rocas son independientes del criterio de rotura adoptado en cada caso; su finalidad es establecer las relaciones entre los esfuerzos y las deformaciones durante el proceso de carga y rotura, los esfuerzos a que está sometida la roca en el momento de la rotura y sus parámetros resistentes. Estos métodos son los ensayos de laboratorio de compresión uniaxial, compresión triaxial y tracción.

- **Resistencia y deformabilidad de macizos rocosos**

La resistencia de los macizos rocosos es función de la resistencia de la matriz rocosa y de las discontinuidades, siendo ambas extremadamente variables, y de las condiciones geoambientales a las que se encuentra sometido el macizo, como las tensiones naturales y las condiciones hidrogeológicas. La presencia de zonas tectonizadas, alteradas o de diferente composición litológica, implica zonas de debilidad y anisotropía con diferentes comportamientos y características resistentes. Estas circunstancias determinan una gran complejidad en la evaluación de la resistencia de los macizos rocosos.

#### ***4.3.2. Método de Bieniawski***

Según (GEOWEB, 2018). La clasificación geomecánica de Bieniawski o clasificación RMR fue desarrollada en 1973, actualizada en 1979 y 1989, el sistema consiste de una metodología de clasificación de macizos rocosos que permite relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo rocoso, criterios de excavación y sostenimiento. Esta metodología es una de las más usadas en el ámbito de la mecánica de rocas.

La clasificación RMR tiene en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos:



## 1. La resistencia uniaxial de la matriz rocosa.

Tabla 4. Resistencia a la roca.

DESCRIPCIÓN	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)	ENSAYO DE CARGA PUNTUAL (MPa)	VALORACIÓN
Extremadamente dura	>250	>10	15
Muy dura	100-250	4-10	12
Dura	50-100	2-4	7
Moderadamente dura	25-50	1-2	4
Blanda	5-25		2
Muy blanda	1-5	<1	1
	<1		0

Fuente: (Bongiorno, 2019)

## 2. El grado de fracturación en parámetros del RQD.

El índice de RQD permite la estimación cuantitativa de la calidad del macizo rocoso para muestras de roca obtenidas a partir de sondeos, que se define mediante una relación entre las longitudes de los fragmentos de testigos mayores a 10 cm y la longitud total del tramo considerado. La ecuación (1) que se muestra a continuación es la original para determinar la resistencia de la roca basada en el RQD.

$$RQD = \frac{\sum \text{Longitud de los fragmentos de testigo} > 10 \text{ cm}}{\text{Longitud total del tramo considerado}} \times 100\% \quad (1)$$

Según Palmstrom (1975), propone correlaciones empíricas (ecuaciones 2 y 3) basadas en el factor  $J_v$ , cuando no existen testigos de roca para valorar este índice:

$$RQD = 115 - 3.3 J_v \quad \text{para } J_v > 4,5 \quad (2)$$

$$RQD = 110 - 2.5 J_v \quad \text{para } J_v \leq 4,5 \quad (3)$$

Tabla 5. Valoración para el RQD.

ÍNDICE DE CALIDAD RQD (%)	CALIDAD	VALORACIÓN
0-25	Muy mala	3
25-50	Mala	8
50-75	Regular	13
75-90	Buena	17
90-100	Excelente	20

Fuente: (Bongiorno, 2019)





UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

### 3. El espaciado de las discontinuidades (planos de debilidad).

**Tabla 6.** Valoración del espaciado de las discontinuidades.

DESCRIPCIÓN	ESPACIADO DE LAS JUNTAS	TIPO DE MACIZO ROCOSO	VALORACIÓN
Muy separadas	> 2 m	Sólido	20
Separadas	0,6 – 2 m.	Masivo	15
Moderadamente juntas	200 – 600 mm.	En bloques	10
Juntas	60 – 200 mm	Fracturado	8
Muy juntas	< 60 mm.	Machacado	5

Fuente: (Bongiorno, 2019)

### 4. Las condiciones de las discontinuidades.

**Tabla 7.** Condiciones de las discontinuidades.

GRADO	DESCRIPCIÓN	SEPARACIÓN DE LAS CARAS	VALORACIÓN
1	Abierta	>5 mm	0
2	Moderadamente abierta	1 – 5 mm	1
3	Cerrada	0,1 – 1 mm	4
4	Muy cerrada	< 0,1 mm	5
5	ninguna	0	6

Fuente: (Bongiorno, 2019)

**Tabla 8.** Rugosidad de las discontinuidades

GRADO	DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
1	Muy rugosa	6
2	Rugosa	5
3	Ligeramente rugosa	3
4	Lisa	1
5	Plana (espejo de falla)	0

Fuente: (Bongiorno, 2019)

### 5. Parámetros o condiciones hidrogeológicas.

**Tabla 9.** Condiciones hidrogeológicas

CAUDAL POR 10 m DE TUNEL	RELACIÓN PRESIÓN AGUA – TENSIÓN PPAL MAYOR	DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
Nulo	0	Seco	15
< 10 litros/min	< 0,1	Ligeramente húmedo	10
10-25 litros/min	0,1 – 0,2	Húmedo	7
25/125 litros/min	0,2 – 0,5	Goteando	4
>125 litros/min	> 0,5	Fluyendo	0

Fuente: (Bongiorno, 2019)



En conjunto el efecto de los parámetros geomecánicos sobre el comportamiento del macizo rocoso se expresa mediante el índice de calidad RMR (rock mass rating), este índice varía de 0 a 100 y expresa la calidad de la roca para su uso en obras de ingeniería civil.

La clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989), tiene como objetivo definir la calidad de los macizos rocosos en función al índice RMR, este índice se calcula teniendo en cuenta la resistencia de la matriz rocosa, el índice RQD, condición de las discontinuidades y parámetros hidrogeológicos.

#### 4.3.3. Clasificación *Q* de Barton, Lien y Lunde.

Según (RAMÍREZ, 2000). Barton, Lien y Lunde del Instituto de Geotecnia de Noruega (NGI) propusieron un índice para determinar la calidad del macizo en túneles. Se catalogan los macizos rocosos según el denominado Índice de calidad “Q” ó Índice de Calidad Tunelera.

Los parámetros que definen Q representan el siguiente aspecto:

- **R.Q.D./ J<sub>n</sub>**: Tamaño de bloques, representa la estructura global del macizo rocoso.
- **J<sub>r</sub>/J<sub>a</sub>**: Resistencia al corte entre bloques.
- **J<sub>w</sub>/SRF**: Estado tensional en el macizo rocoso.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF}$$

**RQD** “Rock Quality Designation”

**J<sub>n</sub>** Número de familias juntas

**J<sub>r</sub>** Rugosidad de las juntas

**J<sub>a</sub>** Meteorización de las juntas

**J<sub>w</sub>** Coeficiente reductor que tiene en cuenta la presencia de agua

**SRF** factor dependiente principalmente de las tensiones existentes en el macizo rocoso.

El índice Q, considera nueve clases para calificar la calidad de los macizos rocosos, en una escala logarítmica, que varía de 0.001 a 1000. (Barton, 1974)

**Tabla 10.** Clasificación del Macizo Rocosos en Relación al  $Q$  de Barton.

CALIDAD DEL MACIZO	INTERVALO INDICE Q
Excepcionalmente Mala	$Q \leq 0.001$
Extremadamente Mala	$0.001 < Q \leq 0.1$
Muy Mala	$0.1 < Q \leq 1$
Mala	$1 \leq Q \leq 4$
Regular	$4 < Q \leq 10$
Buena	$10 < Q \leq 40$
Muy Buena	$40 < Q \leq 100$
Extremadamente Buena	$100 < Q \leq 400$
Excepcionalmente Buena	$Q \geq 400$

Fuente: (Barton, 1974)

A continuación, las tablas usadas para la cuantificación del Índice  $Q$ :

### 1. RQD

**Tabla 11.** Calidad del R.Q.D.

Descripción de la calidad del macizo rocoso	R.Q.D (%)	Observaciones
Muy mala	0-25	Para R.Q.D. <10 se puede tomar R.Q.D. =10 en la ecuación de $Q$ .
Mala	25-50	
Regular	50-75	
Buena	75-90	
Excelente	90-100	

Fuente: (Barton, 1974)

### 2. Número de familias juntas ( $J_n$ )

**Tabla 12.** Número de familias juntas ( $J_n$ ).

DESCRIPCIÓN	JN
Roca masiva	0.5-1
Una familia de diaclasas	2
Una familia de diaclasas y algunas diaclasas ocasionales	3
Dos familias de diaclasas	4
Dos familias de diaclasas y algunas diaclasas ocasionales	6
Tres familias de diaclasas	9
Tres familias de diaclasas y algunas diaclasas ocasionales	12
Cuatro o más familia de diaclasas, roca muy fracturada	15
Roca triturada terrosa	20
En boquillas, se utiliza 2 juntas y en túneles 3juntas	

Fuente: (Barton, 1974)



UNL

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables

### 3. Rugosidad de las juntas ( $J_r$ )

**Tabla 13.** *Rugosidad de las juntas ( $J_r$ ).*

<b>Contacto entre las 2 caras de las diaclasas con poco desplazamiento lateral de menos de 10cm</b>		<b>Jr</b>
Juntas discontinuas		4
Juntas rugosas o irregular ondulada		3
Suave ondulada		2
Espejo de falla, ondulada		1.5
Rugosa o irregular, plana		1.5
Suave plana		1
Espejo de falla, plano		0.5
<b>No existe contacto entre las 2 caras de las diaclasas cuando ambas se desplazan lateralmente</b>		<b>Jr</b>
Zona de contenido de minerales arcillosos, suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las caras de las diaclasas		1
Arenas, gravas o zona de fallado suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las dos caras de las diaclasas		1
Nota: si el espaciado de la familia de las diaclasas es mayor de 3m hay que aumentar el $J_n$ en una unidad. Para diaclasas con espejo de falla provisto de lineaciones, si están orientadas favorablemente, se puede usar $J_r = 0.5$		

**Fuente:** (Barton, 1974)

### 4. Meteorización de las juntas ( $J_a$ )

**Tabla 14.** *Meteorización de las juntas ( $J_a$ ).*

<b>Descripción</b>	<b>J<sub>a</sub></b>	<b><math>\theta^\circ</math></b>
<b>Contacto entre las 2 caras de las diaclasas</b>		
Junta sellada dura, sin reblandecimiento impermeable como por ejemplo cuarzo en paredes sanas	0.75	25-30
Cara de la junta únicamente manchadas	1	25-30
Las caras de la junta están alteradas ligeramente y contienen minerales no blandos partículas de arena, roca desintegrada libre de arcilla	2	25-30
Recubrimiento de limo o arena arcillosa, pequeña fricción arcillosa no reblandecible.	3	20-25
Recubrimiento de minerales arcillosos blandos o de baja fricción como caolinita, clorita, talco, yeso, grafito y pequeñas cantidades de arcillas expansivas. Los recubrimientos son discontinuos con espesores máximos de 1 o 2mm.	4	8-16
<b>Contacto entre las 2 caras de las diaclasas con &lt; de 10cm desplazamiento lateral</b>		
Partículas de arena, roca desintegrada libre de arcilla	4	25-30
Fuertemente sobreconsolidados rellenos de minerales arcillosos no blandos, los recubrimientos son continuos de menos de 5mm de espesor	6	16-24
Sobreconsolidación media a baja, blandos, rellenos de minerales arcillosos. Los recubrimientos son continuos de < de 5mm de espesor.	8	12-16
Rellenos de arcilla expansiva, de espesor continuo de 5mm. El valor de $J_a$ dependerá del porcentaje de partículas del tamaño de la arcilla expansiva	8-12	6-12
<b>No existe contacto entre las 2 caras de la diaclasa cuando esta cizallada.</b>		
Zonas o bandas de roca desintegrada o manchada y arcilla	6-8-12	6-24
Zonas blandas de arcilla limosa o arenosa con pequeña fricción de arcillas no blandas.	5	6-24
Granos arcillosos gruesos	13 20	6-24

**Fuente:** (Barton, 1974)



UNL

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables

## 5. Coeficiente reductor que tiene en cuenta la presencia de agua ( $J_w$ )

**Tabla 15.** Coeficiente reductor que tiene en cuenta la presencia de agua ( $J_w$ ).

DESCRIPCIÓN	$J_w$	PRESIÓN DEL AGUA KG/CM <sup>2</sup>
Excavaciones secas o de influencia poco importante	1	<1
Fluencia o presión medias, ocasional lavado de los rellenos de las diaclasas	0.66	1-2.5
Fluencia grande o presenta alta, considerable lavado de los rellenos de las diaclasas	0.33*	2.5-10
Fluencia o presión de agua excepcionalmente altas, decayendo con el tiempo	0.1- 0.2*	>10
Fluencia o presión de aguas excepcionalmente altas y continuas, sin disminución.	0.05- 0.1*	>10

Los valores presentados con el signo\* son solo valores estimados. Si se instalan elementos de drenaje, hay que aumentar  $J_w$ .

**Fuente:** (Barton, 1974)

## 6. Condiciones tensionales SRF

**Tabla 16.** Condiciones tensionales SRF.

1.- Zona débil que interceptan la excavación y pueden causar caídas de bloques		S.R.F.
A. Varias zonas débiles contenido arcilla o roca desintegrada químicamente, roca muy suelta alrededor		10
B. Solo una zona débil contenido arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación < 50m).		5
C. Solo una zona débil contenido arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación > 50m).		2.5
D. Varias zonas de fractura en roca competente libre de arcilla, roca suelta alrededor (cualquier profundidad).		7.5
E. Solo una zona fracturada en roca competente, libre de arcilla (profundidad de excavación < 50m).		5
F. Solo una zona fracturada en roca competente, libre de arcilla (profundidad de excavación < 50m).		2.5
G. Diaclasas abiertas sueltas, muy fracturadas. Cualquier profundidad.		5
2.- Rocas competentes con problemas tensionales en las rocas	$\sigma_c / \sigma_1 \quad \sigma_t / \sigma_1$	S.R.F.
H. Tensiones superficie. Pequeñas	>200 >13	2.5
I. Tensiones medias	200-10 13-0.33	1.0
J. Tensiones altas estructura muy compacta, favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales	10-5 0.66-0.33	0.5-2.0
K. Explosión de roca suave (roca masiva)	5-2.5 0.33-0.16	5-10
L. Explosión de roca fuerte (roca masiva)	<2.5 <0.16	10-30
3.- Rocas fluyentes, flujo plástico de roca incompetente bajo la influencia de altas presiones litostática.		S.R.F.
M. Presión de flujo suave		5-10
N. Presión de flujo intensa		10-20
4.- roca expansiva, actividad expansiva química dependiendo de la presencia del agua		S.R.F.
O. Presión expansiva suave		5-10
P. Presión expansiva intensa		10-15

**Observaciones:** reducir los valores de SRF en unos 25 a 50% si las zonas de rotura solo influyen, pero no interceptan a la excavación. En los casos que la profundidad de las claves del túnel sea inferior a la altura del mismo se sugiere aumentar el SRF de 2.5 a 5.

**Fuente:** (Barton, 1974)



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

#### **4.3.4. Clasificación GSI de Hoek.**

El índice geológico de resistencia, GSI (Geological Strength Index), fue desarrollado por Hoek en 1994, se basa en una observación cuidadosa del macizo rocoso, es esencialmente cualitativa, evalúa la calidad del macizo en función del grado (1 al 100) y las características de la fracturación, estructura geológica, tamaño de los bloques y alteración de las discontinuidades. (González de Vallejo, 2004)

La estructura de la masa rocosa caracteriza el grado de fracturamiento o la cantidad de discontinuidades por metro lineal, se considerada cinco categorías:

- LF.- Levemente Fracturada
- F.- Moderadamente Fracturada
- MF.- Muy Fracturada
- IF.- Intensamente Fracturada
- T.- Triturada o brechada (SNMPE, 2004, p. 27)

La condición superficial de la masa rocosa involucra a la resistencia de la roca intacta y a las propiedades de las discontinuidades: resistencia, apertura, rugosidad, relleno y la meteorización o alteración. Se divide en cinco categorías denominadas de la siguiente manera:

- MB.- Masa rocosa Muy Buena
- B.- Masa rocosa Buena
- R.- Masa rocosa Regular
- M.- Masa rocosa Mala
- MM.- Masa rocosa Muy Mala (SNMPE, 2004, p. 27)

**Tabla 17. Índice de resistencia geológica (GSI). Modificado.**

<b>SOSTENIMIENTO SEGÚN G.S.I. MODIFICADO</b>								
<b>Labores mineras de exploración-desarrollo y explotación (0.75 a 3.50 de luz) según su condición superficial</b>								
	<b>Muy Buena</b>	Generalmente no requiere de sostenimiento, ocasionalmente puntales en tajos y pernos en gal. y cx	<b>Parámetro de resistencia</b>	<b>Muy Buena (MB):</b> (Muy resistente fresca) Superficie de las fracturas muy rugosas, sin alteración cerradas (R.C. > 250 Mpa) S astilla con golpes de picota	<b>Buena (B):</b> (Resistente, levemente alterada) Fracturas rugosas ligeramente alteradas con manchas de oxidación ligeramente abiertas (R.C. 100 a 200 Mpa). Se rompe con tres o más golpes de picota	<b>Regular (R):</b> (Moderadamente resistente y alterada) Fracturas ligeramente rugosas a lisas; moderadamente alterada ligeramente abierta (R.C. 50 a 100Mpa) Se rompe con uno o dos golpes de picota	<b>Mala (M):</b> (Blanda muy alterada) Superficie pulida o con estrías muy alterada, relleno compacto o con fragmentos de roca (R.C. 25 a 50 Mpa) Se hunde superficialmente con un golpe de picota	<b>Muy Mala (MM):</b> (Muy blanda y extremadamente alterada) Superficie pulida o se hunde profundamente con la punta de picota
	<b>Buena</b>	Sostenimiento puntual donde se requiera pernos cementados en labores principales, Split set en labores temporales. Levantar coronas en tajos y colocar puntales de seguridad donde se requiera						
	<b>Regular</b>	Sostenimiento sistemático 1.2 x 1.2 m., pernos cementados en labores principales (mallas ocasionales). Split set en labores temporales. En tajos: tener control de perforación y voladura; colocación de puntales sistemáticos y/o pernos en tajos de 1 a 15m. (cajas y corona)						
	<b>Mala</b>	Sostenimiento sistemático c/cuadros de madera (1.2 – 1.5m.); pernos cementados sistemáticos (1x1m.) c/mallas en labores permanentes. Sostenimiento preventivo en labores temporales con Split set (1 x 1m.) con malla, en tajos de perforación horizontal y cuadros de madera y/o puntales de seguridad y en línea cada 1m. con guardacabezas						
	<b>Muy mala</b>	Sostenimiento con cuadros de madera de 0.5 a 1m; encribado y topeado (avanzado con marchavantes). En tajos perforación horizontal y armado de cuadros completo y puntales con plantilla sistemático cada 1m.						
<b>Parámetro de fracturamiento</b>								
	<b>Levemente fracturada (LF)</b>	De tres a menos sistemas de fracturamiento muy espaciadas entre sí. De 2 a 6 fracturas por metro lineal (R.Q.D. 75 a 90)	I LF/MB	II LF/B	II LF/R			
	<b>Moderadamente fracturada (F)</b>	Muy bien amarrada, no alterada Bloques cúbicos formados por tres sistemas de fracturamiento De 6 a 12 fracturas por metro lineal (R.Q.D. 50 a 75)	I F/MB	II F/B	III F/R	IV F/M		
	<b>Muy fracturada (MF)</b>	Moderadamente amarrada, parcialmente alterada, bloques angulosos formados por cuatro a más sistemas de fracturamiento De 12 a 20 fracturas por metro lineal (R.Q.D. 25-50)		II MF/B	III MF/R	IV MF/M	V MF/MM	
	<b>Intensamente fracturada-fallada (IF)</b>	Muchas fracturas entrecruzadas, 2 a mas falsas cajas fallamientos paralelos, todos formando bloques irregulares o angulosos. Mas de 20 fracturas por metro lineal (R.Q.D. 0 a 25)			III IF/R	IV IF/M	V IF/MM	
	<b>Triturada o brechada (T)</b>	Poco amarrada, masa rocosa extremadamente rota deleznable, con una mezcla de fragmentos fácilmente disgregable, angulosos y redondeados (Sin R.Q.D.)				V T/M	V T/MM	

Fuente: (Hoek y Marinos, 2000)



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

#### ***4.3.5. Resistencia a la Compresión Simple de Rocas***

(Patricio Carrión, 2007). Denomina resistencia a la compresión simple o uniaxial de una roca (RCS) al esfuerzo medido sobre la misma de una manera técnica. La resistencia a la compresión simple de las rocas es el parámetro más común para definir los criterios de rotura y el comportamiento geomecánico de un macizo rocoso. Su obtención en ensayos de laboratorio requiere muestras cuidadosamente preparadas y de un tiempo considerable para conocer su resultado, lo que puede representar un alto costo. Esta valoración o parámetro se debe a la necesidad de emplear clasificaciones de macizos rocosos. Estas clasificaciones son conocidas como clasificaciones geomecánicas y derivan de la diferencia existente entre las propiedades de la roca por su naturaleza y las del macizo, que presenta diferentes grados de fracturación y meteorización.

(Andrade, 2017). Menciona que este método se utiliza para determinar el esfuerzo a la compresión inconfiada de núcleos de roca. El ensayo provee datos para determinar la resistencia de la roca, normal y cortante a bajo varias presiones y diferentes temperaturas. La aplicación de los resultados obtenidos con este ensayo decrece al aumentar la anisotropía de la roca. Es recomendable realizar pruebas en las zonas de foliación, división y a ángulos apropiados para determinar el nivel de anisotropía. Es importante para su clasificación y como punto de partida para la obtención de criterios de rotura, por medio de la aplicación de sistemas de clasificación geomecánica como los sistemas RMR y Q.

(Patricio Carrión, 2007) Hace énfasis en que este ensayo sirve para determinar la resistencia a compresión de una probeta cilíndrica de roca de altura entre el doble y el triple del diámetro. Normalmente estas probetas se obtienen a partir de testigos de perforación. También se pueden obtener muestras a partir de bloques de roca; la extracción de estos bloques en la mina o en la obra, se debe llevar a cabo sin voladuras, ya que éstas pueden generar en la roca nuevas microfisuras o aumentar las existentes, lo cual se traduciría en una pérdida de resistencia de las probetas que se obtengan de ellos. Averiguar la resistencia a compresión simple de una roca es importante porque permite clasificar la roca según su resistencia, es un parámetro importante en los criterios de rotura más utilizados.





Tabla 18. clasificación de la roca en base a la resistencia a la compresión según la ISRM.

DESCRIPCIÓN	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPa)
Extremadamente blanda	< 1
Muy blanda	1 – 5
Blanda	5 – 25
Moderadamente blanda	25 – 50
Dura	50 – 100
Muy dura	100 - 250
Extremadamente dura	250

Fuente: (Patricio., 20)

(Patricio Carrión 2007). Dictamina que la caracterización geotécnica es la elaboración de todo estudio geotécnico, tras el estudio geológico, comenzamos la caracterización de materiales bajo rigurosa profesionalidad.

Existen dos formas para definir el comportamiento de una roca en rotura: mediante el estado de tensiones o mediante el de deformaciones, normalmente se utiliza el estado de tensiones. (González Vallejo, 2002). De esta forma, se toma como resistencia de la roca la máxima tensión que ésta puede soportar. Para cualquier punto del macizo el tensor de tensiones viene definido por seis componentes, tres componentes normales, y tres componentes tangenciales,  $\sigma_{xi}$ ,  $\sigma_{yi}$ ,  $\sigma_{zi}$ ,  $\tau_{xyi}$ ,  $\tau_{yzi}$  y  $\tau_{xzi}$ , en un sistema de coordenadas (x, y, z). Dependiendo de la magnitud y dirección de las seis componentes del tensor, se obtienen las tres tensiones principales,  $\sigma_{1i}$ ,  $\sigma_{2i}$ ,  $\sigma_{3i}$ , donde  $\sigma_{1i}$  es la tensión mayor,  $\sigma_{2i}$  la tensión intermedia y  $\sigma_{3i}$  la tensión menor.

#### 4.3.6. Sostenimientos

El sostenimiento, es un término ampliamente utilizado para describir los procedimientos y materiales aplicados a mejorar la estabilidad y mantener la capacidad portante de la roca circundante a la excavación. El objetivo principal de un sistema de sostenimiento es movilizar y conservar la resistencia inherente de la masa rocosa, de tal manera que la excavación pueda autosostenerse. En el caso del minado subterráneo, se pueden utilizar para el sostenimiento de las labores mineras, estructuras naturales y estructuras artificiales. (SNMPE, 2004, p. 94)



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

Las principales estructuras naturales son:

- **El efecto arco:** “El arqueo de los contornos de las excavaciones, principalmente en el techo, favorece las condiciones de estabilidad de las labores mineras subterráneas, minimizando la necesidad de utilizar sostenimiento con estructuras artificiales” (SNMPE, 2004, p. 94).
- **Pilares:** “Las diferentes formas de pilares, como las mencionadas en los acápite anteriores son utilizadas como estructuras naturales, para sostener a la masa rocosa circundante a las excavaciones asociadas al minado subterráneo” (SNMPE, 2004, p. 94).
- **Los escudos:** Esta estructura natural consiste en dejar una capa de mineral en los hastiales del tajeo, principalmente en la caja techo, en situaciones donde las rocas encajonantes son de mala calidad y el mineral es de mejor calidad. Esta capa de mineral de 0.5 a 1 m. de espesor, funciona como sostenimiento de la roca de mala calidad de las cajas, recomendándose que tenga continuidad en todo el hastial. Si por alguna razón se extrae parte del mineral de los escudos, estos pierden su efectividad y provocan situaciones de peligro. (SNMPE, 2004, p. 95)

Entre las estructuras artificiales debemos distinguir el reforzamiento de la roca o también denominado sostenimiento activo y el soporte de la roca o también denominado sostenimiento pasivo. En el reforzamiento de la roca, los elementos de sostenimiento son una parte integrante de la masa rocosa reforzada (SNMPE, 2004, p. 96)

Las estructuras artificiales más importantes son:

- **Entibación de madera:** En sección pequeña y en roca movediza, se emplea a veces la entibación de madera muy flexible como el terreno suelto. La entibación tipo se conoce de marco separados de 0.50 a 1.50 m. según el comportamiento del terreno. Cada marco se compone de una sopanda y dos pilares o montantes que descansan sobre una traviesa o durmiente. (Galabru, 1977, p. 345)
- **Cuadros y cerchas metálicas:** El sostenimiento con cuadros metálicos aporta además de estabilidad global al terreno, la facilidad de combinarlo con revestimientos metálicos o de hormigón que proporcionan protección frente a los pequeños desprendimientos.



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

Los cuadros y cerchas metálicas pueden ser rígidos o deslizantes. (LOM, 2015, p. 82)

- **Concreto:** El hormigón se utiliza de forma puntual en zonas muy inestables y de mucho tránsito, al ser un elemento caro y de ejecución laboriosa y lenta al necesitar encofrados y tiempos de fraguado, su aplicación puede darse por encofrado y armado o también puede ser aplicado de forma proyectada. (LOM, 2015, p. 82)
- **Pernos de anclaje:** Los sistemas de reforzamiento con pernos de roca minimizan las deformaciones inducidas por el peso muerto de la roca aflojada, así como también aquellas inducidas por la redistribución de los esfuerzos en la roca circundante a la excavación. (SNMPE, 2004, p. 101)

Los pernos de anclaje pueden ser de diferentes tipos, entre los cuales tenemos:

- **Pernos de anclaje mecánico:** Un perno de anclaje mecánico, consiste en una varilla de acero usualmente de 16 mm de diámetro, dotado en su extremo de un anclaje mecánico de expansión que va al fondo del taladro. Su extremo opuesto puede ser de cabeza forjada o con rosca, en donde va una placa de base que es plana o cóncava y una tuerca, para presionar la roca. (SNMPE, 2004, p. 103)
- **Swellex:** Un perno swellex está hecho de un tubo de acero, doblado y expandido en un orificio más pequeño a través de alta presión de agua. Los casquillos están soldados en ambos extremos; un extremo está sellado y el otro recibe el buje de inflado. Una parte integral del sistema swellex es una bomba de agua que proporciona 30 megapascales de presión a través de un intensificador de presión (Hustrulid y Bullock, 2001, p. 549)
- **Split set:** Los pernos Split Set consisten en un tubo hueco dividido enrollado a partir de una tira de acero con un extremo cónico. El collar del perno tiene un anillo de acero soldado a través de la tira enrollada. Los pernos Split Set se insertan en un orificio de perforación de un diámetro ligeramente más pequeño utilizando un taladro de percusión para roca para la instalación manual y un martillo de impacto hidráulico cuando se usa un empernado automático. (Hustrulid y Bullock, 2001, p. 548)
- **Grouted dowel o Taco de lechada:** Cuando las condiciones son tales que la instalación del soporte puede llevarse a cabo muy cerca de una cara que avanza, o en previsión de cambios de tensión que ocurrirán en una etapa posterior de extracción, se



pueden usar tacos en lugar de pernos para roca. La diferencia esencial entre estos sistemas es que los pernos para roca tensados aplican una fuerza positiva a la roca, mientras que las clavijas dependen del movimiento de la roca para activar la acción de refuerzo. (Hoek, Kaiser y Bawden, 1998, p. 158)

- **Cable bolt o Pernos de cable:** Los pernos de cable para minería se utilizan para el refuerzo de roca temporal y semipermanente en la minería subterránea. Los pernos de roca con pernos de cable de acero pretensado combinan un perno de bajo peso con una alta capacidad de carga. El sistema permanece flexible incluso con cables de mayor longitud. (DSI Underground, 2017, p. 10)

Clase RMR	Excavación	Sostenimiento		
		Bulones	Gunita	Cerchas
I 100 - 81	Sección completa. Avances de 3 m.	Innecesario, salvo algún bulón ocasional.	No.	No.
II 80 - 61	Sección completa. Avances de 1 - 1.5 m.	Bulonado local en clave, con longitudes de 2 - 3 m y separación de 2 - 2.5 m, eventualmente con mallazo.	5 cm en clave para impermeabilización.	No.
III 60 - 41	Avance y destroza. Avances de 1.5 a 3 m. Completar sostenimiento a 20 m del frente.	Bulonado sistemático de 3 - 4 m con separaciones de 1.5 a 2 m en clave y en los hastiales. Mallazo en clave.	5 a 10 cm en clave y 3 cm en hastiales.	No.
IV 40 - 21	Avance y destroza. Avances de 1 a 1.5 m. Sostenimiento inmediato del frente. Completar sostenimiento a menos de 10 m del frente.	Bulonado sistemático de 4 - 5 m con separaciones de 1 - 1.5m en clave y hastiales con mallazo.	10 a 15 cm en clave y 10 cm en hastiales. Aplicación según avanza con la excavación.	Cerchas ligeras y espaciadas 1.5 m cuando se requieran.
V ≤ 20	Fases múltiples. Avances de 0.5 - 1 m. Gunitar inmediatamente el frente después de cada avance.	Bulonado sistemático de 5 - 6 m, con separaciones de 1 - 1.5 m en clave y hastiales con mallazo. Bulonado en solera.	15 - 20 cm en clave, 15 cm en hastiales y 5 cm en el frente. Aplicación inmediata después de cada avance.	Cerchas pesadas separadas 0.75 m con blindaje de chapas y cerradas en solera.

Túneles de sección en herradura, máxima anchura 10 m, máxima tensión vertical 250 kp/cm².

(Bieniawski, 1989).

Figura 4. Sostenimientos a partir del índice RMR (1989)

Fuente: González de Vallejo. (2002) Ingeniería Geológica. Madrid: Pearson Education.Pg 517.



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

## 5. Metodología

Para el desarrollo de la presente investigación se utilizó materiales de campo y oficina, que permitieron el cumplimiento de los objetivos planteados siendo los siguientes:

### 5.1. Materiales

**Tabla 19.** Equipos y materiales a utilizar

EQUIPOS Y MATERIALES A UTILIZAR		
Trabajo de Campo	Trabajo de Oficina	Seguridad
Brújula BRUNTON	Computadora	Casco
Estación total Trimble S6	Microsoft Excel 2019	Chaleco- Refractivo
Piqueta	Microsoft office 2019	Botas
Lupa	AutoCAD 2018	Linterna
Libreta de Campo	ArGis 10.5	Mascarilla
Fichas de Afloramientos	foreSight 2.2	Tapones auditivos
Cámara Fotográfica	Impresora	Mascarilla
Fosforera	Microscopio	
Fundas de muestras de mano	Equipo para el ensayo de resistencia	
Peine de Barton		
Esclerómetro		



## 5.2. Ubicación y Acceso a lugar de Estudio

### 5.2.1. Ubicación Geográfica

- Concesión MIMOPI Cod.264.

El área de estudio se encuentra ubicada en la parroquia Zaruma, cantón Zaruma, provincia de El Oro; El área de esta concesión se encuentra conformada por 18 hectáreas mineras contiguas, las coordenadas U.T.M. referenciados al DATUM WGS84 y la zona 17 Sur, así como los vértices que conforman el polígono.

**Tabla 20.** Coordenadas del área de concesión MIMOPI (DATUM: WGS84 Zona 17-Sur)

COORDENADAS DATUM (WGS84 Zona -17 Sur)		
PUNTOS	X	Y
PP	654580	9593130
1	654780	9593130
2	654780	9592830
3	654980	9592830
4	654980	9592630
5	654580	9592630

Fuente: Catastro 2014

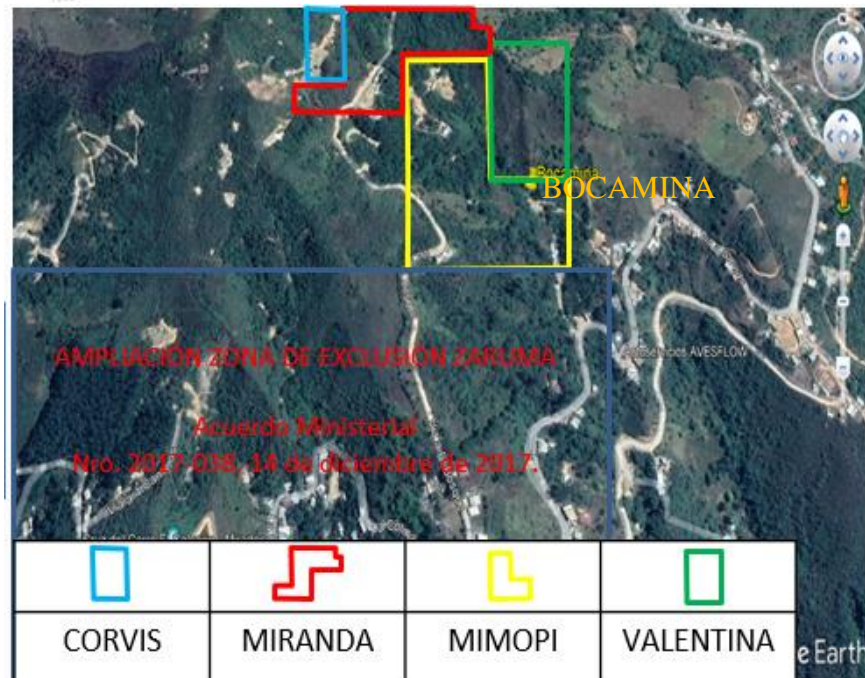
- Concesión MIRANDA Cod.481.

El área de estudio se encuentra ubicada en la parroquia Zaruma, cantón Zaruma, provincia de El Oro; El área de esta concesión se encuentra conformada por 18.7 hectáreas mineras contiguas, las coordenadas U.T.M. referenciados al DATUM WGS84 y la zona 17 Sur, así como los vértices que conforman el polígono. **Ver tabla N°21**

**Tabla 21.** Coordenadas del área de concesión MIRANDA (DATUM: WGS84 Zona 17-Sur)

COORDENADAS DATUM (WGS84 Zona -17 Sur)		
PUNTOS	X	Y
PP	654580	9593130
1	654580	9592930
2	654340	9593040
3	654450	9593040
4	654450	9593620
5	654750	9593620

Fuente: Catastro 2014



**Figura 5.** Ubicación de la bocamina y sus concesiones mediante Google Earth Pro.

### 5.2.2. Acceso

Para acceder a la zona de estudio se lo puede realizar por vía aérea o terrestre. Por vía aérea desde la ciudad de Quito- Loja (Catamayo) o también desde la ciudad de Guayaquil – Loja (Catamayo). Mientras que por vía terrestre se lo puede realizar de tres maneras.

- La primera opción desde la ciudad de Loja- Catamayo, pasando por las Chinchas con destino Portovelo- Zaruma.
- La segunda opción cubre la ruta desde Loja – Catamayo pasando por la parroquia el Cisne- Ambocas con destino Portovelo- Zaruma.
- La tercera opción se lo puede realizar desde Loja- Catamayo, pasando por el pueblo de Velacruz- El Pindo- Saracay – Piñas con destino Portovelo – Zaruma.

A continuación, se parte del centro de la ciudad Zaruma, tomando la vía Zaruma Roma /Sinsao /Ortega /Salvias, la misma que se encuentra pavimentada. A 4.5 km de la vía se encuentra la entrada a la mina MONTESDEOCA.





### 5.2.3. Datos Generales de las concesiones mineras.

**Tabla 22.** Datos generales de la concesión minera MIMOPI Código 264.

<b>CONCESIÓN MINERA MIMOPI CÓDIGO 264</b>	
<b>Cotitular minero</b>	Varios cotitulares mineros
<b>Tipo de Mineral de Manifiesto</b>	Oro/Plata
<b>Provincia</b>	El Oro
<b>Cantón</b>	Zaruma
<b>Parroquia</b>	Zaruma
<b>Fase Minera</b>	Exploración - Explotación
<b>Superficie (has.)</b>	18 hectáreas

**Tabla 23.** Datos generales de la concesión minera MIRANDA Código 481.

<b>CONCESIÓN MINERA MIRANDA CÓDIGO 481</b>	
<b>Nombre del Titular Minero</b>	Ortega Flores Fabian Andrés
<b>Tipo de Mineral de Manifiesto</b>	Oro/Plata/Cobre
<b>Provincia</b>	El Oro
<b>Cantón</b>	Zaruma
<b>Parroquia</b>	Zaruma
<b>Fase Minera</b>	Exploración - Explotación
<b>Superficie (has.)</b>	18.7 hectáreas

### 5.2.4. Clima

Los datos meteorológicos para el análisis del clima, fueron obtenidos a través del portal Power data Access viewer del programa de investigación en ciencias de la tierra por el modelo de asimilación MERRA – 2, de las estaciones más próximas al área de estudio. **Ver tabla N°24.**

**Tabla 24.** Tabla de estaciones meteorológicas.

<b>ESTACIÓN</b>	<b>Datum</b>	<b>Este (X)</b>	<b>Norte (Y)</b>
T2M1	UTM/WGS 84	635100	9585000
T2M2	UTM/WGS 84	685100	9585000
T2M3	UTM/WGS 84	635100	9635000
T2M4	UTM/WGS 84	685100	9635000

La Organización Meteorológica Mundial (OMM), define el clima como “el conjunto de las condiciones atmosféricas caracterizado por los estados del tiempo en una porción determinada de espacio”





De tal forma el clima se determina por el análisis espacio - tiempo de los elementos que lo definen, es así que es necesario disponer de informaciones históricas del comportamiento de los eventos a analizar.

Para el análisis climático en la zona de estudio se siguió la clasificación metodológica del “Modelo Climático de Caldas- Lang” (1962).

En referencia a una clasificación con respecto a la temperatura definida en variación de acuerdo a Pisos térmicos entre cálido, templado, frío, Paramo.

La clasificación climática de acuerdo a Richard Land se encuentra basada en la relación obtenida al dividir entre la precipitación anual (P, en mm) por la temperatura media (T, en °C) este cociente se denomina Índice de efectividad de la precipitación o factor de lluvia de Lang. **Ver tabla N°25.**

**Tabla 25.** Clases de clima según Lang.

<b>COCIENTE P/T</b>	<b>CLASE DE CLIMA</b>
0 a 20.0	Desértico
20.1 a 40.0	Árido
40.1 a 60.0	Semiárido
60.1 a 100.0	Semihúmedo
100.1 a 160.0	Húmedo
Mayor a 160.0	Superhúmedo

**Nota:** Castañeda P (2014)

En determinación con la unificación de los modelos climáticos y las clases de clima se obtendrá el tipo de clima del área de estudio con respecto a la clasificación de Caldas – Lang (1962). **Ver tabla N°26.**

**Tabla 26.** Tipos Climáticos Caldas - Lang.

<b>Nro</b>	<b>Tipo climático</b>	<b>Símbolo</b>
1	Cálido Superhúmedo	CSH
2	Cálido Húmedo	CH
3	Cálido Semihúmedo	Csh
4	Cálido Semiárido	Csa
5	Cálido Árido	CA
6	Cálido Desértico	CD
7	Templado Superhúmedo	TSH
8	Templado Húmedo	TH



<b>Tipos de Clima Según Caldas - Lang</b>	9	Templado Semihúmedo	Tsh
	10	Templado Semiárido	Tsa
	11	Templado Árido	TA
	12	Templado Desértico	TD
	13	Frio Superhumedo	FSH
	14	Frio Húmedo	FH
	15	Frio Semihúmedo	Fsh
	16	Frio Semiárido	Fsa
	17	Frio Árido	FA
	18	Frio Desértico	FD
	19	Paramo Bajo Superhumedo	PBSH
	20	Paramo Bajo Húmedo	PBH
	21	Paramo Bajo Semihúmedo	PBsh
	22	Paramo Bajo Semiárido	Pbsa
	23	Paramo Alto Superhumedo	PASH
	24	Paramo Alto Húmedo	PBH
	25	Nieves Perpetuas	NP

**Nota:** Castañeda P (2014)

- **Isoyetas**

El proceso metodológico desarrollado conlleva una secuencia de acciones que se detallan a continuación:

- Se tomó como referencia las estaciones por parte de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio a través del programa de investigación en ciencias de la tierra, Basados los parámetros meteorológicos en el modelo de asimilación MERRA, el cual proporciona datos a partir de 1980, que para el presente proyecto se tomó un rango de 20 años desde el 2000 al 2020.

- Obtenidos los datos de precipitación, ordenados y promediados en el software Excel 2019 guardado en versión (97 – 2003), con el uso del Software Argis 10.5 se carga los datos y se transforma las coordenadas geográficas, a coordenadas UTM bajo el geoprocamiento (Convert Coordinate Notación) obteniendo el shape de los puntos de Estaciones.

- El método de interpolación considerado fue el Método del Inverso de la Distancia al Cuadrado (IDW) la ponderación, al tener un factor cuadrático, recibe una influencia bastante fuerte del monto pluvial de las estaciones más cercanas y al considerar una serie o variedad de puntos de estimación, puede formar concentraciones concéntricas de los montos estimados en torno a las



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

estaciones. Siendo necesario la información exacta de los puntos de medición, además de la información pluvial.

- La secuencia de procesos en el Software Argis 10.5 fue: Convert Coordinate Notación, Spacial analyst Tools – Interpolation – IDW, Spacial analyst Tools – Extraction – Extract by mask, Spacial analyst Tools – Reclass – Reclassify.

- **Isotermas**

El proceso metodológico desarrollado conlleva una secuencia de acciones que se detallan a continuación:

- Se tomó como referencia las estaciones por parte de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio a través del programa de investigación en ciencias de la tierra, Basados los parámetros meteorológicos en el modelo de asimilación MERRA

– 2 el cual proporciona datos a partir de 1980, que para el presente proyecto se tomó un rango de 20 años desde el 2000 al 2020.

- Una vez los datos de Temperatura ordenados y promediados en el software Excel 2019 guardado en versión (97 – 2003), con el uso del Software Argis 10.5 se lleva los datos y se transforma las coordenadas geográficas, a coordenadas UTM bajo el geoprocamiento (Convert Coordinate Notación) obteniendo el shape de los puntos de Estaciones.

- El método de interpolación considerado fue el Método del Inverso de la Distancia al Cuadrado (IDW) la ponderación, al tener un factor cuadrático, recibe una influencia bastante fuerte del monto pluvial de las estaciones más cercanas y al considerar una serie o variedad de puntos de estimación, puede formar concentraciones concéntricas de los montos estimados en torno a las estaciones. Siendo necesario la información exacta de los puntos de medición, además de la información pluvial.

- La secuencia de procesos en el Software Argis 10.5 sería: Convert Coordinate Notación, Spacial analyst Tools – Interpolation – IDW, Spacial analyst Tools – Extraction – Extract by mask, Spacial analyst Tools – Reclass – Reclassify.



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

### 5.2.5. Sísmica

Para determinar los niveles de amenaza sísmica en la que se encuentra el área de estudio se tomó como referencia en base al último informe (2021) del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, la zonificación sísmica elaborada que ha sido monitoreada con 500 estaciones de vigilancia de registro de información.

En función del nuevo modelo geodinámico para el Ecuador, el conocimiento neotectónico existente y los modelos de deformación cortical, las fuentes generadoras de terremotos se modelan como

1. El desplazamiento geológico acumulado fallas fuente como planos de falla donde la tasa de movimiento diferencial entre los bloques opuestos a la falla (slip rates) definen la tasa de recurrencia de largo plazo de los terremotos grandes (moment-balanced recurrence models), mientras que la sismicidad de base ( $M_w \leq 6$ ) cubre fallas desconocidas o no tomadas en cuenta en el volumen que incluye a la falla fuente. Esta tasa de movimiento se obtiene en función de: zonas fuente volumétricas que incorporan la sismicidad afín al mecanismo focal de la fuente
2. El desplazamiento actual medido mediante técnicas de posicionamiento global modelando diferentes grados de acoplamiento.
3. Planos que definen la zona interplaca en la subducción y concentran la sismicidad de la respectiva zona fuente volumétrica que la contiene

Se generan tres catálogos de sismicidad diferentes para incorporar las incertidumbres en los datos relacionadas con el tiempo cuando fueron registrados, la cobertura y calidad de las redes instrumentales y el procesamiento realizado.

1. El catálogo unificado y homogeneizado BSSA2013 de Beauval et al. (2013) que incluye todas las localizaciones históricas pre-instrumentales y la depuración y compilación de los eventos listados en los diferentes catálogos mundiales, regionales y locales.



2. El catálogo construido a partir de los datos del International Seismological Centre ISC, del nuevo catálogo mundial ISC-GEM y del catálogo del Global CMT Project que contiene todos los sismos instrumentales relocalizados utilizando el mismo modelo global de velocidades.
3. El catálogo basado en los datos del US National Earthquake Information Center NEIC del Servicio Geológico de los Estados Unidos que realiza la determinación rápida de la localización y tamaño de los terremotos a nivel mundial en base a los datos de las redes nacionales y globales participantes (ver Beauval et al. 2018) De acuerdo al mapa de nivel de amenazas por cantón, Los cantones fueron categorizados en una escala en función de la probabilidad, peligrosidad y extensión de cada uno de los peligros a los que están expuestos. Los valores de cada amenaza que varían de 0 a 3 ó de 0 a 2 fueron sumados para determinar un grado o nivel final de exposición de los cantones a peligros de origen natural.

En análisis al mapa “Amenaza sísmica del Ecuador” se observa que el mismo contiene cuatro zonas, este factor varía de 0.15 (zona I de menor peligro) a 0.40 (zona IV de mayor peligro). La zonificación ha sido definida a partir de la aceleración máxima efectiva en roca, la aceleración está expresada como fracción de la aceleración de la gravedad. **Ver tabla N°27.**

*Tabla 27. Zonas de peligro sísmico.*

<b>Peligro Sísmico</b>	<b>Valor</b>
Zona IV	3
Zona III	2
Zona II	1
Zona I	0
<b>Máximo</b>	3
<b>Mínimo</b>	0

**Nota:** IG de la Escuela Politécnica Nacional

### 5.2.6. Geomorfología

El análisis geomorfológico de la zona de estudio fue realizado a partir de la información solicitada al Geoportal del SigTierras. En donde en su desarrollo ha sido tomado en cuenta aspectos de:

**Insumos básicos:**

- **MDT:** Modelos digital de Terreno que representa las características de la superficie de la zona de estudio, con una resolución 4m/ pixel



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

- **Ortofotos:** Producto cartográfico del tratamiento digital de fotografías aéreas, mismas que cuentan con una resolución de 0,4m / pixel.

#### **Insumos Complementarios:**

- **Cartografía geológica:** esta muestra la sobre la superficie del terreno de los diferentes tipos de rocas, agrupadas de acuerdo a sus características litológicas, edad, relación geométrica.
- **Mapa de Sobras:** Elaborados a partir de los modelos digital de elevación, y el modelo hillshade de ArcMap.
- **Red de drenaje:** Generada a partir de los MDT, a través de los geoprosesamientos wathershade. Mediante la codificación estándar recomendada por Senagua, con la metodología de Pfafstetter
- **Mapa de Pendientes:** Información generada a partir del modelo de elevación digital de terreno con una resolución de 4m/pixel concedido por el Sigtierras.
- **Mapa Topográfico:** El cual sirve de referencia para la comprensión del relieve y sus formas más características, además de proporcionar la información básica sobre la toponimia, pudiendo en este delimitar desniveles relativos, longitudes de vertientes, pendientes.
- **Fotointerpretación:** Consistiendo en subdividir el territorio estudiado, en unidades geomorfológicas, entendidas con fracciones del área inidentificable respecto a las de su entorno inmediato presentando características homogéneas en cuanto a su génesis, morfología, morfometría y materiales constitutivos.

#### **4.2.7. Red Hidrográfica**

La red hidrográfica de la zona de estudio se realizó de acuerdo la entidad rectora de los recursos hídricos en el Ecuador SENAGUA, en base a la memoria del plan nacional de los recursos hídricos cuencas y microcuencas hidrográficas del Ecuador, de acuerdo al apartado Sistema Fluvial, especificando que SENAGUA mediante la Resolución 2011–245 aprobó la metodología Pfafstetter para la codificación y división de las unidades hidrográficas, misma que será aplicada en el presente proyecto, esta se detalla a continuación:



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

## **Sistema de Codificación PFAFSTETTER.**

Es una metodología para asignar identificadores (ID) a unidades de drenaje basado en la topología de la superficie o área del terreno; asignando ids a una unidad hidrográfica para relacionarla con las unidades hidrográficas que contiene.

### - **Características Principales**

- ✦ El sistema es jerárquico y las unidades son delimitadas desde las uniones de los ríos (punto de confluencia de ríos) o desde el punto de desembocadura de un sistema de drenaje en el océano
- ✦ A cada unidad hidrográfica se le asigna un código numérico, basado en su ubicación dentro del sistema de drenaje.
- ✦ Este método hace un uso mínimo de dígitos en los códigos, tal es así que el número de dígitos del código representa a su vez el nivel de la unidad hidrográfica codificada.
- ✦ El código de la unidad hidrográfica provee información importante tales como el tipo de unidad de drenaje, nivel de codificación y ubicación al interior de la unidad que lo contiene.

### - **Tipos de Unidades Hidrográficas**

El Sistema de delimitación y codificación de Pfafstetter considera tres tipos de unidades de drenaje: cuencas, intercuencas y cuencas internas.

**Cuenca**: es una unidad hidrográfica que no recibe drenaje de ninguna otra área, pero si contribuye con flujo a otra unidad de drenaje.

**Intercuencas**: es una unidad de drenaje que recibe el drenaje de otra unidad que se ubica aguas arriba, mediante el curso del río principal, y permite el drenaje del flujo propio y del que ha ingresado a esta unidad hacia la unidad de drenaje que se ubica hacia aguas abajo.

**Cuenca Interna**: es un área de drenaje que no recibe flujo de agua de otra unidad ni contribuye con flujo de agua a otra unidad de drenaje o cuerpo de agua.



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

## - **Proceso de Codificación**

Mediante el software ArcGis 10.5 teniendo en cuenta el proceso metodológico que se detalla a continuación:

1. Para iniciar el proceso de codificación se debe en principio determinar el curso del río principal de la unidad que se va codificar. Una vez determinado el curso del río principal, se determinan las cuatro unidades hidrográficas de tipo cuenca, que son las cuatro unidades de mayor área que confluyen al río principal.
2. Las cuatro unidades tipo cuenca se codifican con los dígitos pares 2, 4, 6 y 8, desde aguas abajo hacia aguas arriba; es decir, desde la desembocadura hacia la naciente del río principal.
3. Las otras áreas de drenaje se agrupan en unidades hidrográficas de tipo intercuenas, y se codifican, también desde aguas abajo (desde la confluencia) hacia aguas arriba, con los dígitos impares 1, 3, 5, 7 y 9.
4. Por la metodología de delimitación y codificación de las unidades hidrográficas, el código 9 siempre resulta o se reserva para la unidad de drenaje de mayor tamaño de la parte superior de la cuenca o cabecera de cuenca la misma que generalmente contiene el origen del río cuya unidad de drenaje se está codificando.

## - **Geoprocesamientos**

1. Se hizo uso como data de entrada en el software Argis 10.5 el Modelo de Elevación Digital (DEM) del cantón Zaruma concedido por el Sig Tierras de una resolución de 4m/Pixel.
2. Se realizó la secuencia de geoprocesamientos que nos dan la dirección de flujo, en referencia a la clasificación y codificación de Fafstetter de acuerdo al orden de las corrientes, reflejando el grado de ramificación o bifurcación.
3. Finalmente se obtuvo el mosaico de información que se representa en el mapa de la Red Hídrica que incide a la zona de estudio, referenciado en el sistema de coordenadas, Datum UTM/WGS 84





UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

Para llevar a cabo el “**Estudio Geológico-Geotécnico de la galería principal de la mina Montesdeoca perteneciente a la Corporación Minera Miranda Minermir S.A., Áreas de concesión minera Mimopi COD. 264 y Miranda COD. 481.**” Se parte de la recopilación de toda la información bibliográfica existente, sobre estudios realizados específicamente en el distrito minero Zaruma- Portovelo. Cuya finalidad es tener una idea principal del área de estudio y definir puntos estratégicos para la topografía y mapeo de campo.

En cuanto a la logística se tomará en cuenta los siguientes aspectos:

- Los Mapas previamente obtenidos sobre, información geológica y topografía preliminar a escala 1:50.000 y se estandarizaron los mapas con las debidas normas del MAE.
- Se tomará en cuenta un presupuesto, la accesibilidad y facilidad a la zona de estudio, para alimentación, pasajes, entre otros gastos varios.

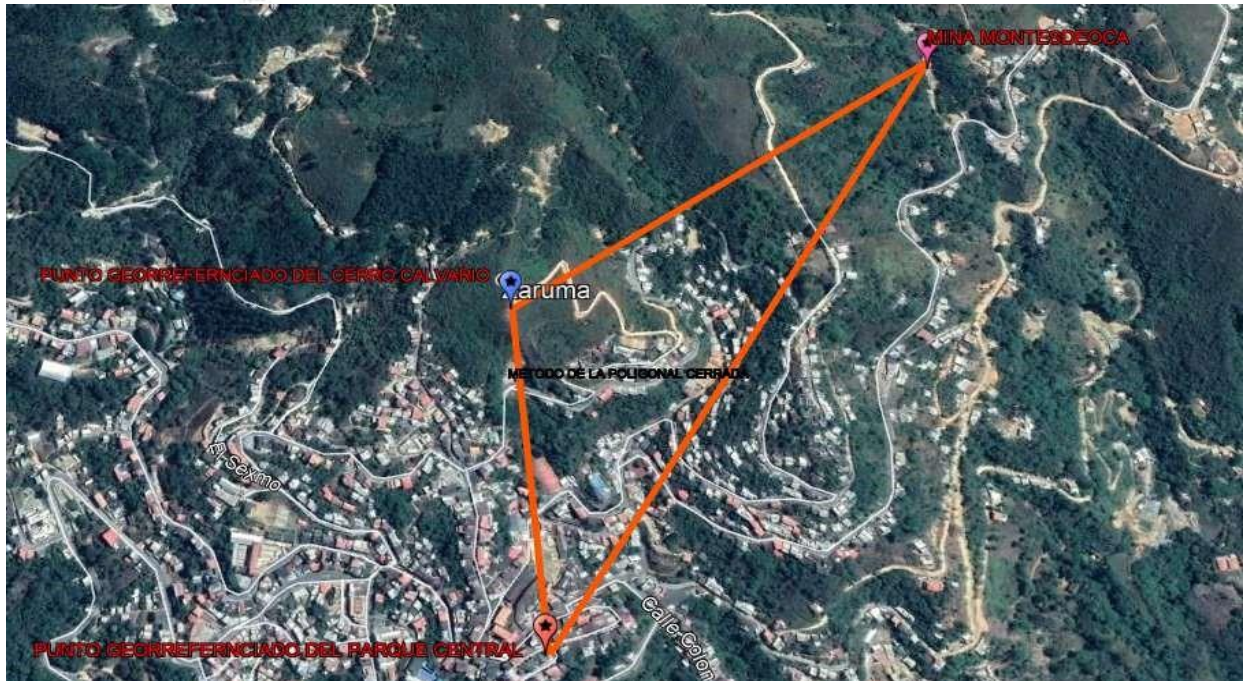
La metodología se la realizó conforme al orden de los objetivos planteados que nos llevó al cumplimiento de los mismos, respondiendo con ellos una secuencia concisa de la investigación.

#### **5.2.4. Primer objetivo**

*“Elaborar el levantamiento topográfico de la galería principal de la mina Montesdeoca de la Corporación Minera Miranda Minermir S.A.”*

Para llevar a cabo el levantamiento topográfico subterráneo de la galería principal, se utilizó una estación total Trimble S6, la cual cuenta con un control servoasistido robótico con una precisión de 0.5 mm, lo cual será propicio para cumplir con el levantamiento subterráneo a detalle del área de estudio, junto con personal de la empresa, nos permitió realizar el levantamiento de toda la galería principal de transporte.

Se partió desde las dos coordenadas georreferenciadas de ex ARCOM, cuyas memorias técnicas se muestran en el **Anexo N°1**, Estos puntos son puntos georreferenciados con error del 0.001 m. Se realizó el método de poligonal cerrada, partí en el punto que hay en el Calvario y se procedió a encerrar con el otro punto georreferenciado que se encuentra en el parque central de Zaruma, esto con el fin de tener una mayor exactitud posible al momento de arrastrar el punto hasta llegar a la bocamina de la concesión minera y de ahí se regresó al punto georreferenciado del calvario con el propósito de disminuir el error para así realizar de mejor manera dicha medición.



**Figura 6.** Poligonal Cerrada (Triangulación)  
**Fuente:** Google Earth



**Figura 7.** Evidencia de poligonal cerrada.

Sin embargo, cuando se ejecutó el levantamiento interior mina, se realizó por el método de poligonal abierta empezando desde el punto PP que es la bocamina, se partió respectivamente ubicando puntos de control como se iba avanzando con el levantamiento y se regresó al punto anterior cada vez que se haya avanzado con la finalidad de interpolar y enlazar la poligonal para disminuir el error al realizar el levantamiento, se fue ubicando puntos de control con su respectiva codificación, con el fin de llevar un correcto y ordenado levantamiento topográfico de la galería en estudio.



UNL

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables

Tabla 28. Ficha de puntos de la estación total.

Datos topográficos de la estación total				
COD.	X	Y	Z	Observaciones.
Responsable:				
Fecha/Hora de punto tomado:				

### Trabajo de gabinete

Desde la estación se exportaron los datos que generaron los puntos, mediante el programa de foreSight 2.2 mismos que sirvieron para la elaboración del mapa topográfico subterráneo en AutoCAD 2018 a escala 1:1000. Este levantamiento permitió identificar los límites de dicha área minera, donde se encuentran desarrollando las actividades de explotación del área en estudio, el mismo que se lo obtiene en coordenadas UTM/PSAD\_1956/17 S.

El resultado esperado para este objetivo es el mapa topográfico subterráneo a escala 1:1000 en UTM/PSAD\_1956/17 S, mediante la estación total Trimbre S6, que se partió desde los puntos georreferenciados de ex ARCOM, con el método de poligonal cerrada, hasta llegar al punto de partida que es la bocamina, para culminar con el levantamiento del campamento con el método de poligonal cerrada y la galería principal de transporte con el método de poligonal abierta.

#### 5.2.5. Segundo objetivo

*“Realizar el mapeo geológico de la línea principal tomando en cuenta las características litológicas, mineralógicas, texturales y estructurales”*

#### Trabajo de campo

Para este objetivo primeramente se analizó el lugar y se buscó afloramientos para así obtener indicios de que tipo de material hay en la superficie, alrededor de 5 Ha aproximadamente, para poder corroborar con el tipo de material interior mina, para ello se utilizaron fichas de campo, **Ver tabla N°29**, en la cual se determinó la información general y ubicación del afloramiento, su situación geológica y descripción. Esto permitió identificar toda el área de exploración y explotación, es decir los límites del área minera, donde se encuentran desarrollando las actividades de explotación del área en estudio, el mismo que se lo obtuvo en coordenadas UTM/PSAD\_1956/17S.



Para llevar a cabo el mapeo geológico, se partió de la base de topografía mencionada en el punto anterior, como también se buscó información bibliográfica sobre toda la geología regional y local, estructuras y ubicación del sector cercana a la concesión minera en coordenadas UTM/PSAD\_1956/17S.

Para el trabajo de mapeo, se utilizó el martillo geológico con el fin de recolectar un máximo de 20 muestras de mano del sector que se consideró importante, cada 10 metros guiándonos de los puntos de control que se realizaron en la topografía, con la finalidad de identificar las características geológicas de la roca. Para la descripción macroscópica se utilizó una ficha elaborada por el autor, **Ver tabla N°30**, definiendo todos los parámetros observables como: color, textura, estructura, tamaño de grano, contenido de minerales y todas las características que se podían observar, de esta manera son codificadas (máximo de 20 fichas), geo-posicionadas y registradas mediante la observación in situ con lupa para la descripción petrográfica de muestras de mano, con lo que se determinó la composición mineralógica de las rocas existentes en el área de estudio. Esto con la finalidad de saber qué tipo de macizo rocoso hay en el sitio, para así identificar cuáles son las propiedades de la roca.

**Tabla 29.** Ficha de descripción de afloramientos.

FICHA DE INFORMACIÓN DE CAMPO DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS				
1. INFORMACIÓN GENERAL				
AFLORAMIENTO N°				
RESPONSABLE				
MUESTRA (CÓDIGO)				
FECHA				
2. INFORMACIÓN DE UBICACIÓN				
PROVINCIA		VÍAS DE ACCESO		
CANTÓN		1er Orden	2do Orden	Sendero
PARROQUIA		LOCALIZACIÓN (Datum WGS84)		
SECTOR				
TIPO DE AFLORAMIENTO		NATURAL ( )	ANTRÓPICO ( )	
3. SITUACIÓN GEOLÓGICA				
AMBIENTE	ÍGNEO ( )	METAMORFICO ( )	SEDIMENTARIO ( )	
TIPO DE ROCA				
METEORIZACIÓN				
4. DESCRIPCIÓN				
5. FOTOGRAFÍA				
FOTOGRAFÍA				





Tabla 30. Ficha de descripción de muestras de mano interior mina

Muestra de mano tramo P...-P...			
FOTOGRAFÍA MACROSCÓPICA	TIPO DE ANÁLISIS		
	COORDNADAS	X: Y: Z:	
	COLOR		
	TEXTURA		
COMPOSICIÓN			
NOMBRE	PORCENTAJE	FOTOGRAFÍA MICROSCÓPICA	
MINERALES ESCENCIALES			
CUARZO			
PLAGIOCLASA			
FELDESPATOS			
MINERALES TIPO			
PIROXENO			
PIRITA			
CALCOPIRITA			
HEMATITA			
BIOTITA			
CLORITA			
ANFIBOL			
OTROS			
ALTERACIÓN			NOMBRE DE LA ROCA
CONCLUSIONES			

**Trabajo de Gabinete:** Para la identificación de las rocas en el laboratorio de petrografía se precedió a usar la hoja de cálculo de Excel “**Modal V1.0**” que se trata de un sistema de proyección de la composición modal de las rocas ígneas a través del “Diagrama de Streckeisen para rocas ígneas plutónicas y volcánicas (QAPF)”. Para el uso de este programa se necesitó determinar la composición mineralógica de cada roca identificando las cantidades de cuarzo, feldespatos, anfíboles y plagioclasas en % para cada muestra.

Con estos datos obtenidos luego de que se realizó la topografía subterránea y el mapeo en cada uno de los lugares donde existirá alguna anomalía con respecto a la litología y estructura del sector, se realizó de igual manera con el programa foreSight 2.2 para obtener los puntos y así exportarlos para obtener el mapa geológico, con el programa de Arc GIS 10.5, a escala 1:1000. De esta manera se correlacionaron la geología superficial con el mapeo realizado interior mina y se delimitó los tramos considerando las características mineralógicas. **Ver tabla N°31.**



Tabla 31. Tipo de roca con sus características.

TRAMO	LONGITUD DEL TRAMO	MUESTRA	COORDENADAS DE LA MUESTRA		TIPO DE ROCA	TEXTURA
P...-P...	m	M000	X	Y		

El resultado esperado de este objetivo fue el mapa geológico a escala 1:1000, en UTM/PSAD\_1956/17 S. Para ello se ejecutó el levantamiento del campamento con la estación total Trimble S6, en el que también se desarrollaron y analizaron 3 fichas de descripción de afloramientos, para así correlacionar el tipo de material que hay en la superficie con lo que obtuve en el mapeo interior mina con la toma de muestras de mano, el protocolo de muestreo se empezó con buscar un lugar óptimo para ejecutar la toma de muestras, luego se realizaron las descripciones petrográficas con la finalidad de llenar las fichas de muestra de mano, posteriormente fueron geo-posicionadas, registradas con el propósito de delimitar los segmentos considerando sus características mineralógicas.

### 5.2.3. Tercer objetivo

*“Caracterizar geotécnicamente la galería principal de la mina Montesdeoca de la corporación minera Miranda Minermir S.A.”*

Para la caracterización geotécnica es necesario realizar ensayos de laboratorio como lo son el ensayo uniaxial que corresponde al ensayo de compresión simple para conocer la resistencia a compresión axial de una roca, como también la utilización del peine de Barton,, junto con otros parámetros de calidad de un macizo rocoso como son el RQD, número de discontinuidades, grado de meteorización e infiltración.

Para la toma de muestras correspondientes para el ensayo uniaxial se basó en los 14 tramos delimitados por sus características mineralógicas para así obtener las muestras, codificadas, geo-posicionadas y registradas, mismas que fueron llevadas al laboratorio de mecánica de rocas de la carrera de geología ambiental y ordenamiento territorial, con la finalidad de cortar la roca en cubos de 5x5x5 cm tal como hace mención la norma (ASTM C 170-1) la cual sirve para obtener la resistencia de la roca, conjuntamente con otros parámetros para obtener la respectiva caracterización geotécnica. Ya con esto utilizamos la clasificación de Bieniawski (RMR) 1989, que es la más manejada actualmente en mecánica de rocas con el fin de obtener mayor precisión en la caracterización geotécnica.



**Fotografía 1.** Proceso de elaboración de cubos perfecto para el ensayo de compresión simple.

Para esta caracterización de roca por el método de BIENIAWSKI (RMR) se determinó la calidad del macizo rocoso, mediante la toma de muestras en el campo y llevada al laboratorio. Para determinar el índice RMR (Rock Mass Rating), de calidad de la roca, es igual a la suma de los cinco parámetros del terreno:

La resistencia a la compresión uniaxial de la roca (1), RQD (2), el espaciamiento de discontinuidades (3), la condición de las discontinuidades (4) y por último la presencia de agua (5)

Siendo el  $RMR = (1) + (2) + (3) + (4) + (5)$ .



Como se describe en la **tabla 32**, se fué llenando los datos correspondientes de la ficha en campo para obtener el índice RMR.

**Tabla 32.** Clasificación de BIENIAWSKI (RMR) 1989.

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO Clasificación RMR de Bieniawski (1989) Segmento ... TRAMO P - P				FOTOGRAFÍA									
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORACIONES										VALORACIÓN		
RESIS. COMP. UNIAXIAL (MPa)	>250	15	100-250	12	50-100	7	25-50	4	<25	0	1		
RQD %	90-100	20	75-90	17	50-75	13	25-50	8	<25	3	2		
ESPACIAMIENTO(m)	>2	20	0.6-2	15	0.2-0.6	10	0.06-0.2	8	<0.06	5	3		
CONDICIÓN DE JUNTAS	Persistencia	<1m	6	1-3m	4	3-10m	2	10-20m	1	>20m	0	4A	
	Apertura	Cerrada	6	<0.1mm	5	0.1-1mm	4	1-5mm	1	>5mm	0	4B	
	Rugosidad	Muy rugosa	6	rugosa	5	Lig. Rugosa	3	Lisa	1	Espejo de falla	0	4C	
	Relleno	Limpia	6	Duro<5mm	4	Dura>5mm	2	Suave<5mm	1	Suave>5mm	0	4D	
	Alteración	Sana	6	Lig. Alterada	5	Mod. alterada	3	Muy alterada	2	descompuesta	0	4E	
Agua subterránea	Seco	15	húmedo	10	mojado	7	goteo	4	flujo	0	5		
VALOR RMR (Suma de valoración 1 a 5) =													
CLASE DE MACIZO ROCOSO													
VALORACIÓN	100 - 81		80 - 61		60 - 41		40 - 21		20-0				
DESCRIPCIÓN	Muy buena		Buena		Regular		V Mala		V Muy mala				

**Fuente:** Clasificación RMR BIENIAWSKI 1989.

En conjunto los parámetros geomecánicos sobre el comportamiento del macizo rocoso se expresa mediante el índice de calidad RMR (rock mass rating), este índice varía de 0 a 100 y expresa la calidad de la roca, siendo de 0-20=muy mala; 21-40=mala; 41-60=Regular; 61-80=Buena y de 81-100=muy buena.

### ➤ Q de Barton

Para obtener el Q de Barton para la respectiva clasificación del macizo rocoso se necesitó de seis parámetros: El R.Q.D. determinado anteriormente para el cálculo del RMR. El número de familia de juntas o discontinuidades ( $J_n$ ), se contabiliza el número de juntas presentes en cada zona de estudio. Finalmente, mediante lo observado en campo se pudo valorar la rugosidad ( $J_r$ ), la alteración de las discontinuidades ( $J_a$ ), la presencia de agua ( $J_w$ ) y el estado tensional de la roca (SRF). Todas estas valoraciones se dieron conforme las tablas dadas en el marco teórico de la clasificación Barton, Lien y Lunde.





UNL

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables

Se utilizó la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF}$$

➤ **G.S.I**

Con la clasificación G.S.I. se obtuvo resultados cualitativos para determinar la calidad de los macizos rocosos, donde se correlaciono los resultados obtenidos de R.M.R. con el Índice Q, conforme los rangos indicados en la **tabla 33**:

**Tabla 33.** Clasificación de Geomecánica G.S.I.

Índice G.S.I.		Índice R.M.R.	Índice Q	Tipo de soporte	Tiempo de colocación
Levemente fracturada/Muy buena	LF/MB	85-95	100-300	I	.....
Levemente fracturada/Buena	LF/B	75-85	40-100	II	.....
Levemente fracturada/Regular	LF/R	65-75	12-40	II	10 años
Moderadamente fracturada/Buena	F/B	65-75	12-40	I	10 años
Moderadamente fracturada/Regular	F/R	55-65	5-12	III	1 año
Moderadamente fracturada/Mala	F/M	45-55	1-5	IV	3 días
Muy fracturada/Buena	MF/B	55-65	5-12	II	1 año
Muy fracturada/Regular	MF/R	45-55	1-5	III	5 días
Muy fracturada/Mala	MF/M	35-45	0.4-1	IV	1 día
Muy fracturada/Muy mala	MF/MM	25-35	0.1-0.4	V	6 horas
Intensamente fracturada/Regular	IF/R	35-45	0.4-1	III	3 días
Intensamente fracturada/Mala	IF/M	25-35	0.1-0.4	IV	1 día
Intensamente fracturada/Muy mala	IF/MM	15-25	0.05-0.1	V	Inmediato
Triturada/Mala	T/M	15-25	0.05-0.1	V	Inmediato
Triturada/Muy mala	T/MM	5-15	0.01-0.05	V	Inmediato

**Fuente:** Marinos y Hoek (2000)

Se utilizó los tres sistemas de caracterización geológica RQD, RMR Y GSI, para determinar el índice de calidad del macizo rocoso. Los cuales nos dieron resultados y valoraciones similares que verifican y comprueban las condiciones actuales de la galería principal de transporte, todos estos datos servirán para dar posibles soluciones de sostenimiento.

El resultado esperado de este objetivo fue caracterizar geotécnicamente la roca con el método de Bieniawski 1989, Índice Q y el GSI Esto con la finalidad de obtener una mayor exactitud y precisión para emitir un criterio técnico de la caracterización geotécnica del macizo rocoso, por lo que es recomendable realizarlos de manera puntual con los protocolos mencionados en este método, para así analizar qué tipo de fortificación o sostenimiento realizar en las zonas más vulnerables. Y por último se obtuvo el mapa de caracterización geotécnica a escala 1 :1000.



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

## 6. Resultados

### 6.1. Topografía del Área de Estudio

Mediante la estación total Trimble S6. Se realizó el método de poligonal cerrada, iniciando en el punto del Calvario, luego se orientó hacia el otro punto geo referenciado que se encuentra en el parque central de Zaruma facilitadas por ex ARCOM **Ver anexo N°1**, una vez orientado el equipo se realiza la medición de la placa que está en la Colina como punto adelante, a continuación se caló la estación sobre el punto de la Colina y se orienta hacia el punto del calvario, una vez encerrada la estación total, se procede a leer el segundo punto adelante ubicado en el parque central para posterior repetir el proceso de calado en este punto y finalmente tomar las coordenadas del punto del calvario completando así la poligonal, misma que cierra con un error milimétrico.

Con este trabajo terminado se procede a iniciar el levantamiento de la vía partiendo desde el punto de la colina y orientando nuevamente con el punto del calvario. luego se realiza el levantamiento hasta llegar a la bocamina para así realizar de mejor manera dicha medición.

#### 6.1.1. Topografía Superficial

Las concesiones mineras “MIMOPI Código 264” y “MIRANDA Código 481” tienen su topografía que rodea toda el área con cotas que varían desde 1200 a 1700 m.s.n.m. En las áreas levantadas se observa la vía de acceso al campamento de la galería Montesdeoca (Zaruma/Sinsao). Mismo que cuenta con una superficie donde se ubican los compresores, escombrera, tanque de sedimentación para tratamiento de aguas provenientes de la mina, depósitos de chatarra, bodega, oficinas, sala de descanso, comedor, área de depósito de mineral. **Ver anexo N°9**.

En la siguiente tabla se detalla la infraestructura antes mencionada con sus respectivas coordenadas Datum PSAD56-Zone 17 S.

**Tabla 34.** Descripción de infraestructura existente en el área minera MONTESDEOCA.

<p><b>NOMBRE DE LA INFRAESTRUCTURA</b> <b>MOSTESDEOCA</b></p>	<p><b>DESCRIPCIÓN</b></p>	<p><b>FOTOGRAFÍA</b></p>
<p><b>CAMPAMENTO</b> <b>Coordenadas:</b> <b>X:</b> 654936.57 <b>Y:</b> 9592797.16 <b>Z:</b> 1260.38</p>	<p>Cuenta con un dormitorio y cocina, instalaciones que son usadas por el guardia de seguridad, baños, oficinas administrativas, zona de descanso y zona de primeros auxilios.</p>	
<p><b>ÁREA DE COMPRESORES</b> <b>Coordenadas:</b> <b>X:</b> 654905.52 <b>Y:</b> 9592797.77 <b>Z:</b> 1260.38</p>	<p>El campamento cuenta con dos compresores cada uno mismos que abastecen agua y aire a las labores subterráneas del frente de explotación.</p>	
<p><b>ESCOBRERA</b> <b>Coordenadas:</b> <b>X:</b> 654940.59 <b>Y:</b> 9592777.80 <b>Z:</b> 1255.48</p>	<p>En esta área se deposita todo el material estéril</p>	
<p><b>TANQUES DE SEDIMENTACIÓN</b> <b>Coordenadas:</b> <b>X:</b> 654904.81 <b>Y:</b> 9592805.91 <b>Z:</b> 1260.30</p>	<p>El primer tanque se encuentra ubicado cerca de la bocamina de la galería, mientras que la segunda imagen es cerca de la escombrera.</p>	





UNL

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables

<p><b>DEPÓSITO DE CHATARRA</b>  <b>Coordenadas:</b>  <b>X:</b> 654915.46  <b>Y:</b> 9592787.53  <b>Z:</b> 1260.25</p>	<p>Se deposita todas las herramientas que ya no tienen buen funcionamiento.</p>	
<p><b>BODEGA</b>  <b>Coordenadas:</b>  <b>X:</b> 654915.24  <b>Y:</b> 9592784.25  <b>Z:</b> 1260.19</p>	<p>Se almacena todas las herramientas de trabajo que son utilizadas dentro y fuera de la mina.</p>	
<p><b>DEPÓSITO DE MADERA</b>  <b>Coordenadas:</b>  <b>X:</b> 654916.82  <b>Y:</b> 9592782.90  <b>Z:</b> 1260.17</p>	<p>Acumulación de madera que va a ser utilizada para el sostenimiento en lugares donde esté lo amerite, regularmente donde existan fallas notorias.</p>	
<p><b>ÁREA DE DEPÓSITO DE MINERAL</b>  <b>Coordenadas:</b>  <b>X:</b> 654939.64  <b>Y:</b> 9592792.91  <b>Z:</b> 1260.21</p>	<p>Se deposita todo el material que proviene de las vetas mineralizadas.</p>	

### 6.1.2. Topografía Subterránea

La galería Montesdeoca se circunscribe en el área minera “MIMOPI Código 264” donde se desarrolla actividades de exploración y explotación, misma que su bocamina se encuentra localizada en las coordenadas que se muestran a continuación.

**Tabla 35.** Coordenadas galería Montesdeoca (Datum PSAD56-Zone 17 S)

<b>COORDENADAS BOCAMINA MONTESDEOCA (DATUM PSAD 56) ZONA 17 S</b>		
<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
655165	9593180	1266



**Fotografía 2.** Bocamina Montesdeoca (Concesión minera MIMOPÍ código.264)

La galería Montesdeoca se encuentra en una cota de 1266 m.s.n.m, con dirección E-O con la finalidad de cortar las vetas de interés económico, (veta F, veta M, veta Az N, veta B, veta A veta E) que tienen una dirección preferencial NE-SW con buzamiento hacia el Este. Los cuatro primeros metros de inicio desde su bocamina encontramos hormigón para su sostenimiento, consecuentemente en zonas de falla, existe la presencia de entibado y guías de madera. Las dimensiones de la galería constan de un ancho aproximado de 1.5m y de alto 1.75 m, cabe recalcar que existen labores antiguas las cuales son muy pequeñas que llegan a tener de ancho 1m y de alto 1.53m, su longitud total antes de llegar al winche es de 443.7 m, este winche es de 33.2 m con una inclinación de 21°, desde ese punto, existen 530 m hasta el final de este frente donde están trabajando actualmente. La galería principal cuenta con una zona de descanso, zona de primeros auxilios, 3 blowers, zona de explosivos, 6 rebajes, 18 cajones, un pozo de sedimentación, su línea de transporte es de madera al igual que sus 24 zonas de sostenimiento de madera, 2 bombas de agua con sus 2 pozos respectivamente e instalaciones de agua, luz y aire. **Ver Figura N°8.**

Con los cruceros, cortavetas, bypass, el seguimiento de las vetas y todo lo mencionado anteriormente, esta galería principal de transporte tiene 1645.8 m. **Ver Anexo N°9.1.**



UNL

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables

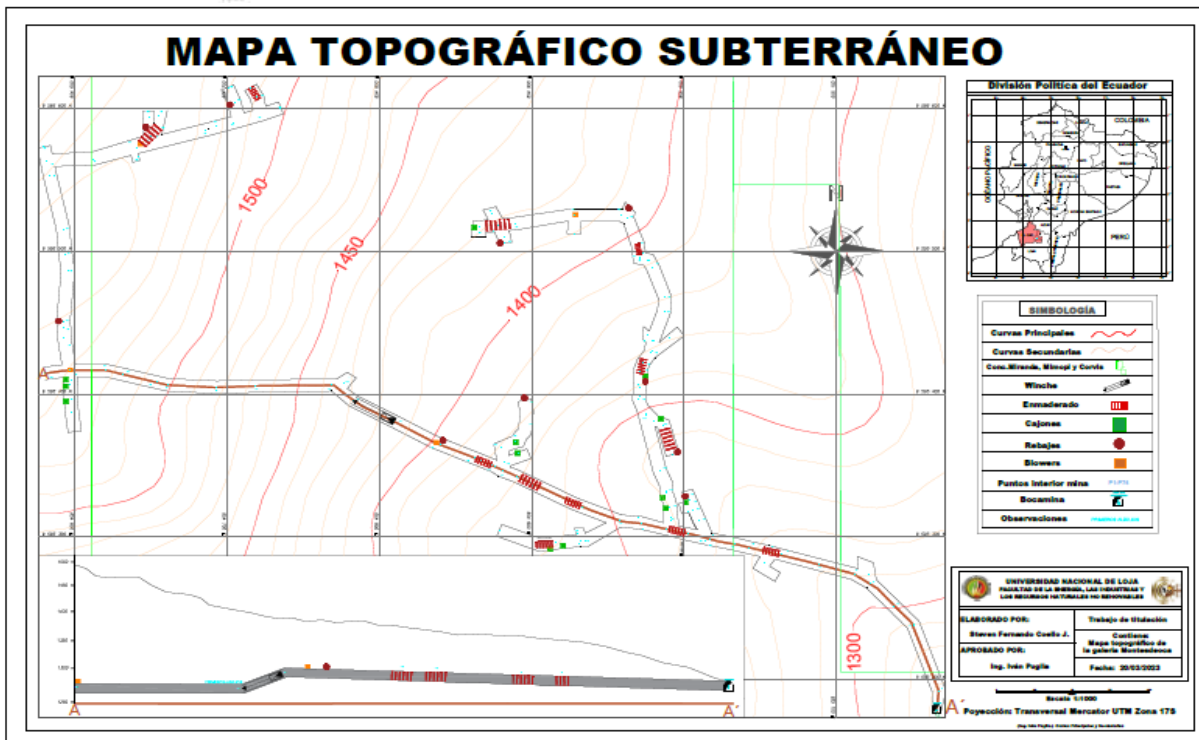


Figura 8. Mapa topográfico subterráneo.

### 6.1.3. Clima

- **Isotermas**

El cantón del área de estudio fluctúa una temperatura media anual entre los 21.77 a 22.89 °C en una dirección de Este a Oeste, específicamente recayendo una temperatura en el área de estudio de 21.77 – 22.05 °C. **Ver Figura N°9.**

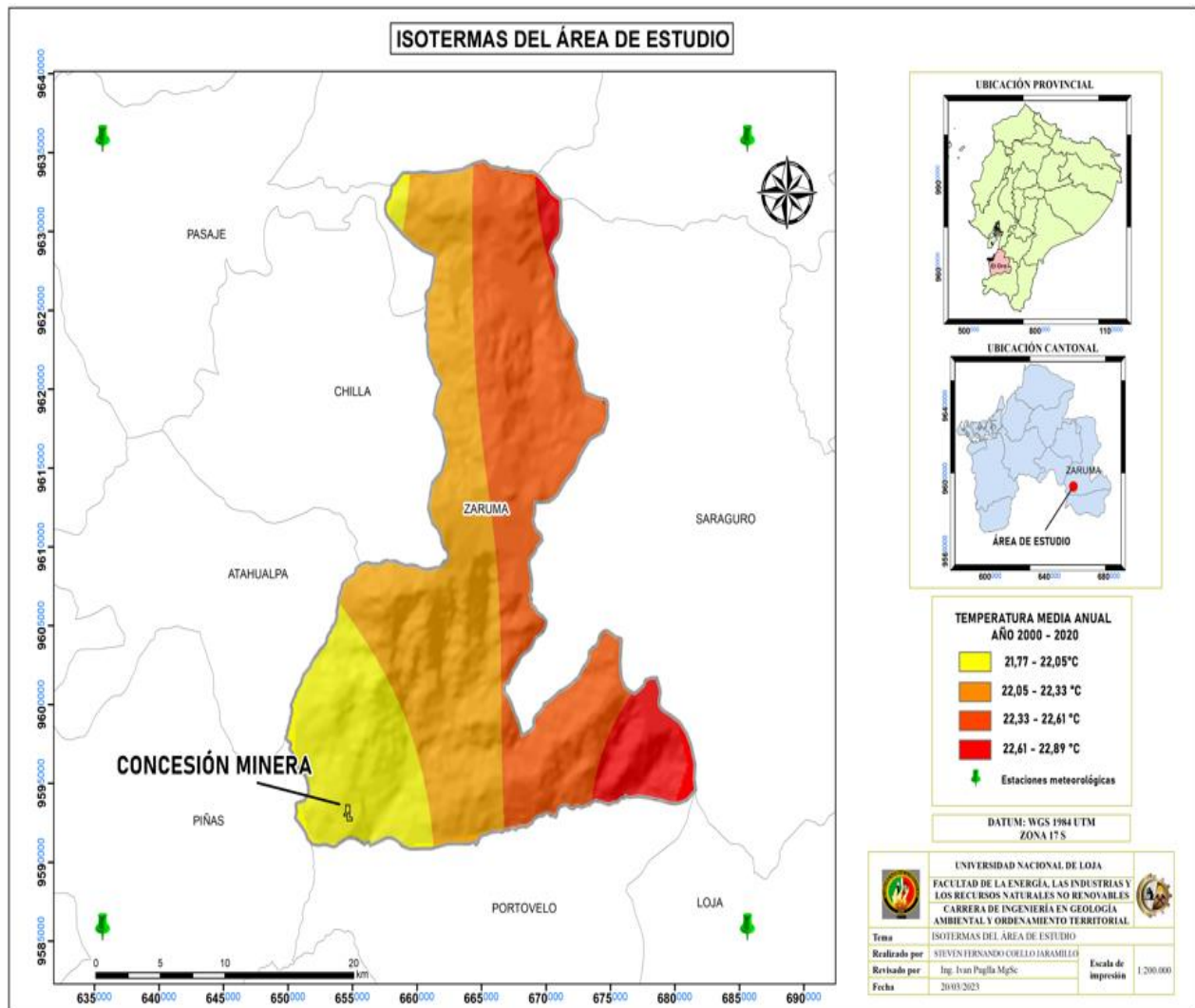
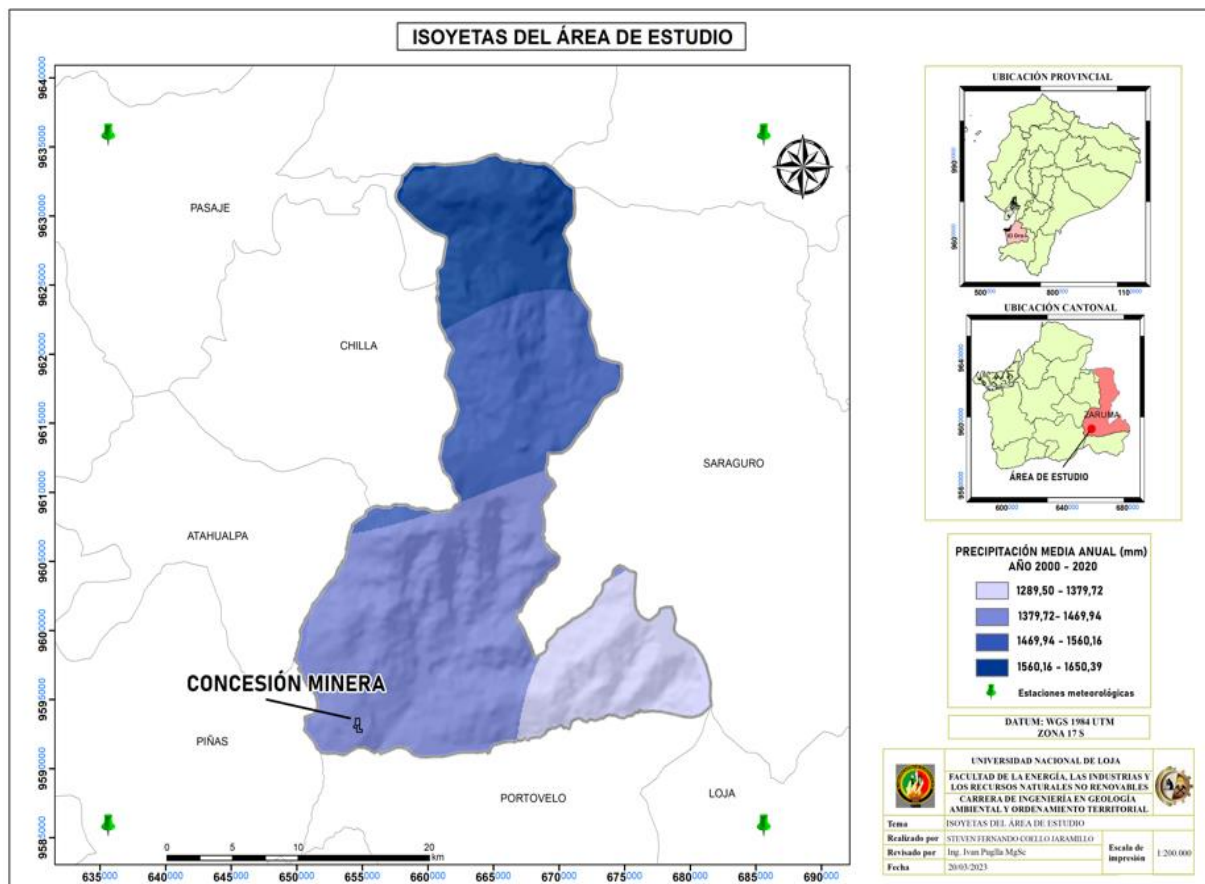


Figura 9. Mapa de Isotermas del área de estudio.



- **Isoyetas**

De acuerdo a los resultados en el mapa de precipitación (Isoyetas) el cantón del área de estudio se encuentra entre los 1289.50 – 1650.39 mm de precipitación media anual, específicamente el área de estudio recae sobre una precipitación entre 1379.72 – 1469.94 mm. Ver **Figura N°10**.



**Figura 10.** Mapa de Isoyetas del área de estudio.

Una vez obtenidos los datos meteorológicos, se siguió el modelo climatológico de Lang - Caldas como se enfatizó en el apartado de metodología, identificando que el área de estudio se encuentra en un Piso Térmico “Templado”.

<b>MODELO CLIMATOLOGICO DE CALDAS</b>		
<b>Piso Térmico</b>	<b>Temperatura en °C</b>	<b>Rango próximo de altura en m</b>
Cálido	$T \geq 24$	0 a 1000
<b>Templado</b>	$24 > T \geq 17.5$	<b>1001 a 2000</b>
Frio	$17.5 > T \geq 12$	2001 a 3000
Paramo Alto	$12 \geq T \geq 7$	3200 a 3700





La clasificación climática de acuerdo a Richard Land se encuentra basada en la relación obtenida al dividir entre la precipitación anual (P, en mm) por la temperatura media (T, en °C) este cociente se denomina Índice de efectividad de la precipitación o facto de lluvia de Lang.

**Precipitación promedio** = 1424.83 mm

**Temperatura Promedio** = 21.91 °C

$$\text{Clasificación climática} = \frac{\text{Precipitación mm}}{\text{Temperatura } ^\circ\text{C}}$$

$$\text{Clasificación climática} = \frac{1424.83 \text{ mm}}{21.91 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$\text{Clasificación climática} = 65.03$$

COCIENTE P/T	CLASE DE CLIMA
0 a 20.0	Desértico
20.1 a 40.0	Árido
40.1 a 60.0	Semiárido
60.1 a 100.0	Semihúmedo
100.1 a 160.0	Húmedo
Mayor a 160.0	Superhúmedo

Finalmente, la unificación de los modelos climáticos y las clases de clima se obtuvo el tipo de clima de acuerdo a Caldas – Lang (1962).

Tipos de Clima Según	Nro	Tipo climático	Símbolo
	1	Cálido Superhúmedo	CSH
	2	Cálido Húmedo	CH
	3	Cálido Semihúmedo	Csh
	4	Cálido Semiárido	Csa
	5	Cálido Árido	CA
	6	Cálido Desértico	CD
	7	Templado Superhúmedo	TSH
	8	Templado Húmedo	TH
	9	Templado Semihúmedo	Tsh
	10	Templado Semiárido	Tsa
	11	Templado Árido	TA
	12	Templado Desértico	TD
	13	Frio Superhúmedo	FSH
	14	Frio Húmedo	FH
	15	Frio Semihúmedo	Fsh
16	Frio Semiárido	Fsa	



UNL

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables

Caldas Lang	17	Frio Árido	FA
	18	Frio Desértico	FD
	19	Paramo Bajo Superhumedo	PBSH
	20	Paramo Bajo Húmedo	PBH
	21	Paramo Bajo Semihúmedo	PBsh
	22	Paramo Bajo Semiárido	Pbsa
	23	Paramo Alto Superhumedo	PASH
	24	Paramo Alto Húmedo	PBH
	25	Nieves Perpetuas	NP

• Sísmica

El área de estudio, al alojarse en la parte alta de la provincia del Oro se encuentra en riesgo, con un grado de amenaza alto de 2. Las zonas más susceptibles a peligro con respecto a la actividad sísmica, se evidencian en la parte costera, principalmente las provincias del Guayas, Manabí y Esmeraldas, esto a consecuencia de la subducción de la placa de Nasca ante la placa de Sudamericana, produciendo liberación de energía que se manifiesta con fuertes sismos, de la misma forma las provincias de la Sierra Norte, producto de la actividad volcánica se encuentran en alto nivel de peligro en un grado de amenaza nivel 3 en muy alto. **Ver Figura N°11.**

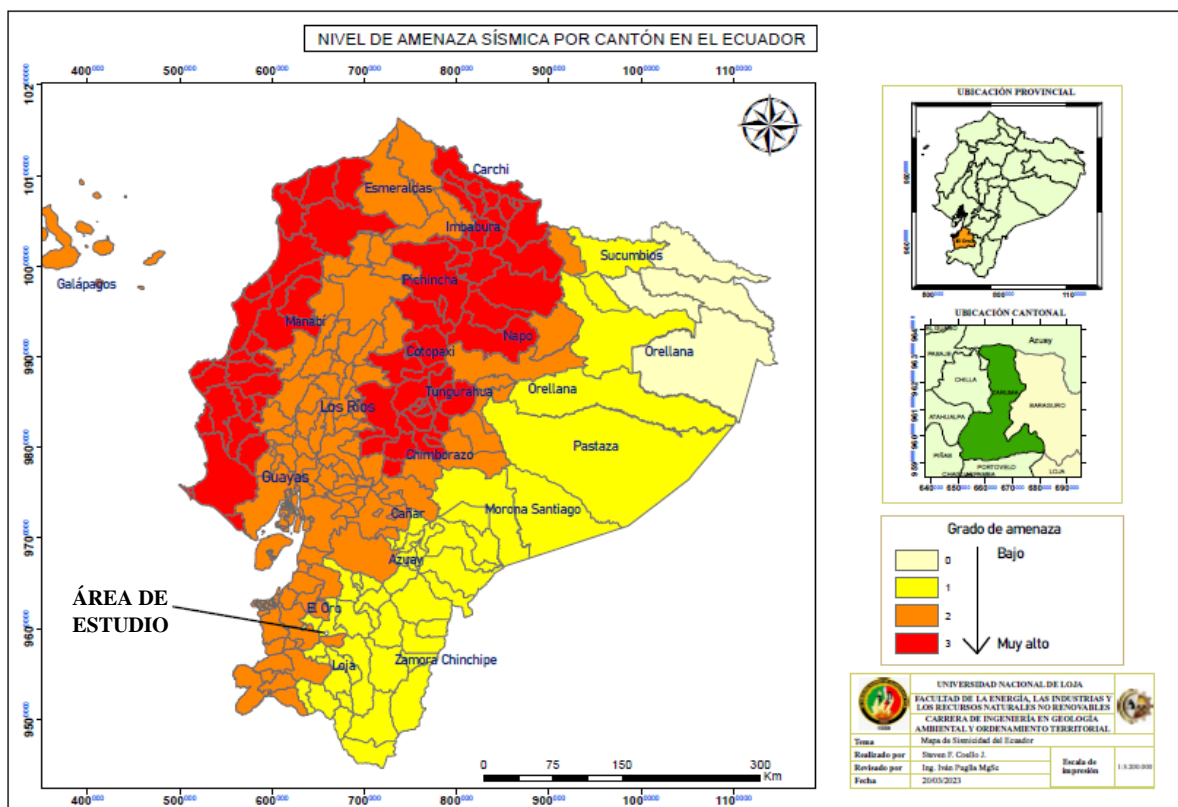


Figura 11. Mapa de amenazas sísmicas del Ecuador.



UNL

Universidad Nacional de Loja

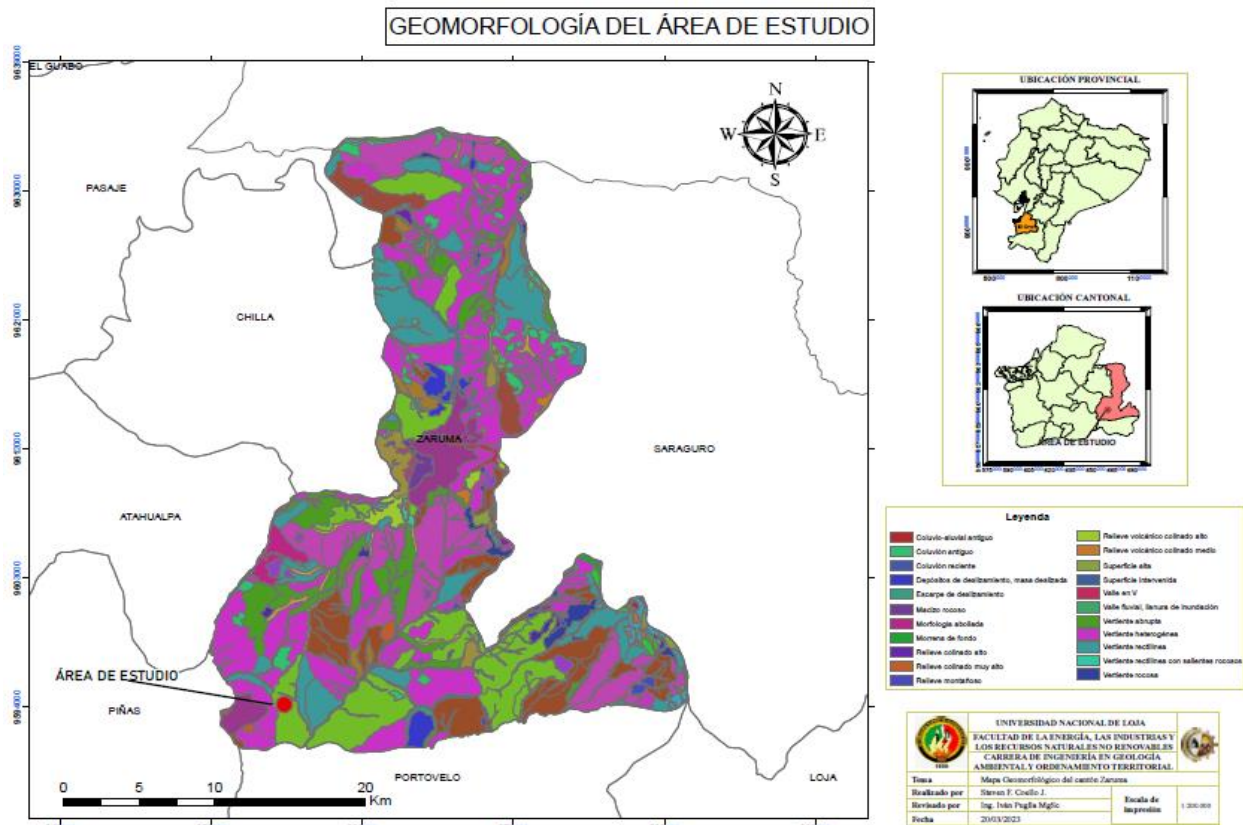
Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables

• **Geomorfología y Relieve**

La geomorfología de Zaruma se encuentra en la cordillera que divide los ríos Calera y Amarillo, de relieve abrupto. El drenaje está controlado por el fracturamiento tectónico. Los depósitos de pie de monte, representados principalmente por los conos de deyección, muestran pendientes habitualmente menores al 40%. Las vertientes son convexas, localmente disectadas, sobre las rocas cristalinas se desarrollan relieves heterogéneos, moderados a fuertes, muy disectados. Las pendientes son del orden de 40% a 70%. **Ver tabla N° 36.**

**Tabla 36.** Descripción de la geomorfología

MESORELIEVE	HECTÁREAS	%
Climas	10470.7	16.1
Relieves Montañosos	37483.1	57.5
Vertientes	17205.32	26.4
	65159.12	100



**Figura 12.** Mapa de geomorfología del área de estudio.

El presente proyecto de investigación se define por presenciar un relieve muy accidentado con altitudes que van desde los 600 y 1600 m.s.n.m, en donde la ciudad de Zaruma presenta una altitud de 1200 m.s.n.m **ver Fotografías N°3 y N°4** , así mismo la galería de estudio (Montesdeoca) se encuentran a una altura de 1266 m.s.n.m.



**Fotografía 3.** Vista general de la geomorfología del cantón Zaruma. Se observan relieves tipo R5 (Relieve colinado alto) y R6 (Relieve colinado muy alto)

El cantón Zaruma presenta una superficie de 655 km<sup>2</sup>, evidenciando alturas sobre el nivel del mar que van desde 500m hasta un máximo de 3200 m, en donde se ubican estribaciones de la cordillera occidental de los andes, caracterizadas por ser zonas altas cortadas abruptamente por valles profundos y encañonados (MAGAP, 2016).



**Fotografía 4.** Vista general de geomorfología del cantón Zaruma y la BOCAMINA de la mina "Montesdeoca".



Este cantón se encuentra en la llamada Sierra Sur, que va desde Zaruma hasta la frontera con Perú, estos materiales volcánicos son respectivamente antiguos y desgastados por la erosión, perteneciendo al llamado volcanismo antiguo.

Según MAGAP (2016), En el cantón Zaruma se pueden identificar 5 dominios fisiográficos que se representan en la **Tabla N° 37**.

**Tabla 37.** Principales dominios fisiográficos de Zaruma.

<b>DOMINIOS FISIGRÁFICOS</b>	<b>UNIDAD MORFOLÓGICA</b>	<b>UNIDAD GENÉTICA</b>
<b>CIMA FRÍAS DE LAS CORDILLERAS OCCIDENTAL Y REAL</b>	Paisajes glaciares	MODELO GLACIAR
	Paisajes de páramo periglaciario y huellas glaciares	
	Relieves de los márgenes de las cimas frías	
<b>VERTIENTES EXTERNAS DE LA CORDILLERA REAL</b>	Relieves diversificados sobre materiales volcánicos antiguos	MODELO TECTÓNICO EROSIVO Y DEPOSICIONAL
	Vertientes homogéneas sobre granitos y granodioritas	
	Relieves escarpados sobre rocas metamórficas, sin cobertura piroclástica	
	Zonas deprimidas o abrigadas	
<b>VERTIENTES Y RELIEVES DE CUENCAS INTERANDINAS</b>	Vertientes y relieves superiores de las cuencas interandinas	MODELO TECTÓNICO EROSIVO Y DEPOSICIONAL
	Vertientes y relieves inferiores de las cuencas interandinas	
<b>RELIEVE DE FONDO DE CUENCAS INTERANDINAS</b>	Relieves de fondo de cuencas interandinas	MODELO TECTÓNICO
	Vertientes heterogéneas y las vertientes abruptas	EROSIVO Y DEPOSICIONAL
<b>MEDIO ALUVIAL DE SIERRA</b>	Sistemas Fluviales	DEPOSICIONAL

Fuente: MAGAP (2016)

Lo más destacado de la geomorfología de cantón Zaruma es que se encuentra la presencia de diferentes dominios fisiográficos que caracterizan a la cordillera, vinculando las zonas más altas constituidos por cimas frías, hasta las zonas bajas, representadas por relieves de cuencas interandinas.

Este proceso da lugar a una gran variedad de ambientes y contextos morfológicos, dando lugar a una gran diversidad de geformas. En lo referente a los paisajes glaciares presentan en



extensiones reducidas algunas geo formas. Circos y cubetas glaciares, fondos, vertientes de valle glaciar y algunas otras que son comunes a diversos contextos de climas fríos, por ejemplo, los depósitos glaciares que ya han sido modificados, por acción del agua. Por otra parte, el dominio fisiográfico, relieves de fondo de cuencas interandinas, aunque en pequeña extensión, presenta un modelo similar a la evolución de laderas.

- **Hidrografía**

Los ríos que conforman los drenajes principales y que forman parte del sistema hidrográfico de la zona de estudio son los ríos Amarillo y Calera, el río Amarillo cruza la ciudad de Portovelo en sentido NE-SW, mismo que desemboca al Sur con el río Calera, que al unirse con el río Pindo forman el río Puyango, hasta desembocar en el océano con el nombre de Tumbes, en territorio actualmente peruano (Silvia, 2010). El río Calera forma parte del límite occidental de la Concesión Minera MIMOPI, además de quebradas que se ubican de manera perpendicular al drenaje principal.

Ver figura N°13.

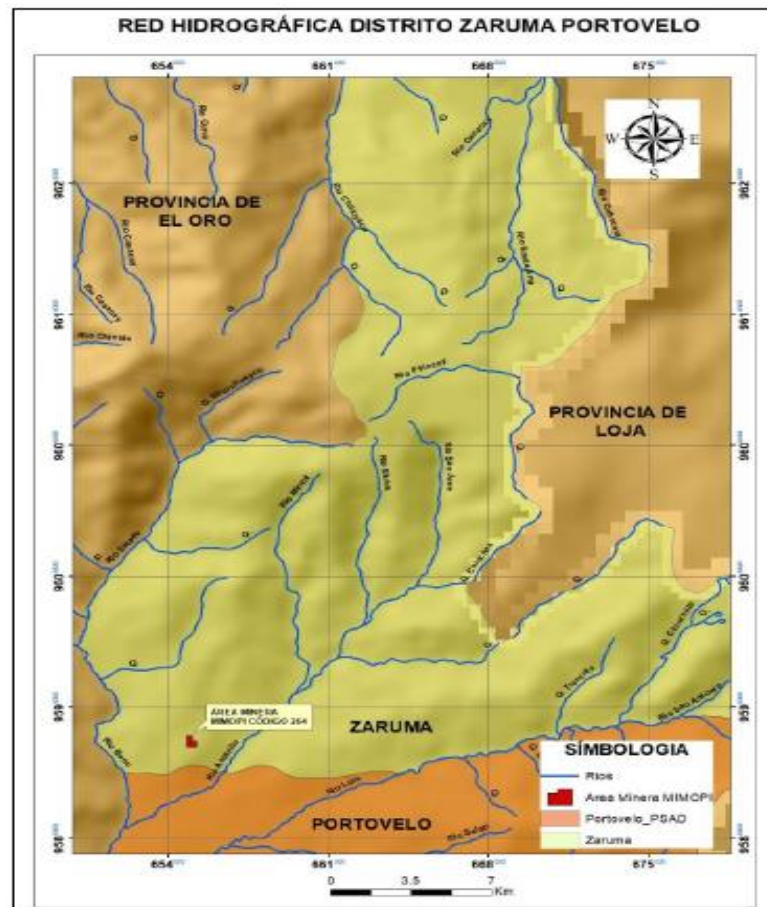


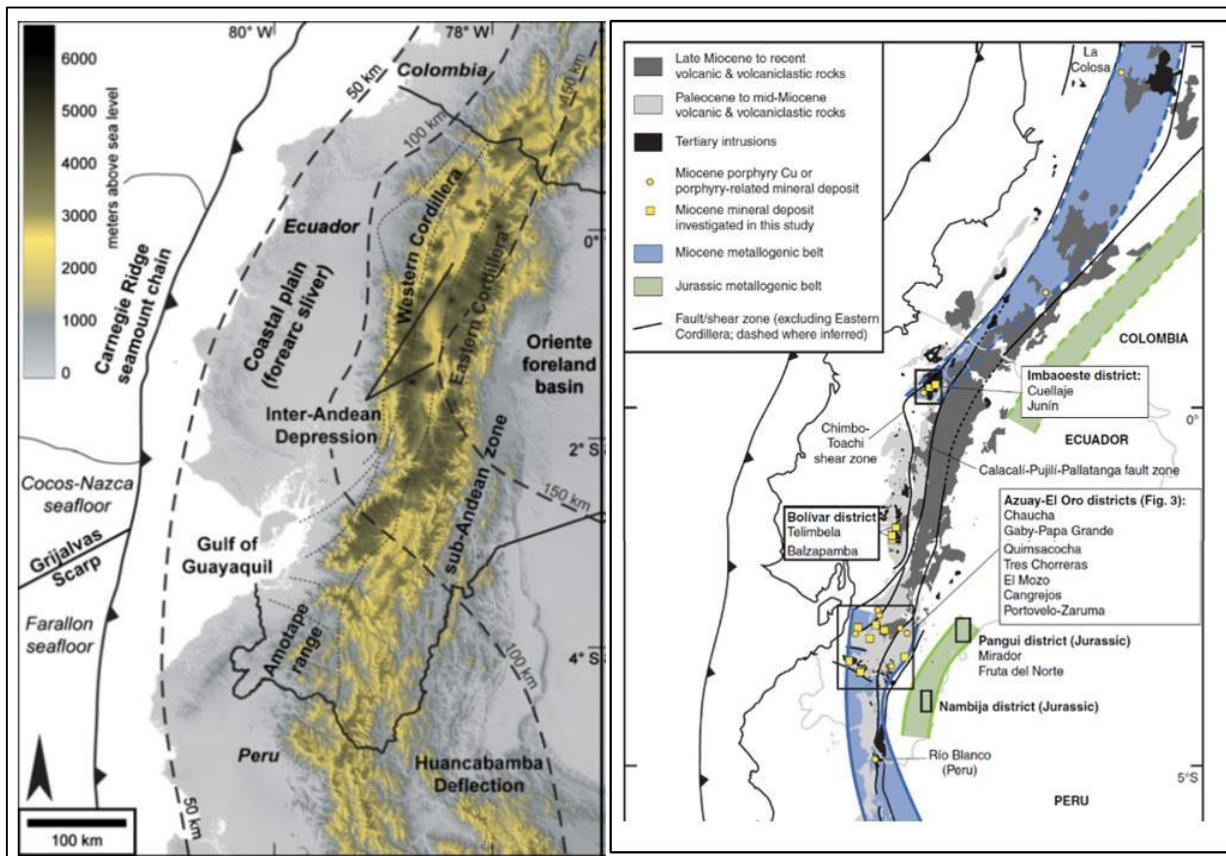
Figura 13. Red hidrográfica, distrito Zaruma-Portovelo

## 6.2. Geología de la galería principal de transporte.

### 6.2.1. Geología Regional

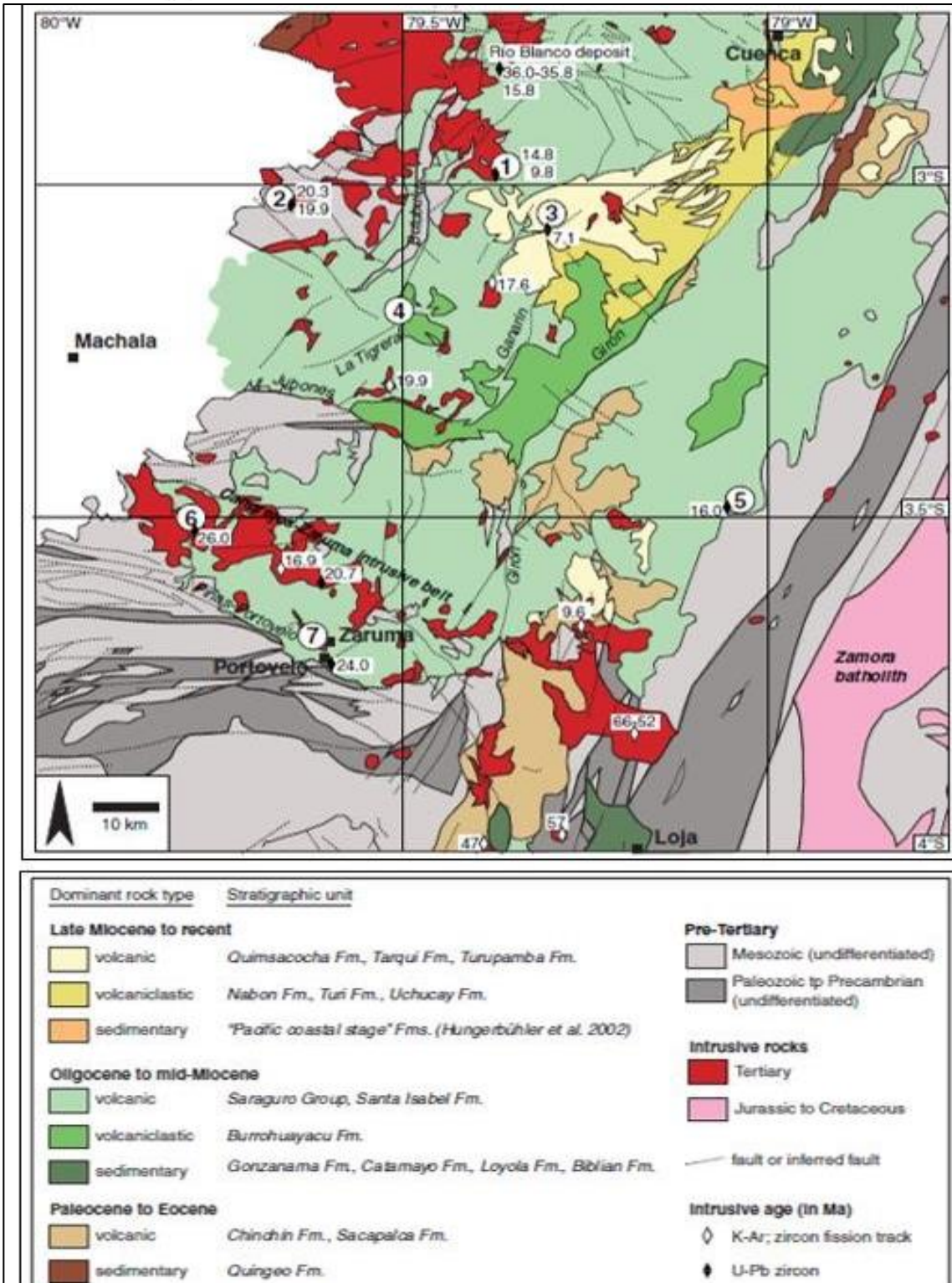
Según estudios (PRODEMINCA 2000; Sillitoe y Repeló 2005; Chiaradia y col. 2009). Los depósitos epitermales de Au ± Ag ± Cu, la mayor parte de los recursos de Ecuador contienen Cu, Mo, Au y Ag y forman dos cinturones metalogénicos distintos.

Según Litherland (1994) el Ecuador comprende cinco elementos fisiográficos principales, la cuenca del oriente de Oriente, las cordilleras orientales y occidentales de tendencia NNE, separadas por una serie de cuencas alargadas denominadas depresión interandina y la región del antebrazo costero. Ver Figura 14.



**Figura 14.** A) Mapa digital de elevación de Ecuador que muestra las principales provincias fisiográficas definidas por Litherland et al. (1994) B) Mapa geológico y metalogénico simplificado del margen sudamericano del noroeste que muestra la distribución de unidad

**Fuente:** Metallogenic features of Miocene porphyry Cu and porphyry-related mineral deposits in Ecuador revealed by Re-Os,  $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ , and U-Pb geochronology. Litherland et al. 1994)



**Figura 15.** Mapa geológico del centro-sur de Ecuador que muestra las posiciones de los depósitos minerales del oligoceno tardío y del mioceno tardío investigados en este estudio.

**Fuente:** Metallogenic features of Miocene porphyry Cu and porphyry-related mineral deposits in Ecuador revealed by Re-Os,  $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ , and U-Pb geochronology (Mapa adaptado de Litherland et al. (1994).





UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

Los depósitos minerales incluidos. **Ver Figura 15**, **1** Chaucha (pórfido Cu-Mo), **2** GabyPapa Grande (pórfido Au), **3** Quimsacocha (Au-Ag-Cu epitermal de alta sulfuración), **4** Tres Chorreras (posiblemente brechas relacionadas con pórfido, venas polimetálicas y reemplazos; Au epitermal, **5** El Mozo (Au epitermal de alta sulfuración), **6** Cangrejos (Au-Cu de pórfido), **7** Portovelo-Zaruma (Au epitermal de sulfuración intermedia, posiblemente relacionado genéticamente al sistema de pórfido de Cu). El magmatismo del principal batolito de Zamora está asociado con el cinturón metalogénico jurásico de Ecuador.

PRODEMINCA, (2000). Menciona que el grupo Saraguro y algunas de las secuencias de rocas más jóvenes están perforadas por una serie de intrusiones terciarias y albergan varios depósitos minerales epitermales del Mioceno (por ejemplo, Quimsacocha, El Mozo y Portovelo-Zaruma) que definen los distritos de Azuay y El Oro. **Ver Figura 14 y 15.**

El distrito minero Zaruma Portovelo, es uno de los depósitos hidrotermales de veta más grandes de la Cordillera de los Andes. Según (Chiaradia, 2004). En la parte central y Suroeste de Ecuador, los complejos ígneos del Eoceno al Mioceno tardío relacionados con minerales epitermales y pórfidos-Cu se originaron a partir de magmas calco-alcalinos derivados del manto, fraccionados a niveles poco profundos dentro de la corteza continental rizada. Las grandes estructuras geológicas son las que han determinado la presencia de yacimientos auríferos en este sector. Este distrito comprende múltiples conjuntos de vetas de ampliamente alojadas por el Oligoceno hasta las rocas volcánicas del Mioceno temprano, del Grupo Saraguro. **Ver figura 15.**

Vikentyev, I. (2005) menciona que las vetas mineralizadas de tipo epitermal pertenecientes al distrito Zaruma-Portovelo están asociadas al magmatismo de arco continental del Mioceno Temprano, este distrito presenta un bloque tectónico, de 7 km de ancho, con límites de fallas con tendencia NO. El bloque está compuesto de andesitas y tobas relacionadas con las series (K): Muluncay, Portovelo y Faique.

Thournout, (1991) explica que el subdistrito Portovelo- Zaruma presenta separación de tres bloques; el primer bloque ubicado al S de la Falla Piñas Portovelo (FPP) constituido por rocas metamórficas, el segundo entre la Falla Piñas Portovelo y la falla Puente Buza Palestina (FPBP) suprayaciendo a rocas metamórficas, constituido por rocas volcánicas mineralizadas y el tercer



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

bloque ubicado al N de la falla Puente Buza Palestina constituido por rocas volcánicas indiferenciadas mineralizadas y ventanas metamórficas;

### **6.2.2. Geología Local**

Chiaradia, (2004). Menciona que, en las partes central y suroeste de Ecuador, los complejos ígneos del Eoceno al Mioceno tardío relacionados con minerales epitermales y pórfidos-Cu se originaron a partir de magmas calco-alcalinos derivados del manto fraccionados a niveles poco profundos dentro de la corteza continental rizada.

El gran campo de oro Portovelo-Zaruma está asociado con el magmatismo de arco continental del Mioceno temprano. Las venas de sulfuro de cuarzo cortan lavas y tobas andesíticas. La pirita, la calcopirita, la esfalerita y la galena son los minerales dominantes. El oro se produce en modos visibles y submicroscópicos, principalmente en calcopirita.

Las vetas de oro de estilo epitermal del campo Portovelo-Zaruma están asociadas con el magmatismo de arco continental del Mioceno temprano. El distrito minero consiste en un bloque tectónico, de 7 km de ancho, con límites de fallas de tendencia NO. El bloque está compuesto de andesitas y tobas pertenecientes a los miembros: Muluncay, Portovelo y Faique. Existen numerosos diques y stocks de riolita subvolcánicos que cortan las unidades volcánicas

La Unidad Portovelo se subdivide en tres miembros que se encuentran localizados de NE a SW. (Billingsley, 1997).

- **Miembro Muluncay.-** Bonilla, W. (2009). Indica que la base de la Unidad Portovelo, está comprendida por brechas volcánicas, tobas y flujos de composición andesítica e ignimbritas. Está conformado especialmente por piroclastos. Estos volcánicos son descubiertos al este de Zaruma específicamente en las declinaciones de Minas Nuevas y Huertas y en los declives sobre el río Amarillo al noroeste de Portovelo.
- **Miembro Portovelo.** - Bonilla, W. (2009). Indica que está formado por lavas andesíticas con hornblenda y lavas basálticas, con orientaciones de NoroesteSuroeste y buzanan aproximadamente 40 grados al SW. Se constituye por una masa de andesitas porfirítica. Newton Knox, describe al complejo volcánico como un bloque de fluído y



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

brechas volcánicas las cuales han sido arrojadas al sur occidente e introducidas por una serie compleja de andesitas del Miembro Portovelo.

- **Miembro Faique.** - Bonilla, W. (2009). Indica que sobreyace al Miembro Portovelo y que está conformado por rocas volcanoclásticas como brechas volcánicas, ignimbritas, tobas y flujos de lava andesítica. Este miembro además contiene diques riolíticos, intrusiones hipoabisales de composición diorítica y granodiorítica, y stocks que afloran entre los poblados de Zaruma y Portovelo (Spencer, 2002). Estas estructuras geológicas están distribuidas al NW, situadas en los cerros de Santa Bárbara y Zaruma Urcu. Thournout et al. (1991, 1996).

### **6.2.3. Estructuras del Distrito Zaruma Portovelo**

El distrito minero Portovelo- Zaruma se encuentra dividido por grandes bloques estructurales separados por fallas que se encuentran en dirección NW – SE, las mismas que se las conoce con el nombre de **Falla Puentes Buza Palestina (FPBP)** y **Falla Piñas Portovelo (FPP)**, las cuales se consideran como regionales, conjuntamente existen estructuras locales en sentido NE-SW, E-W y N-S. Según Van Thournout y otros (1996) ha realizado estudios entre la falla Palestina - Puentes Buza al norte y la falla Piñas- Portovelo al sur. Los resultados definen que las vetas mineralizadas son producto de procesos hidrotermales procedentes de un volcanismo Miocénico. Este volcanismo produjo una secuencia andesítica a dacítica. El campo Portovelo-Zaruma comprende un gran sistema de vetas longitudinales de oro-polimetálicas dentro de un área de superficie de más de 4 x 12 km, alineadas a lo largo de una estructura deslizante de impacto. En el sistema de fracturas a lo largo del cual se alojó la mineralización fue afectado por movimientos sintectónicos y epitectónicos. Este sistema complejo toma dirección N-S a NNW y SSW el cual fue afectado por estructuras menores que van en dirección NE. Se calcula que las vetas de Portovelo tienen aproximadamente 800 metros de profundidad.

Según (Kalinaj, 2004). Estas fallas en echelón delimita el enjambre de vetas que presenta direcciones NO-SE y NE-SO con buzamiento hacia el este, producto de campos de esfuerzos máximos de dirección NO-SE creando espacios dilatantes y favoreciendo la mineralización (PRODEMINCA, 2000). Los espacios dilatantes generan cuatro sistemas en echelón divididos por estructuras de dirección NO-SE buzando entre 40° y 60° hacia el SE.

Sistemas en echelón son los siguientes: R-Nivel; Muluncay; Sesmo Colorado; Portovelo.

El área minera MIMOPI y MIRANDA se encuentra dentro del sistema en echelón Sesmo Colorada de dirección NO-SE. Ver figura 16.

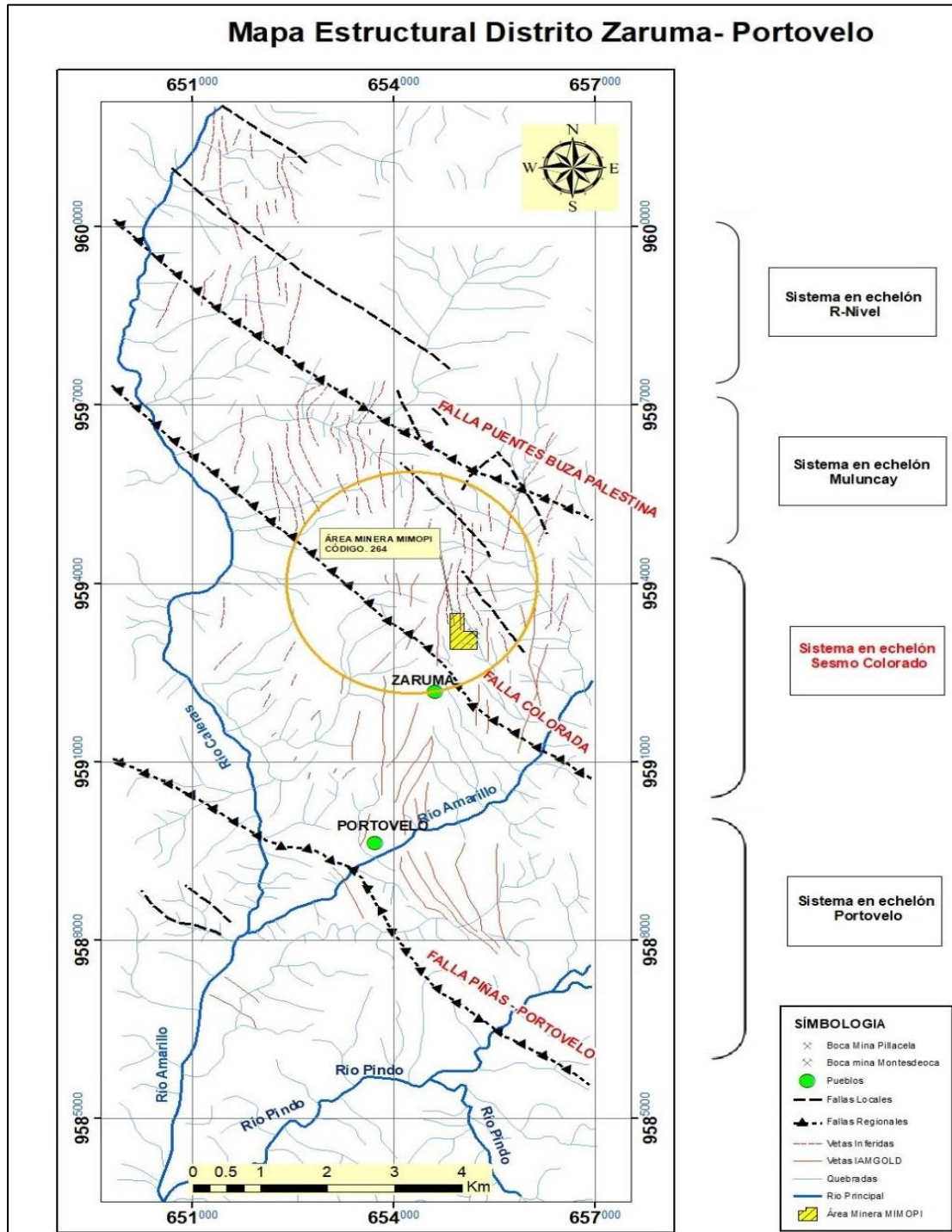


Figura 16. Mapa estructural distrito Zaruma- Portovelo

Fuente: Tomado de Bonilla (2010), modificado y digitalizado por el autor.



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

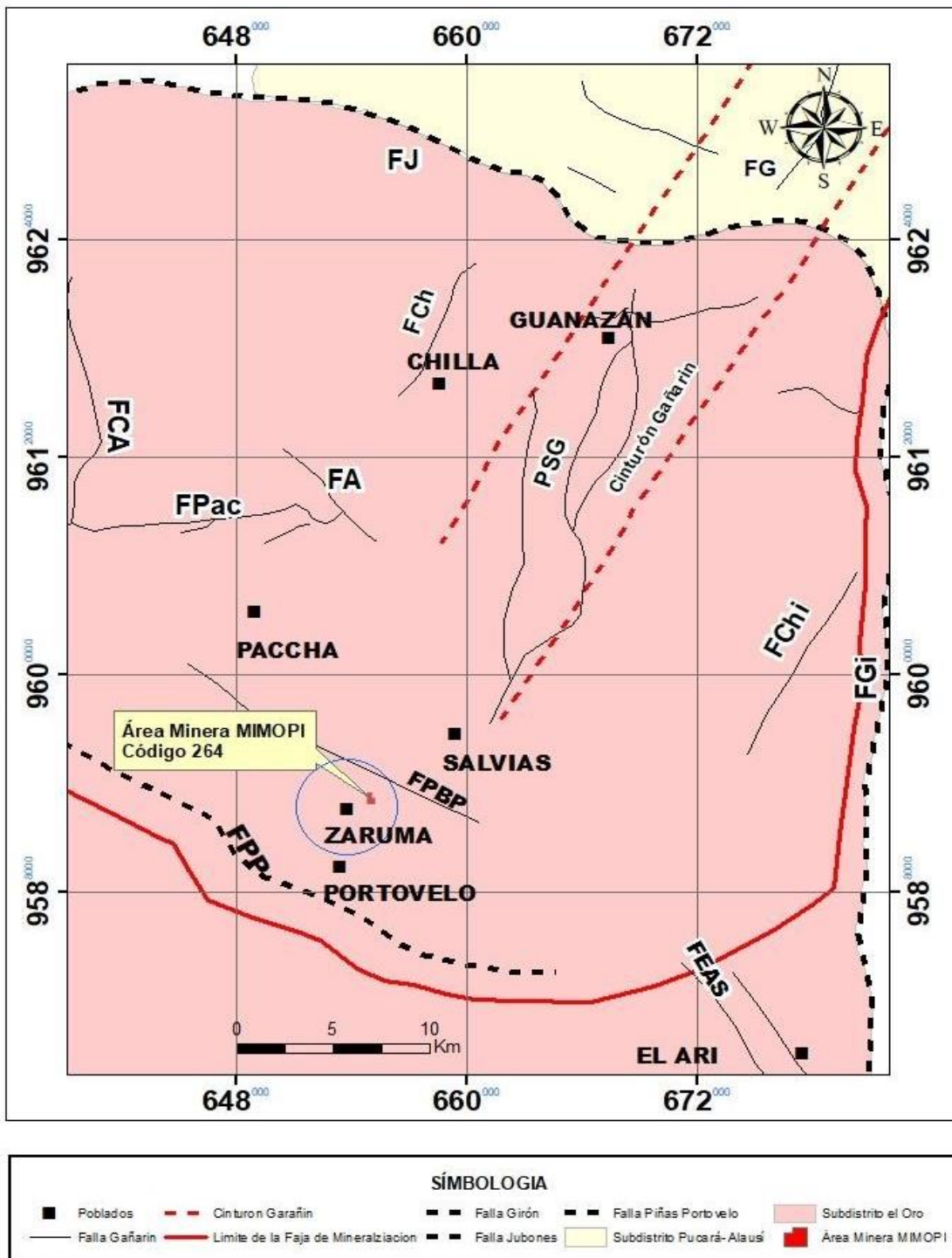
Bonilla (2009) indica que los principales rasgos estructurales investigados del distrito Zaruma-Portovelo están regidos por las estructuras de 2do orden y casi paralelas en rumbo: falla Jubones al N y falla Piñas-Portovelo al S, mega estructura de rumbo Andino Girón al E y los lineamientos menores, entre los que se destaca el cinturón Gañarín. **Ver figura 16.**

Las estructuras regionales que tienen influencia en la zona de estudio han sido clasificadas en estructuras de primero, segundo y tercer orden según su existencia (Bonilla, 2009)

- **Primer orden:** Falla Girón (FGi) con dirección N-S a NNE- SSO y cientos de kilómetros de extensión
- **Segundo orden:** Falla Jubones (FJ) con dirección E-O y la falla Piñas Portovelo (FPP) de dirección NO-SE (Bonilla, 2009)
- **Fallas o lineaciones de tercer orden:** tienen extensión de 10 km hasta 20 km entre ellas están las fallas Cerro Azul y Salvias- Guanazán con dirección N-S; fallas Gañarín, La Tigrera, Chilla 4 km y Chinchilla 12km con dirección NE-SO; fallas Atahualpa y El Ari-Salvias con dirección NO-SE cortan litologías de la Unidad Portovelo; falla Puentes Buza Palestina de dirección ONO-ESE y la falla Paccha de 12 km con dirección E-O. **Ver figura 17.**



## MEGAESTRUCTURAS REGIONALES DE PRIMERO Y SEGUNDO ORDEN



**Figura 17.** Mega estructuras regionales de primero y segundo orden: Falla Jubones (FJ), Girón (FGi), Piñas-Portovelo (FPP); fallas de tercer orden: Falla Gañarin, Cerro Azul, Chilla, Paccha, Atahualpa, Puente Buza-palestina  
**Fuente:** Bonilla (2009) y modificado por el autor 2023.



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

#### **6.2.4. Mineralización del Distrito Zaruma Portovelo**

(Van Thournout, 1996). Indica que la mineralización en el distrito ocurre en vetas que van desde 0,3 hasta 4 metros de potencia (veta Abundancia), las vetas cubren un área de 15km en sentido N-S, 4km en sentido E-W y en vertical 1,4km.

Según (Kalinaj, 2004). Las vetas presentan un rumbo N-S con pequeñas variaciones hacia el NE y NW, y que buzanan principalmente al E, en promedio el buzamiento de las vetas es de 60° sin embargo existen vetas prácticamente verticales o con buzamientos de menor ángulo.

Bonilla, W. (2009) menciona que las estructuras Puente Buza-Palestina y PiñasPortovelo, se localiza el principal enjambre de vetas o sistemas de filones del distrito, que tiene una longitud inusual en planta de 8 kilómetros hacia el Sur, este enjambre involucra los sistemas: Vizcaya-Nicole, Sexmo-Miranda, Bomba de Pacchapamba-Agua Dulce, Jorupe, Tamayo-Quebrada, Portovelo, Curipamba y Tablón. Los espacios dilatantes o dúplex extensionales son sitios favorables para albergar mineralización dentro de estructuras extensionales (Sibson 1986).

Spencer (2002), realizó un mapa de los cuerpos mineralizados del distrito en donde se aprecia a la zona de estudio con venas de calcopirita y con posible esfalerita, pirita. En el Reporte Técnico Zaruma Gold project (2014) menciona que la temperatura relativamente más alta con calcopirita-pirita-magnetita diseminada proviene del pórfido El Poglio, alterado con K-silicato y clorita de cuarzo-calcopirita-pirita-magnetita-verdeclorita en bandas, hacia el sur, el grupo mineral avanza hacia el conjunto Muluncay enechelon dominado por calcopirita-pirita de cuarzo; avanza hacia conjunto Sesmo Colorado en echelón dominado por esfalerita-galena de cuarzo-calcopirita; continuando al sistema Portovelo en echelón el conjunto de esfalerita-carbonatos de cuarzo-esfalerita dominante, esfalerita-calcopirita ± calcopirita.

- **Alteraciones del Distrito Zaruma Portovelo**

Lindgren, (1933), definió la alteración hidrotermal, “el proceso de solución capilar y depositación, prácticamente simultáneo, mediante el cual un mineral nuevo de composición química parcial o totalmente diferente puede crecer en el cuerpo de un mineral viejo o agregado mineral”



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

Bonilla, W. (2009) menciona que las porciones SO del distrito Zaruma-Portovelo, están presentes las alteraciones argílica avanzada y silicificación intensa en las rocas volcánicas de composición riolítica (cerros Zaruma Urcu y Santa Bárbara) y en proximidad de los filones minados históricamente.

Analizando el de mapa de zonificación de alteraciones interpretado por Spencer (2002), El área de concesión Minera MIMOPI se encuentra en una zona de epidota y actinolita. caracterizándose este sector por una transición de altas a medias temperaturas.

#### ***6.2.5. Geología del Sector***

Dentro del área minera MIMOPI se observó 4 afloramientos que están constituidos en su mayor parte por andesitas altamente meteorizadas, afloramientos de cuarzo medio altamente meteorizado, lavas andesíticas- riolíticas, que posiblemente corresponden al miembro Portovelo, (lavas andesíticas con hornblenda y lavas basálticas y andesitas porfídicas), se encontró flujos lávicos andesítico principalmente de composición hornblendica de texturas porfiríticas. Estos afloramientos se encuentran fuertemente meteorizados con presencia de alteración argílica, donde arcillas enriquecidas en óxidos de hierro (lateritas) y caolín se encuentran remplazando a las plagioclasas. Razón por la cual aparecen arcillas lateríticas con un color amarillo rojizo predominante, con un grado bajo- medio de humedad.

En la **fotografía N°5** se presenta un relleno de material meteorizado, se observó presencia de andesitas fragmentada, con alto grado de meteorización, con una delgada capa de arcilla que cubre el afloramiento, producto de la erosión, esta litología es propia de la Unidad Portovelo.





**Fotografía 5.** Afloramiento de andesitas altamente meteorizadas.

### 6.2.6. Geología de la Galería Montesdeoca

La Geología interior mina está formada por rocas andesitas y andesitas basálticas con textura afanítica, fanerítica y porfídica, mismos que se encuentran formados por minerales tipo o también llamados minerales accesorios (Piroxeno, Anfíbol, biotitas, Cloritas, Hematita).

Encontramos rocas de composición granítica (félsicas) por la cantidad de minerales claros que presenta: plagioclasas, cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ), Feldespatos. También se identifican rocas de composición basáltica (máficos), identificables por la cantidad de minerales oscuros que presentan (biotitas, piroxeno y Anfíbol).

Desde la bocamina de la galería se inició desde tramo P1 – P4 (102.4 m) en las coordenadas (654906.63; 9592806.94) y (654863.08; 9592894.76). Se identificó roca andesita de textura fanerítica, con presencia de minerales fundamentales en rocas ígneas como son las plagioclasas, específicamente identificadas por la coloración, apareciendo también en filones asociados a ambientes hidrotermales. Aparecen pequeñas cantidades de cuarzo hialino ( $\text{SiO}_2$ ). Existe seritización de plagioclasas, oxidación de biotita en pequeñas cantidades y un mínimo de pirita. Se

identificó roca andesita de textura fanerítica, teniendo en cuenta que estando cerca de la superficie, esta roca está altamente meteorizada, con raíces pequeñas que se pueden notar en los primeros 20 metros.

Antes de llegar al punto P2 existe una falla con un salto de falla de 10 cm, pequeña pero notoria ya que se evidencia una grieta y hay filtración de agua ya que en la superficie existe una pequeña quebrada, los elementos de yacencia de esta falla son: (Rumbo: N 15° E; Buzamiento: 61°; Dir. Buzamiento: S 73° W) y bajo su estudio correspondiente, se determinó que es una falla normal. **Ver fotografía N°6.**



**Fotografía 6.** Falla Normal en el punto P2.

Continuando por la galería principal desde el tramo P4 – P8 (68.40 m) en las coordenadas (654863.08; 9592894.76) y (654798.55; 9592915.78). Se identifica una roca andesita con textura afanítica, ya que sus minerales no se pueden ver a simple vista, presentando una coloración predominante gris claro un poquito verdoso, ya con ayuda del microscopio se identifican minerales de plagioclasas y cuarzo, no se debe confundir y establecer la diferencia de que las plagioclasas presentan un color blanquecino y el cuarzo presenta colores claros transparentes y brillo vítreo propio del mismo. Se identifica en pequeñas cantidades minerales máficos (minerales oscuros) como son piroxenos, en mínimas cantidades se observan micas (biotita), aparecen también minerales de sericita como medio de alteración y en pocas cantidades la clorita, de la alteración de las plagioclasas.

En el tramo P4 y P5 existe el primer vetilleo, tipo brechoide, presencia de filtración de agua, presencia de óxidos y en estas vetillas se evidencia a simple vista, pirita (Py) en mínimas cantidades y clorita.

En el punto P8 hay una falla inversa en la cual ya existe sostenimiento de cuadros de madera, ya que la roca caja, está fracturada y alterada. Sus datos estructurales son (Rumbo: N50° W; Buzamiento: 35°, con un salto de falla de 0.50 m). **Ver fotografía N°7.**



**Fotografía 7.** Falla en el punto P8, sostenimiento de madera y presencia de milonita.

Para el tramo P8 – P13A (182.33 m) en las coordenadas (654798.55; 9592915.78) y (654668.69; 9592950.03). Se identifica roca andesita con textura porfídica en donde se puede identificar los minerales esenciales (plagioclasas-cuarzo) por su tonalidad clara, así mismo también hay la presencia de minerales máficos como piroxenos y biotita. Existe incrustaciones a manera de nódulo dentro de la roca de epidota, presenta coloración verde césped, otro dato importante es que, en ciertos sectores de este tramo, existe la cloritización de las plagioclasas como también sericita como medio de alteración.

En el punto P9 se encuentra la veta Az que es trabajada 32 m en línea principal hacia el NW, en este punto se pudo evidenciar una pequeña falla, que no afecta mucho el Rumbo ni buzamiento de la veta Az, la falla posee un Rumbo de N 20° E con un buzamiento de 64°, con un salto de falla de 7 cm y mediante interpretación estructural, se llegó a determinar que es una falla inversa. **Ver fotografía N°8.**





**Fotografía 8.** Falla inversa en el punto P9 que corta la veta Az.

Después del punto P10 +1.7 m, hay una falla predominante, por lo cual, este sector tiene sostenimiento de madera, sus datos estructurales son (Rumbo: N 9° E; Buzamiento: 65°; Dir. Buzamiento: S 76° W) con un salto de falla de 0.5 m, con los análisis estructurales correspondientes, se determinó una falla normal, ya que el bloque superior está levantado. **Ver fotografía N°9.**



**Fotografía 9.** Falla normal de 0.5 m de salto de falla, con sostenimiento de madera.

En el punto P11 de coordenadas (654733.27; 9592931.50) nos encontramos con la veta Az N, aunque hay que tener en cuenta que en este sector existen fracturas y filtraciones de agua, por lo que del tramo P11A1 al punto P11A4 hay un baipás.

Exactamente a 7.75 m del punto P11A3, existe una falla inversa, notoria, ya que hay un pequeño ensanchamiento de 2.7 m de altura y 2.3 m de ancho, cosa que es irregular en esta mina ya que su altura promedio es de 1.9 m por 1.6 m de ancho, los datos estructurales de esta falla son (Rumbo: N 56° W; Buzamiento: 33°; Dir. Buz: N 51° E) con un salto de falla de 15 cm, se puede evidenciar la arcilla (Milonita), las estrías de falla, y filtración de agua en cantidades mínimas. **Ver fotografía N°10.**



**Fotografía 10.** Falla en baipás (P11A3), presencia de milonita y filtración de agua.

Del tramo P11 al P66(223.4 m) de coordenadas (654727.89; 9592957.70) y (654697.22; 9593146.27) existe una andesita basáltica de textura Afanítica ya que no se pueden observar los granos a simple vista, la roca tiene una coloración gris oscuro debido a su matriz oscura, los minerales esenciales son las plagioclasas y el cuarzo. Mientras que como minerales tipo o secundarios están algunos minerales máficos, como el piroxeno y en mínimas cantidades la biotita. Microscópicamente se definió contaminación de minerales de pirita (Py 1.5 %) en mínimas cantidades y en menor en calcopirita (CPy 0.5%). La alteración de esta roca caja es procedente de la cloritización de las plagioclasas y en parte también por la oxidación de la pirita.

Desde el punto P54 a P57 de coordenadas (654712.32; 9593045.22) y (654715.80; 9593067.47) existe la una falla con 2.5 m de salto de falla, sus datos estructurales son (Rumbo:S70°E; Buzamiento: 44°; Dir. Buzamiento: S19°W) , esta falla es de las más extensas que se pudo identificar dentro de la galería, además desplaza varios metros a la veta Az N, por lo que hay varios cortavetas en otras direcciones que se hicieron para encontrarla, en el centro de la falla hay material fracturado y alterado, presencia de milonita con estrías en sus espejos de falla y enmaderado de 4 m, bajo el análisis estructural se determinó falla normal. **Ver fotografía N°11.**



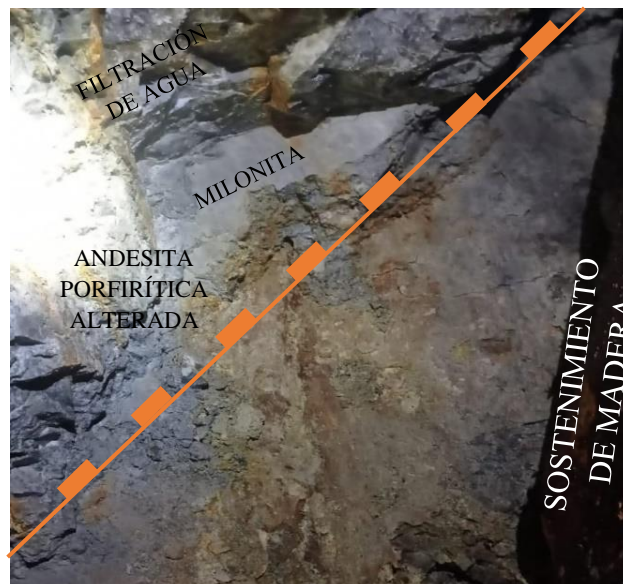
**Fotografía 11.** Falla normal de 2.5 m de salto de falla en el punto P54 a P57, con sostenimiento de madera.

Desde el tramo P66 que es el final de donde se corta a la veta Az Nen la línea principal (101.2 m), hasta el punto P74 que es donde se corta la veta F y 7m después se corta la veta M, existe en cambio de material a una andesita de textura Porfídica en donde si se pueden observar su granulometría a simple vista con una coloración de gris claro. Aquí se nota gran presencia de óxidos por la presencia de agua en el punto P66, peculiarmente también existe pirita cubica, aunque en mínimas cantidades y es visible la cloritización de las plagioclasas.

Para el tramo P13A-P13B (42.5 m) en las coordenadas (654668.69; 9592950.03) y (654640.09; 9592964.61) Se identifica roca andesita con textura afanítica en donde no se identifica a simple vista los minerales, aparecen minerales de clorita en cantidades apreciables, misma que se han formado por la alteración de las plagioclasas, también se encontraron minerales ferromagnesianos como piroxeno, biotita, aparece también albita en cantidades menores y cuarzo

en cristales vítreos. Va en relación con sulfuros impregnados dentro de la roca como pirita (Py 1%) y en menor proporción la calcopirita (CPy 0.5 %). Nótese que en este tramo la roca se encuentra fracturada e inestable debido a la presencia de varias fracturas producto de las presiones que se ejercen en este sector.

Justo después del P13A existe una falla que pasa por la línea principal de transporte por lo que, en este sector se ha realizado sostenimiento con cuadros de madera, los datos estructurales de la falla normal son (Rumbo: N22°W; Buzamiento: 66°; Dir. Buzamiento: N69°E) con un salto de falla de 60 cm, presencia de milonita, la roca caja está muy fracturada y alterada. **Ver fotografía N°12.**



**Fotografía 12.** Falla normal con 60 cm de salto de falla, con presencia de milonita y filtración en el resbalón alto.

En el punto P13A1 hasta el punto P13B existe sostenimiento de madera por una falla que está en ambos hastiales de la galería, dicha falla presenta sus datos estructurales (Rumbo: N11°W; Buzamiento: 72°; Dir. Buzamiento: S72°W) con un salto de falla de 0.5 m, en las zonas aledañas a la falla, existe andesita altamente alterada y fracturada con presencia de cuarzo lechoso, bajo el análisis técnico correspondiente, se determinó que esta es una falla inversa. **Ver fotografía N°13.**





**Fotografía 13.** Falla inversa de 0.5 m de salto de falla con andesita alterada.

En el tramo P13B-P17(119.7 m) en las coordenadas (654640.09; 9592964.61) y (654523.69; 9593022.01). Se identifica una roca andesita de textura porfídica en donde se puede identificar los minerales esenciales (plagioclasas y cuarzo en pocas cantidades) por su tonalidad clara, así mismo minerales ferro magnesianos o máficos como piroxenos y hornblenda, el cuarzo (SiO<sub>2</sub>) se lo encuentra relleno de pequeñas fracturas de la roca. La andesita presenta vetilleo de cuarzo. Se puede evidenciar claramente el brillo vítreo propio del cuarzo y de las placas negras (hornblendas), además aparecen minerales de sericita como medio de alteración y la cloritización de las plagioclasas se encuentra en pequeñas proporciones.

A 10 m del punto P14 está la veta F, mientras que la veta A está a una distancia de 10 metros después de la veta F, estos 10 m se considera un sector con mucha alteración ya que la falla inferida es predominante observandola en ambos hastiales, dicha falla es cortada de manera perpendicular por la galería principal de transporte, los datos estructurales son (Rumbo: N36°E; Buzamiento:10°; Dir. Buz: S10°E), cabe recalcar que en este tramo se evidencia cloritización de las plagioclasas, como también predomina el cuarzo lechoso fracturado y alterado. **Ver fotografía N°14.**



**Fotografía 14.** Falla *INFERIDA* entre la veta *F* y la veta *A*, con presencia de milonita y cuarzo alterado.

Después del P15 a 13.10 m del winche, se pudo evidenciar una falla con un salto de falla de 12 cm, pero con filtración de agua en mínimas cantidades con datos estructurales (Rumbo: N22°E; Buzamiento: 74°; Dir. Buzamiento: S66°E), se observa a simple vista la arcilla (milonita) y bajo análisis estructural se evidencio que se trata de una falla inversa que no influye mucho en la línea principal. El punto P16-P17 es un winche de 33.2 m y una inclinación de 21°. **Ver fotografía N°15.**



**Fotografía 15.** Winche de 33.2 m, con inclinación. de 21°.

Continuando por la galería principal después del winche de un pozo inclinado en el segmento P17 – P20(94.6 m) de coordenadas (654523.69; 9593022.01) y (654434.23; 9593031.44). Este sector está constituido por roca andesita basáltica con textura afanítica, tiene una coloración gris oscuro. en donde existe oxidación de piroxenos y pirita. Todo este sector se

encuentra tensionado debido a un sistema de fracturas que viene desde el pozo inclinado hasta llegar al P20, donde se observa un cambio notorio de material. La presencia de minerales félsicos es escasa. Existe cloritización como medio de alteración. **Ver fotografía N°16.**



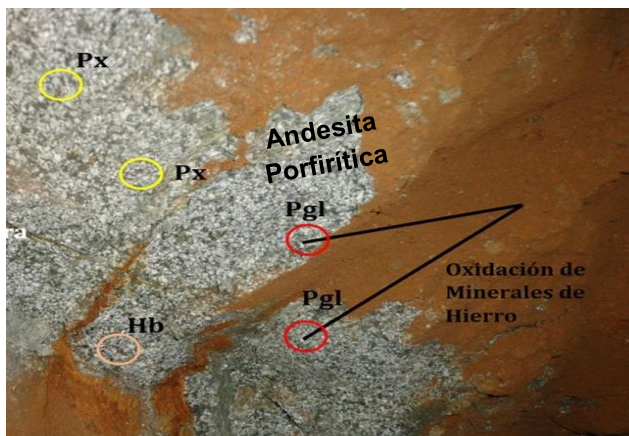
**Fotografía 16.** Andesita basáltica identificada en el tramo P19, sector fracturado.

En el punto P19 de coordenadas (654459.75; 9593032.33) existe una falla inversa en el techo de la galería, esta falla acompaña a la galería principal en 20 m con el mismo rumbo. los datos estructurales de esta falla son (Rumbo: N86°W; Buzamiento:39°; Dir. Buz: S14°W) con un salto de falla de 30 cm, cabe recalcar que esta falla tiene fracturas en ambos bloques de falla, ya que es un sector sometido a varios esfuerzos. **Ver fotografía N°17.**



**Fotografía 17.** Falla inversa en el P19, con un salto de falla de 30 cm.

En el tramo P20-P22(39.7 m) en las coordenadas (655010; 9593329) y (654938; 9593326). Se identifica una andesita de textura porfídica en donde la presencia de fenocristales es abundante. Se nota claramente minerales félsicos (plagioclasas) identificadas por su coloración y color de raya blanquecina, presencia de minerales ferromagnesianos (piroxenos, hornblendas, biotitas), vetillas de composición silícea (SiO<sub>2</sub>). Aparecen cristales de pirita, clorita, albita. **Ver fotografía N°18.**



**Fotografía 18.** Identificación de minerales de una roca andesita con textura porfídica, tramo P20-P22.

Continuando por la galería principal el tramo P22-P23(23 m) en coordenadas (654938; 9593326) hasta (654372.36; 9593040.49) Se identifica una roca andesita basáltica de textura porfídica de coloración gris oscuro en donde se puede identificar los minerales esenciales (plagioclasas y cuarzo en pocas cantidades), así mismo minerales ferro magnesianos o máficos como piroxenos y hornblenda. Se puede ver a simple vista sulfuros de hierro (Pirita) y sulfuros de cobre y hierro (CPy) pero en muy pocas cantidades, además aparecen minerales de hematita como medio de alteración y la cloritización de las plagioclasas se encuentra en pequeñas proporciones.

Consecuentemente, en el tramo P23 – P25(35.4 m) en las coordenadas (654372.36; 9593040.49) y (654337.67; 9593043.38). el punto P23 es el punto donde se encuentra la veta A, mientras que el punto P25 es en cambio la veta B, con una distancia de 33.5 m. Este sector está constituido por roca andesita basáltica con textura afanítica, tiene una coloración gris oscuro verdoso. en donde existe oxidación de minerales máficos (piroxenos y Anfíbol), La presencia de pirita es mínima, al igual que la clorita, pero de igual manera hay cloritización como medio de alteración.



Para el tramo P34 – P36(59.95 m) pasando la veta B a la veta A a 149.20 m del punto P34 m. las coordenadas (654322.63; 9593190.28) y (654381.42; 9593199.41). Se identifica roca andesita con textura porfídica de coloración gris verdoso claro, en donde se puede identificar los minerales esenciales (plagioclasas-cuarzo en pocas proporciones) esto le da su tonalidad clara, así mismo existe la presencia de minerales máficos como piroxenos y biotita. Existe incrustaciones muy particulares y en pocas cantidades de pirita (Py), otro dato importante es que, en ciertos sectores de este segmento, existe la cloritización de las plagioclasas como también sericita como medio de alteración.

En el punto P36A con coordenadas (654382.61; 9593192.70) existe una falla que corta a la veta A, como se muestra en la **fotografía N°19**, la arranca a la veta en su totalidad, pero si se observa bien la fotografía, deja rastros de mineralización en la falla, por lo cual se observa hacia a donde la desplaza, los datos estructurales de esta falla son (Rumbo: N16°W; Buzamiento: 79°; Dir. Buzamiento: S87°W) con un salto de falla de 20 cm. Gracias a la veta, se pudo determinar que esta es una falla inversa.



**Fotografía 19.** Falla inversa en el punto P36A, corta en su totalidad a la veta A.

Continuando por la galería principal en el segmento P36 – P38 (55 m) de coordenadas (654381.42; 9593199.41) y (654434.57; 9593213.76). Este sector está constituido por roca andesita basáltica con textura afanítica, de coloración gris oscuro. Existe oxidación de piroxenos. Se observa un cambio notorio de material antes y después de este tramo. Aquí se puede evidenciar en ambos hastiales del sector que predominan Sulfuros de hierro y cobre (Py), (CPy) La presencia de minerales félsicos es escasa. Existe cloritización como medio de alteración. **Ver fotografía N°20.**



**Fotografía 20.** Andesita basáltica de textura afanítica con vetillas, en el tramo P36-P38

Del punto P38 hasta culminar el frente de exploración de esta mina que es el punto P40(43.90 m), en este tramo existe una andesita de tonalidad verde claro, por lo que pude determinar de una andesita de textura porfídica, además tiene una gran cantidad de minerales esenciales de una andesita, como lo son las plagioclasas en grandes cantidades, el cuarzo y los feldespatos en mínimas proporciones, al igual que los minerales tipo, como lo son el piroxeno y la biotita, aunque también se pudo evidenciar contaminación de Sulfuros, como lo son la calcopirita (CPy0.5%) y la pirita (Py 1%).

En el desarrollo del proyecto “Montesdeoca” se ha acondicionado un pozo de sedimentación a 61.6 m el cual tiene su mantenimiento constantemente, también consta de un winche de 33 m con 21° de inclinación a 443.7 m de la bocamina, existen 18 cajones para la extracción del mineral, de los cuales solo en 6 cajones se está trabajando actualmente, se identificaron 24 sostenimientos con cuadros de madera, 2 blowers (ventilación y extracción de

aire), 2 pozos de 45°, 6 rebajes, 2 zonas de primeros auxilios con sus respectivas zonas de descanso y el área de preparación de explosivos. Dando un total de 1645.82 m. de longitud de toda la galería, con un promedio de 1.5 m de ancho y 1.85 de alto, esto se debe a que existen lugares en donde su altura es pequeña debido a labores antiguas.

En base a todas las muestras de mano (14) de roca caja, se llevaron las muestras al laboratorio de la Facultad para hacer los análisis correspondientes, teniendo en cuenta que primero se hace un análisis macroscópico, delimitar la textura de la roca, su matriz para identificar los minerales esenciales, para luego hacer el análisis microscópico con aumento de 2x y 4x, con la finalidad de identificar los minerales accesorios, como también se utilizó, ácido clorhídrico en tal caso se daba la presencia de carbonatos, lupa metálica 40X, martillo y un fragmento de vidrio. Previamente a su descripción, las muestras recolectadas en fase de campo se limpiaron mediante un lavado y cepillado superficial, eliminando impurezas de la roca procedentes del transporte. **Ver fotografía N°21.**




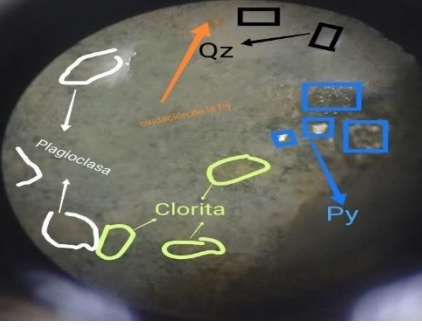
**Fotografía 21.** *Identificación de minerales con el microscopio del laboratorio de la carrera.*

Para la determinación de la roca se utilizó el diagrama de streckeisen (QAPF), el cual se designa en base a la estimación visual de porcentajes, para el cálculo de porcentaje, es básicamente para los minerales de cuarzo, plagioclasa y feldespatos. Para llegar al resultado esperado, primero se realizó la sumatoria de los minerales esenciales. Cabe recalcar que ese dato va a ser nuestro 100 %, de ahí se utiliza una regla de tres para poder determinar el porcentaje que va graficado en el diagrama (QAPF) en la hoja de cálculo Excel 2018.

En base a los análisis macroscópicos y microscópicos de las muestras de mano, se determinó de la siguiente forma: **Ver tablas N°38-51.**



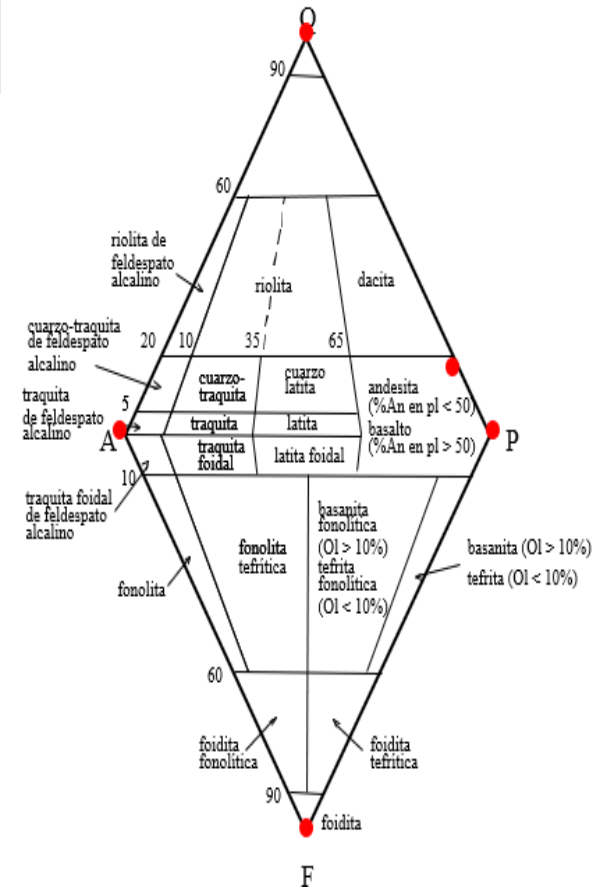
**Tabla 38.** Muestra de mano 1, tramo P1-P4, con su diagrama de Streckeisen (1976).

Muestra de mano tramo P1-P4			
<b>FOTOGRAFÍA MACROSCÓPICA</b>		<b>TIPO DE ANÁLISIS</b>	Análisis Binocular
		<b>COORDNADAS</b>	X: 654879.1 Y: 9592878.8 Z: 1261.3
		<b>COLOR</b>	Gris, verdoso claro
		<b>TEXTURA</b>	Fanerítica
COMPOSICIÓN			
NOMBRE	PORCENTAJE	FOTOGRAFÍA MICROSCÓPICA	
MINERALES ESCENCIALES			
CUARZO	15 %		
PLAGIOCLASA	77 %		
FELDESPATOS A	3 %		
MINERALES TIPO			
PIROXENO			
PIRITA	5 %		
CALCOPIRITA			
HEMATITA			
CLORITA	7 %		
ANFIBOL			
OTROS	20 %		
<b>ALTERACIÓN</b>	Seritización de plagioclasas, oxidación de pirita.	<b>NOMBRE DE LA ROCA</b>	Andesita Fanerítica
<b>CONCLUSIONES</b>	Mediante el diagrama de Streckeisen (QAPF), se pudo corroborar el conteo de los minerales esenciales a simple vista para llegar a una Andesita Fanerítica, además este sector cuenta con raíces desde 1 mm hasta 2cm por ello también se observa a la roca altamente meteorizada y alterada.		

Entra aquí la fracción modal, M

componente	M	% relativo
Q	15	15.79
F.A	3	3.16
P	77	81.05
F	0	0.00

**CLASIFICACION MODAL DE UNA ROCA VOLCANICA EN EL TRIANGULO Q-A-P-F (Streckeisen, 1976)**




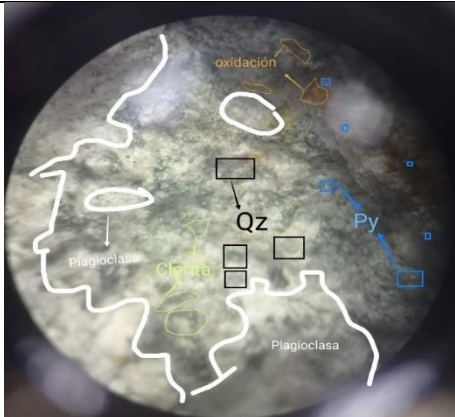


UNL

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables

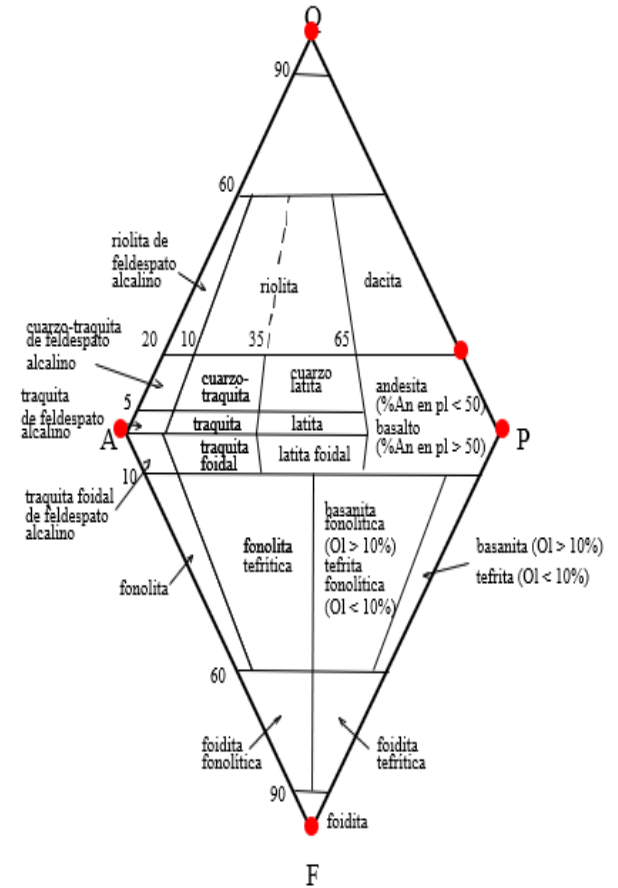
**Tabla 39** Muestra de mano 2, tramo P4-P8, con su diagrama de Streckeisen (1976).

Muestra de mano tramo P4-P8			
<b>FOTOGRAFÍA MACROSCÓPICA</b>		<b>TIPO DE ANÁLISIS</b>	Análisis Binocular
		<b>COORDNADAS</b>	X: 654830.09 Y: 9592907.34 Z: 1261.33
		<b>COLOR</b>	Gris verdoso claro
		<b>TEXTURA</b>	Afanítica
COMPOSICIÓN			
NOMBRE	PORCENTAJE	FOTOGRAFÍA MICROSCÓPICA	
<b>MINERALES ESCENCIALES</b>			
CUARZO	17 %		
PLAGIOCLASA	68 %		
FELDESPATOS A	1 %		
<b>MINERALES TIPO</b>			
PIROXENO	2 %		
PIRITA	3 %		
CALCOPIRITA	0.5 %		
HEMATITA			
BIOTITA			
ANFIBOL			
CLORITA	8 %		
OTROS	6 %		
<b>ALTERACIÓN</b>	Oxidación de las plagioclasas y pirita.	<b>NOMBRE DE LA ROCA</b>	Andesita Afanítica
<b>CONCLUSIONES</b>	Mediante el diagrama de Streckeisen (QAPF), se pudo corroborar el conteo de los minerales esenciales para llegar a una Andesita Afanítica ya que no se pueden observar sus minerales a simple vista.		

Entra aquí la fracción modal, M

componente	M	% relativo
Q	17	19.77
F.A	1	1.16
P	68	79.07
F	0	0.00

**CLASIFICACION MODAL DE UNA ROCA VOLCANICA EN EL TRIANGULO Q-A-P-F (Streckeisen, 1976)**





UNL

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables

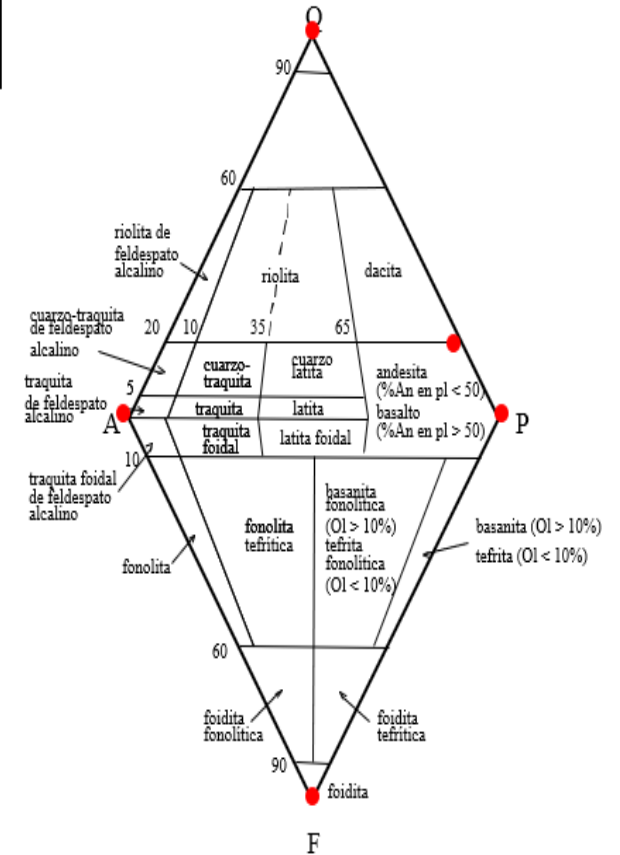
Tabla 40. Muestra de mano 3, tramo P8-P13A, con su diagrama de Streckeisen (1976).

Muestra de mano tramo P8-P13A			
<b>FOTOGRAFÍA MACROSCÓPICA</b>		<b>TIPO DE ANÁLISIS</b>	<b>Análisis Binocular</b>
		<b>COORDNADAS</b>	X: 654713.07 Y: 9592936.47 Z: 1263.22
		<b>COLOR</b>	Gris. verde clara
		<b>TEXTURA</b>	Porfídica
COMPOSICIÓN			
<b>NOMBRE</b>	<b>PORCENTAJE</b>	<b>FOTOGRAFÍA MICROSCÓPICA</b>	
<b>MINERALES ESCENCIALES</b>			
CUARZO	10 %		
PLAGIOCLASA	42 %		
FELDESPATOS A	2 %		
<b>MINERALES TIPO</b>			
PIROXENO			
PIRITA	2 %		
CALCOPIRITA			
BIOTITA	2.5 %		
HEMATITA			
COLORITA	15 %		
ANFIBOL			
OTROS	25 %		
<b>ALTERACIÓN</b>	Cloritización de la plagioclasa y oxidación de la pirita	<b>NOMBRE DE LA ROCA</b>	Andesita Porfírica
<b>CONCLUSIONES</b>	Mediante el diagrama de Streckeisen (QAPF), se pudo corroborar el conteo de los minerales esenciales para llegar a una Andesita Porfírica, ya que se evidencia sus minerales de diferentes tamaños.		

Entra aquí la fracción modal, M

componente	M	% relativo
Q	10	18.52
F A	2	3.70
P	42	77.78
F	0	0.00

CLASIFICACION MODAL DE UNA ROCA VOLCANICA EN EL TRIANGULO Q-A-P-F (Streckeisen, 1976)





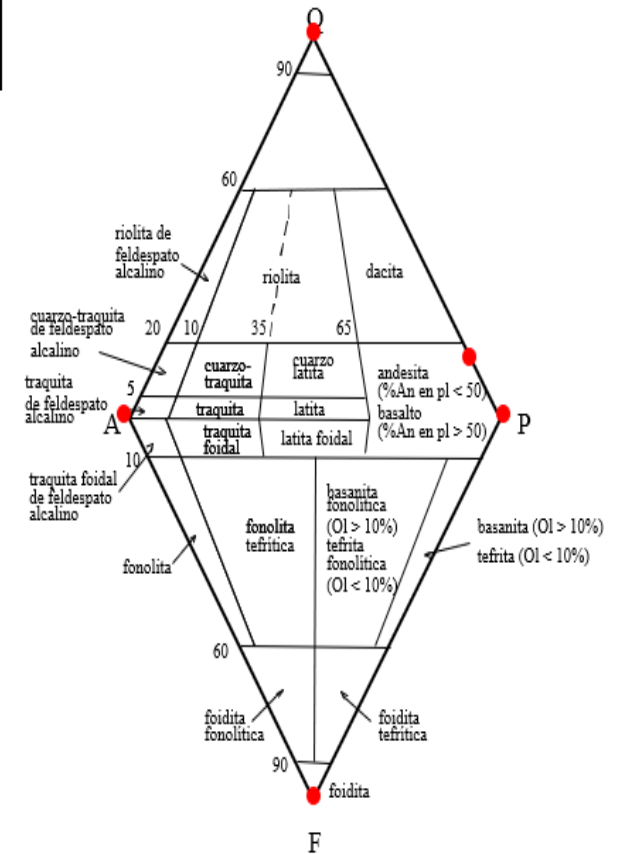
**Tabla 41.** Muestra de mano 4, tramo P11A1-P66, con su diagrama de Streckeisen (1976).

Muestra de mano tramo P11A1-P66			
<b>FOTOGRAFÍA MACROSCÓPICA</b>		<b>TIPO DE ANÁLISIS</b>	<b>Análisis Binocular</b>
		<b>COORDNADAS</b>	X: 654712.01 Y: 9593116.38 Z: 1264.58
		<b>COLOR</b>	Gris oscuro
		<b>TEXTURA</b>	afanítica
COMPOSICIÓN			
NOMBRE	PORCENTAJE	FOTOGRAFÍA MICROSCÓPICA	
<b>MINERALES ESCENCIALES</b>			
CUARZO	9 %		
PLAGIOCLASA	50 %		
FELDESPATOS	1 %		
<b>MINERALES TIPO</b>			
PIROXENO	3 %		
PIRITA	2.5 %		
CALCOPIRITA	1 %		
HEMATITA			
BIOTITA			
CLORITA	5 %		
ANFIBOL			
OTROS	30 %		
<b>ALTERACIÓN</b>	Cloritización de las plagioclasas y oxidación de la pirita	<b>NOMBRE DE LA ROCA</b>	Andesita basáltica
<b>CONCLUSIONES</b>	Mediante el diagrama de Streckeisen (QAPF), se pudo corroborar el conteo de los minerales esenciales para llegar a una Andesita basáltica por su coloración, además de su textura afanítica ya que no se podían observar sus minerales a simple vista.		

Entra aquí la fracción modal, M

componente	M	%relativo
Q	9	15.00
F.A	1	1.67
P	50	83.33
F		0.00

**CLASIFICACION MODAL DE UNA ROCA VOLCANICA EN EL TRIANGULO Q-A-P-F (Streckeisen, 1976)**







UNL

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables

**Tabla 42.** Muestra de mano 5, tramo P66-P74, con su diagrama de Streckeisen (1976).

Muestra de mano tramo P66-P74			
<b>FOTOGRAFÍA MACROSCÓPICA</b>		<b>TIPO DE ANÁLISIS</b>	Análisis Binocular
		<b>COORDNADAS</b>	X: 654663.08 Y: 9593148.57 Z: 1265.02
		<b>COLOR</b>	Gris claro
		<b>TEXTURA</b>	Fanerítica
		<b>COMPOSICIÓN</b>	
<b>NOMBRE</b>	<b>PORCENTAJE</b>	<b>FOTOGRAFÍA MICROSCÓPICA</b>	
<b>MINERALES ESCENCIALES</b>			
CUARZO	9 %		
PLAGIOCLASA	45 %		
FELDESPATOS	0.5 %		
<b>MINERALES TIPO</b>			
PIROXENO		<b>NOMBRE DE LA ROCA</b> Andesita Porfirítica	
PIRITA	3 %		
CALCOPIRITA			
HEMATITA			
BIOTITA	3 %		
CLORITA	5 %		
ANFIBOL			
OTROS	30 %		
<b>ALTERACIÓN</b>	Oxidación de biotita		
<b>CONCLUSIONES</b>	Mediante el diagrama de Streckeisen (QAPF), se pudo corroborar el conteo de los minerales esenciales para llegar a una Andesita Phanerítica		

Entra aquí la fracción modal, M

Componente	M	% relativo
Q	9	16.51
F.A	0.5	0.92
P	45	82.57
F		0.00

**CLASIFICACION MODAL DE UNA ROCA VOLCANICA EN EL TRIANGULO Q-A-P-F (Streckeisen, 1976)**

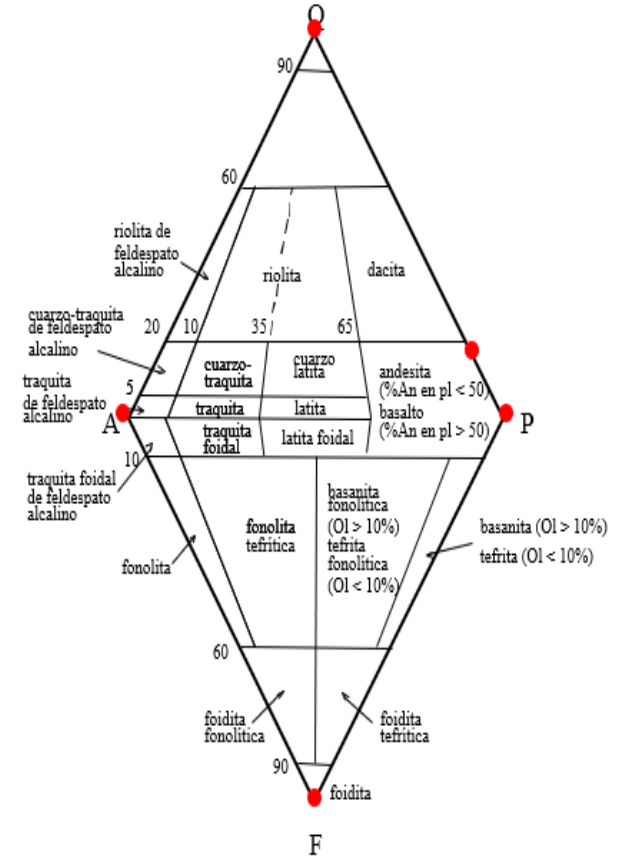




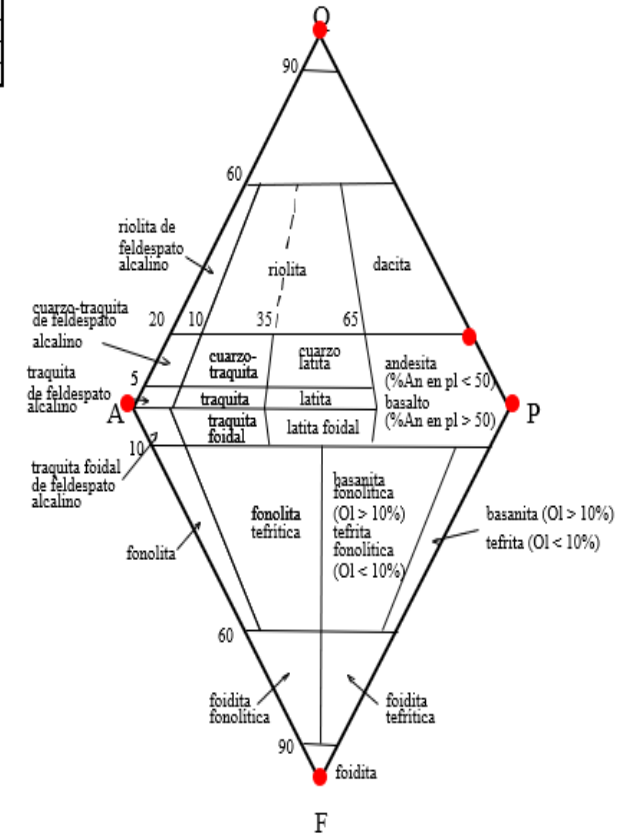
Tabla 43. Muestra de mano 6, tramo P13A-P13B, con su diagrama de Streckeisen (1976).

Muestra de mano tramo P13A-P13B			
<b>FOTOGRAFÍA MACROSCÓPICA</b>		<b>TIPO DE ANÁLISIS</b>	Análisis Binocular
		<b>COORDNADAS</b>	X: 654666.9 Y: 9592950.9 Z: 1263.5
		<b>COLOR</b>	Gris, verdoso oscuro
		<b>TEXTURA</b>	Afanítica
COMPOSICIÓN			
NOMBRE	PORCENTAJE	FOTOGRAFÍA MICROSCÓPICA	
<b>MINERALES ESCENCIALES</b>			
CUARZO	11 %		
PLAGIOCLASA	49 %		
FELDESPATOS	1.5 %		
<b>MINERALES TIPO</b>			
PIROXENO	3 %		
PIRITA	2 %		
CALCOPIRITA	3 %		
BIOTITA	2 %		
HEMATITA			
CLORITA	8 %		
ANFIBOL			
OTROS	27 %		
<b>ALTERACIÓN</b>	cloritización de la plagioclasa y oxidación de la piritita	<b>NOMBRE DE LA ROCA</b>	Andesita Basáltica
<b>CONCLUSIONES</b>	Mediante el diagrama de Streckeisen (QAPF), se pudo corroborar el conteo de los minerales esenciales para llegar a una andesita basáltica por su coloración oscura, además que tiene una textura afanítica ya que sus minerales no son visibles a simple vista.		

Entra aquí la fracción modal, M

componente	M	% relativo
Q	11	17.89
F.A	1.5	2.44
P	49	79.67
F		0.00

CLASIFICACION MODAL DE UNA ROCA VOLCANICA EN EL TRIANGULO Q-A-P-F (Streckeisen, 1976)







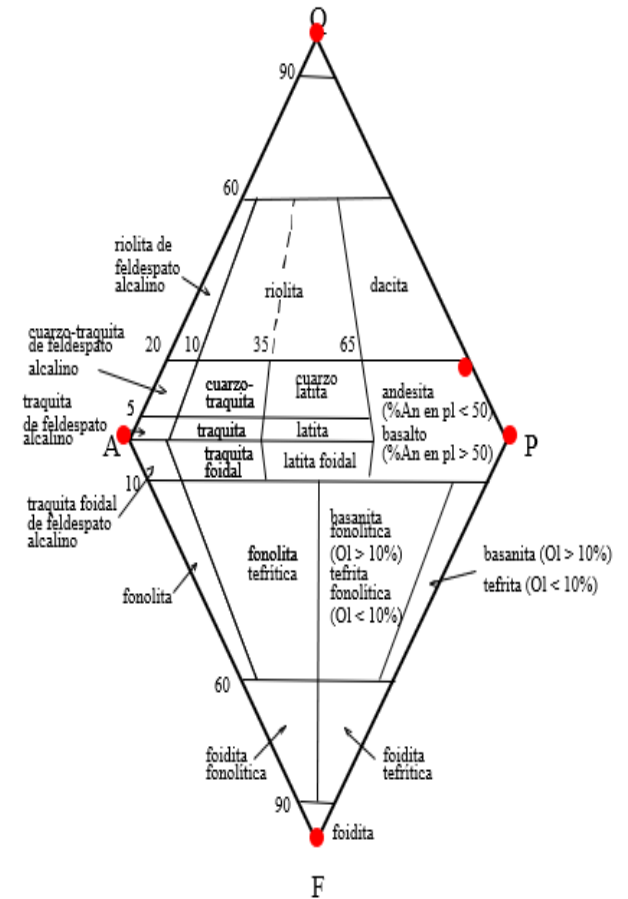
**Tabla 44.** Muestra de mano 7, tramo P13B-P17, con su diagrama de Streckeisen (1976).

Muestra de mano tramo P13B-P17			
<b>FOTOGRAFÍA MACROSCÓPICA</b>		<b>TIPO DE ANÁLISIS</b>	Análisis Binocular
		<b>COORDNADAS</b>	X: 654581.58 Y: 9592991.24 Z: 1264.45
		<b>COLOR</b>	Gris verdoso claro
		<b>TEXTURA</b>	Porfídica
COMPOSICIÓN			
NOMBRE	PORCENTAJE	FOTOGRAFÍA MICROSCÓPICA	
<b>MINERALES ESCENCIALES</b>			
CUARZO	10 %		
PLAGIOCLASA	48 %		
FELDESPATOS	2 %		
<b>MINERALES TIPO</b>			
PIROXENO	0.5 %		
PIRITA	3 %		
CALCOPIRITA	0.5 %		
HEMATITA			
BIOTITA			
CLORITA	10 %		
ANFIBOL			
OTROS	23 %		
<b>ALTERACIÓN</b>	Clorización de plagioclasa y oxidación de pirita	<b>NOMBRE DE LA ROCA</b>	Andesita porfírica
<b>CONCLUSIONES</b>	Mediante el diagrama de Streckeisen (QAPF), se pudo corroborar el conteo de los minerales esenciales para llegar a una Andesita Porfírica ya que se observan sus minerales de diferentes tamaños, como lo son la plagioclasa y en minimas cantidades el piroxeno.		

Entra aquí la fracción modal, M

componente	M	% relativo
Q	10	16.67
F A	2	3.33
P	48	80.00
F		0.00

**CLASIFICACION MODAL DE UNA ROCA VOLCANICA EN EL TRIANGULO Q-A-P-F (Streckeisen, 1976)**





UNL

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables

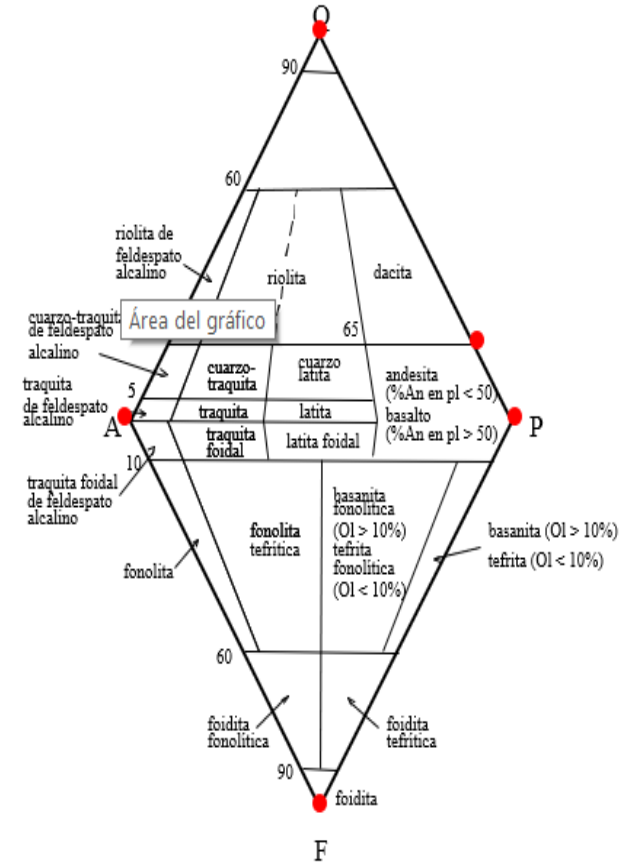
Tabla 45. Muestra de mano 8, tramo P17-P20, con su diagrama de Streckeisen (1976).

Muestra de mano tramo P17-P20			
<b>FOTOGRAFÍA MACROSCÓPICA</b>		<b>TIPO DE ANÁLISIS</b>	Análisis Binocular
		<b>COORDNADAS</b>	X: 654551.21 Y: 9593003.44 Z: 1264.45
		<b>COLOR</b>	Gris oscuro
		<b>TEXTURA</b>	Afanítica
COMPOSICIÓN			
NOMBRE	PORCENTAJE	FOTOGRAFÍA MICROSCÓPICA	
MINERALES ESCENCIALES			
CUARZO	10 %		
PLAGIOCLASA	40 %		
FELDESPATOS	0 %		
MINERALES TIPO			
PIROXENO	0.5 %		
PIRITA	2 %		
CALCOPIRITA			
HEMATITA	0.5 %		
BIOTITA			
CLORITA	3 %		
OTROS	30 %		
<b>ALTERACIÓN</b>	Cloritización de plagioclasa y oxidación de pirita	<b>NOMBRE DE LA ROCA</b>	Andesita Basáltica
<b>CONCLUSIONES</b>	Mediante el diagrama de Streckeisen (QAPF), se pudo corroborar el conteo de los minerales esenciales para llegar a una Andesita Basáltica por su tonalidad oscura y su textura afanítica ya que no se pueden observar minerales a simple vista. Además, este tramo se encuentra altamente fracturado por varios esfuerzos que existen en esta zona.		

Entra aqui la fracción modal, M

componente	M	% relativo
Q	10	20.00
F A	0	0.00
P	40	80.00
F		0.00

CLASIFICACION MODAL DE UNA ROCA VOLCANICA EN EL TRIANGULO Q-A-P-F (Streckeisen, 1976)





UNL

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables

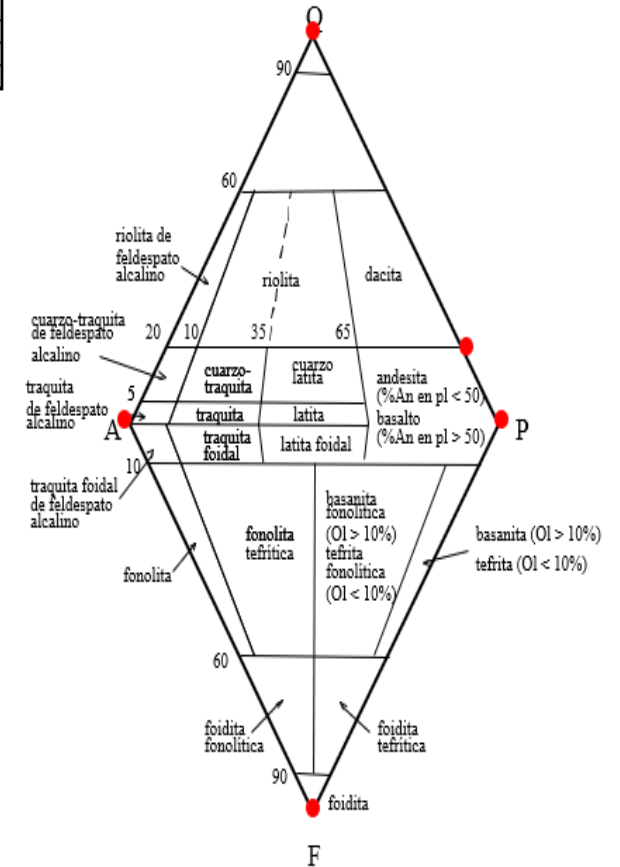
Tabla 46. Muestra de mano 9, tramo P20-P22, con su diagrama de Streckeisen (1976).

Muestra de mano tramo P20-P22			
<b>FOTOGRAFÍA MACROSCÓPICA</b>		<b>TIPO DE ANÁLISIS</b>	Análisis Binocular
		<b>COORDNADAS</b>	X: 654401.82 Y: 9593033.14 Z: 1254.6
		<b>COLOR</b>	Gris claro
		<b>TEXTURA</b>	porfídica
COMPOSICIÓN			
NOMBRE	PORCENTA JE	FOTOGRAFÍA MICROSCÓPICA	
<b>MINERALES ESCENCIALES</b>			
CUARZO	11 %		
PLAGIOCLASA	48 %		
FELDESPATOS	0 %		
<b>MINERALES TIPO</b>			
PIROXENO	1 %		
PIRITA	4 %		
CALCOPIRITA	1 %		
HEMATITA	0.5 %		
BIOTITA			
CLORITA	5 %		
ANFIBOL			
OTROS	31 %		
<b>ALTERACIÓN</b>		<b>NOMBRE DE LA ROCA</b>	Andesita Porfírica
<b>CONCLUSIONES</b>	Mediante el diagrama de streckeisen (QAPF), se pudo corroborar el conteo de los minerales esenciales para llegar a una Andesita Portírica como se observa en la fotografía microscópica, sus minerales son de diferentes tamaños.		

Entra aqui la fracción modal, M

componente	M	% relativo
Q	11	18.64
F A	0	0.00
P	48	81.36
F		0.00

CLASIFICACION MODAL DE UNA ROCA VOLCANICA EN EL TRIANGULO Q-A-P-F (Streckeisen, 1976)





UNL

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables

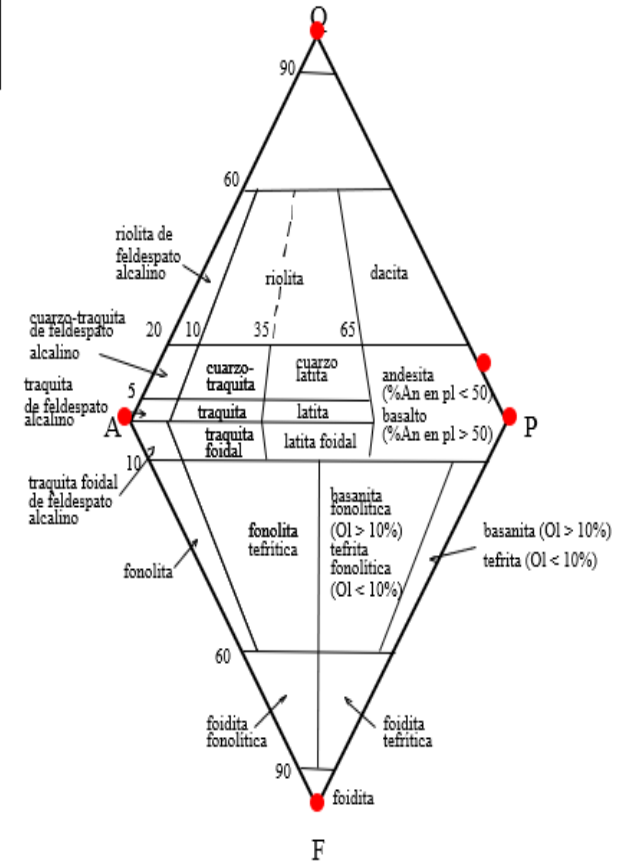
**Tabla 47.** Muestra de mano 10, tramo P22-P23, con su diagrama de Streckeisen (1976).

Muestra de mano tramo P22-P23			
<b>FOTOGRAFÍA MACROSCÓPICA</b>		<b>TIPO DE ANÁLISIS</b>	Análisis Binocular
		<b>COORDNADAS</b>	X: 654394.72 Y: 9593034.91 Z: 1254.9
		<b>COLOR</b>	Gris oscuro
		<b>TEXTURA</b>	porfídica
COMPOSICIÓN			
NOMBRE	PORCENTAJE	FOTOGRAFÍA MICROSCÓPICA	
<b>MINERALES ESCENCIALES</b>			
CUARZO	4 %		
PLAGIOCLASA	25 %		
FELDESPATOS	0 %		
<b>MINERALES TIPO</b>			
PIROXENO	3 %		
PIRITA	2 %		
CALCOPIRITA			
HEMATITA			
BIOTITA			
CLORITA	4 %		
ANFIBOL	1.5 %		
OTROS	40 %		
<b>ALTERACIÓN</b>	Cloritización de la plagioclasa	<b>NOMBRE DE LA ROCA</b>	Andesita Basáltica
<b>CONCLUSIONES</b>	Mediante el diagrama de Streckeisen (QAPF), se pudo corroborar el conteo de los minerales esenciales para llegar a una Andesita porfídica de coloración oscura, teniendo en cuenta que este tramo se encuentra fracturado debido a que hay una falla en la parte superior de la línea principal de este tramo.		

Entra aquí la fracción modal, M

componente	M	%relativo
Q	4	13.79
FA	0	0.00
P	25	86.21
F		0.00

**CLASIFICACION MODAL DE UNA ROCA VOLCANICA EN EL TRIANGULO Q-A-P-F (Streckeisen, 1976)**







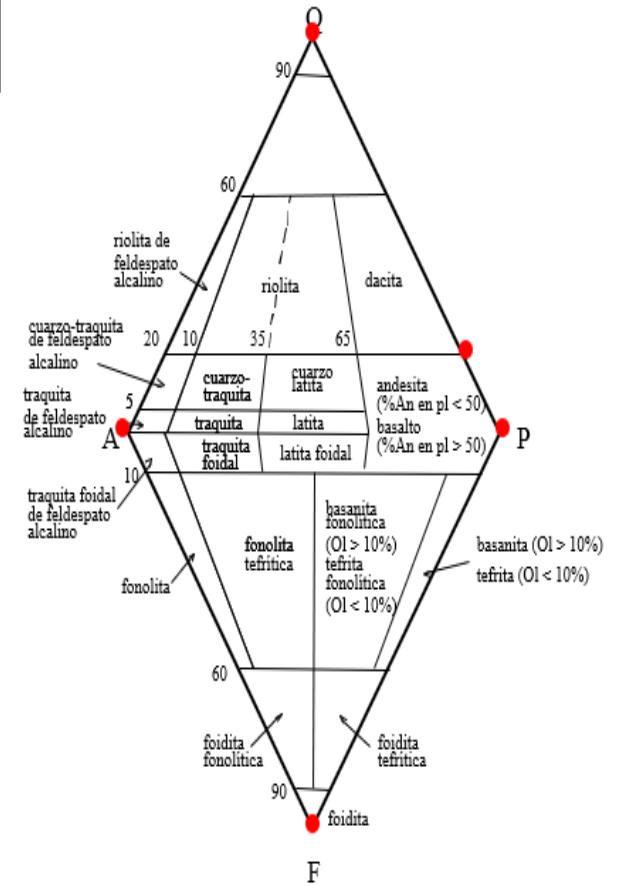
**Tabla 48.** Muestra de mano 11, tramo P23-P25, con su diagrama de Streckeisen (1976).

Muestra de mano tramo P23-P25			
<b>FOTOGRAFÍA MACROSCÓPICA</b>		<b>TIPO DE ANÁLISIS</b>	Análisis Binocular
		<b>COORDNADAS</b>	X: 654360.76 Y: 9593043.38 Z: 1256.49
		<b>COLOR</b>	Gris, verdoso oscuro
		<b>TEXTURA</b>	Afanítica
COMPOSICIÓN			
NOMBRE	PORCENTAJE	FOTOGRAFÍA MICROSCÓPICA	
<b>MINERALES ESCENCIALES</b>			
CUARZO	11 %		
PLAGIOCLASA	45 %		
FELDESPATOS	0 %		
<b>MINERALES TIPO</b>			
PIROXENO	4 %		
PIRITA	2 %		
CALCOPIRITA			
HEMATITA			
BIOTITA			
CLORITA	1%		
ANFIBOL	2 %		
OTROS	20 %		
<b>ALTERACIÓN</b>	Cloritización de la plagioclasa, oxidación de pirita	<b>NOMBRE DE LA ROCA</b>	Andesita basáltica
<b>CONCLUSIONES</b>	Mediante el diagrama de Streckeisen (QAPF), se pudo corroborar el conteo de los minerales esenciales para llegar a una Andesita Basáltica de coloración oscura y su textura es afanítica ya que sus minerales no se pueden ver a simple vista.		

Entra aquí la fracción modal, M

componente	M	% relativo
Q	11	19.64
F A	0	0.00
P	45	80.36
F		0.00

**CLASIFICACION MODAL DE UNA ROCA VOLCANICA EN EL TRIANGULO Q-A-P-F (Streckeisen, 1976)**





UNL

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables

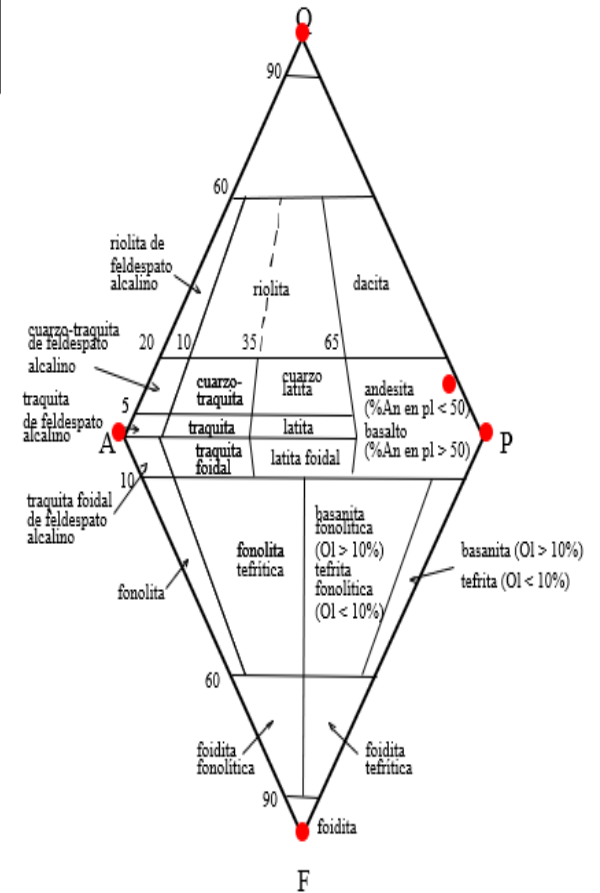
Tabla 49. Muestra de mano 12, tramo P34-P36, con su diagrama de Streckeisen (1976).

Muestra de mano tramo P34-P36			
<b>FOTOGRAFÍA MACROSCÓPICA</b>		<b>TIPO DE ANÁLISIS</b>	Análisis Binocular
		<b>COORDNADAS</b>	X: 654353.35 Y: 9593191.36 Z: 1259.94
		<b>COLOR</b>	Gris verdoso claro
		<b>TEXTURA</b>	porfídica
COMPOSICIÓN			
<b>NOMBRE</b>	<b>PORCENTAJE</b>	<b>FOTOGRAFÍA MICROSCÓPICA</b>	
<b>MINERALES ESCENCIALES</b>			
CUARZO	6 %		
PLAGIOCLASA	41 %		
FELDESPATOS	2 %		
<b>MINERALES TIPO</b>			
PIROXENO	3 %		
PIRITA	2 %		
CALCOPIRITA			
HEMATITA			
BIOTITA	3 %		
CLORITA	12 %		
ANFIBOL			
OTROS	32 %		
<b>ALTERACIÓN</b>	Cloritización de plagioclasas, oxidación de pirita.	<b>NOMBRE DE LA ROCA</b>	ANDESITA PORFIRÍTICA
<b>CONCLUSIONES</b>	Mediante el diagrama de streckeisen (QAPF), se pudo corroborar el conteo de los minerales esenciales para llegar a una Andesita Porfírica de coloración clara, su textura es porfírica ya que se pueden observar minerales a simple vista.		

Entra aquí la fracción modal, M

componente	M	%relativo
Q	6	12.24
F.A	2	4.08
P	41	83.67
F		0.00

CLASIFICACION MODAL DE UNA ROCA VOLCANICA EN EL TRIANGULO Q-A-P-F (Streckeisen, 1976)







UNL

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables

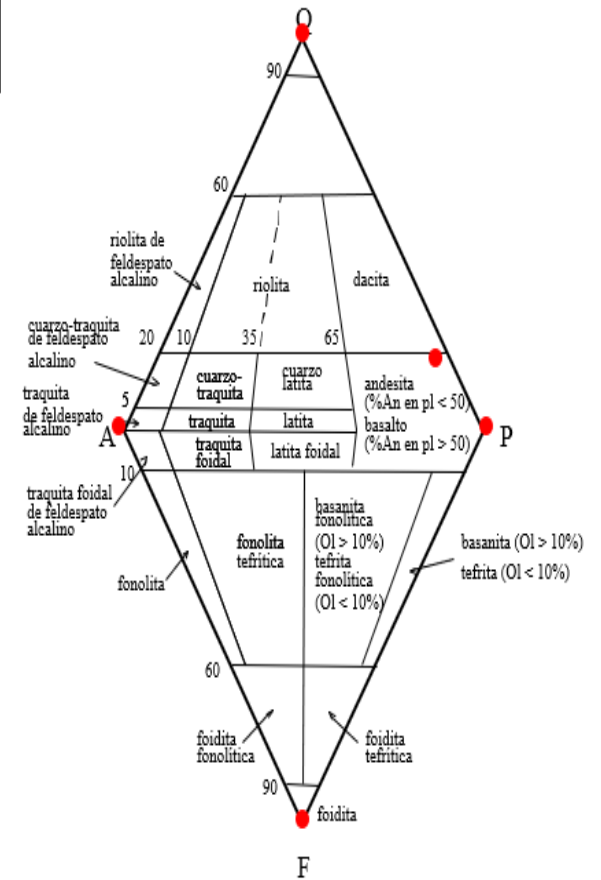
Tabla 50. Muestra de mano 13, tramo P36-P38, con su diagrama de Streckeisen (1976).

Muestra de mano tramo P36-P38			
<b>FOTOGRAFÍA MACROSCÓPICA</b>		<b>TIPO DE ANÁLISIS</b>	Análisis Binocular
		<b>COORDNADAS</b>	X: 654404.1 Y: 9593205.7 Z: 1260.2
		<b>COLOR</b>	Gris oscuro
		<b>TEXTURA</b>	Afanítica
COMPOSICIÓN			
NOMBRE	PORCENTAJE	FOTOGRAFÍA MICROSCÓPICA	
<b>MINERALES ESCENCIALES</b>			
CUARZO	10 %		
PLAGIOCLASA	44 %		
FELDESPATOS	3 %		
<b>MINERALES TIPO</b>			
PIROXENO	3 %		
PIRITA	3 %		
CALCOPIRITA	0.5 %		
HEMATITA			
CLORITA	6 %		
ANFIBOL			
OTROS	26 %		
<b>ALTERACIÓN</b>	Seritización de plagioclasas, oxidación de pirita. Cloritización.	<b>NOMBRE DE LA ROCA</b>	Andesita Basáltica
<b>CONCLUSIONES</b>	Mediante el diagrama de streckeisen (QAPF), se pudo corroborar el conteo de los minerales esenciales para llegar a una andesita basáltica. De textura afanítica ya que sus minerales no se pueden ver a simple vista.		

Entra aqui la fracción modal, M

componente	M	% relativo
Q	10	17.54
F A	3	5.28
P	44	77.19
F		0.00

CLASIFICACION MODAL DE UNA ROCA VOLCANICA EN EL TRIANGULO Q-A-P-F (Streckeisen, 1976)





UNL

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables

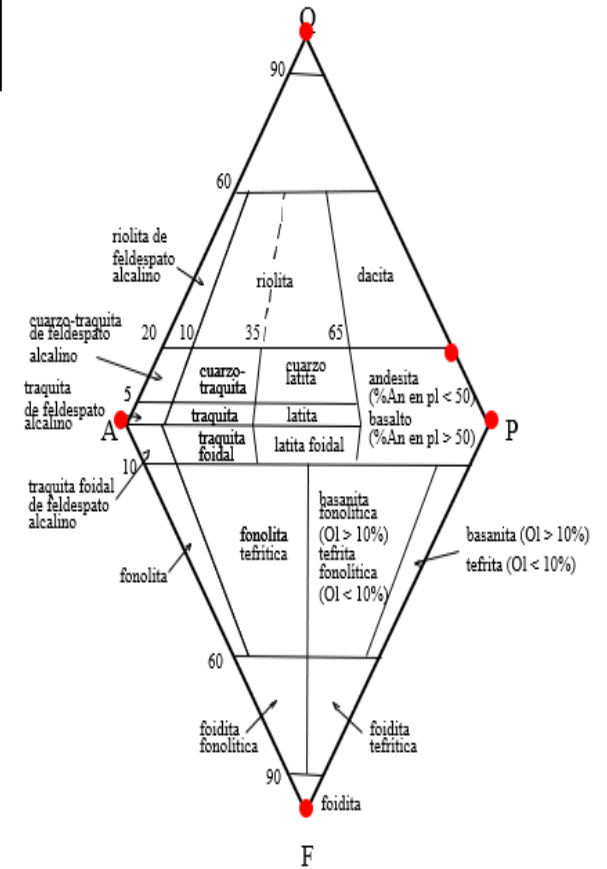
**Tabla 51. Muestra de mano 14, tramo P38-P40, con su diagrama de Streckeisen (1976).**

Muestra de mano tramo P38-P40			
<b>FOTOGRAFÍA MACROSCÓPICA</b>		<b>TIPO DE ANÁLISIS</b>	Análisis Binocular
		<b>COORDNADAS</b>	X: 654448.94 Y: 9593217.88 Z: 1260.45
		<b>COLOR</b>	Gris-verde clara
		<b>TEXTURA</b>	porfídica
COMPOSICIÓN			
NOMBRE	PORCENTAJE	FOTOGRAFÍA MICROSCÓPICA	
<b>MINERALES ESCENCIALES</b>			
CUARZO	10.5 %		
PLAGIOCLASA	49 %		
FELDESPATOS	1.5 %		
<b>MINERALES TIPO</b>			
PIROXENO	1.5 %		
PIRITA	2 %		
CALCOPIRITA	0.5 %		
HEMATITA			
BIOTITA			
CLORITA	25 %		
ANFIBOL			
OTROS	3 %		
<b>ALTERACIÓN</b>	Cloritización de las plagioclasas, oxidación de la pirita.	<b>NOMBRE DE LA ROCA</b>	Andesita Porfírica
<b>CONCLUSIONES</b>	Mediante el diagrama de Streckeisen (QAPF), se pudo corroborar el conteo de los minerales esenciales para llegar a una andesita textura porfídica. Esta muestra es la más clara de todas, esto debido al alto contenido de plagioclasas y cloritas que tienen una tonalidad clara.		

Entra aquí la fracción modal, M

componente	M	% relativo
Q	10.5	17.21
FA	1.5	2.46
P	49	80.33
F		0.00

**CLASIFICACION MODAL DE UNA ROCA VOLCANICA EN EL TRIANGULO Q-A-P-F (Streckeisen, 1976)**





Finalmente se realizó la **tabla N°52** donde se detalló los resultados delimitando los tramos considerando las características mineralógicas con sus respectivos metros, coordenadas y tipo de roca, donde encontramos roca andesita basáltica y andesita de texturas fanerítica, afanítica y porfídica, en base a esto se realizó el mapa de caracterización geológico-estructural de la galería principal de transporte de la mina Montesdeoca. **Ver anexo 12-12.1.**

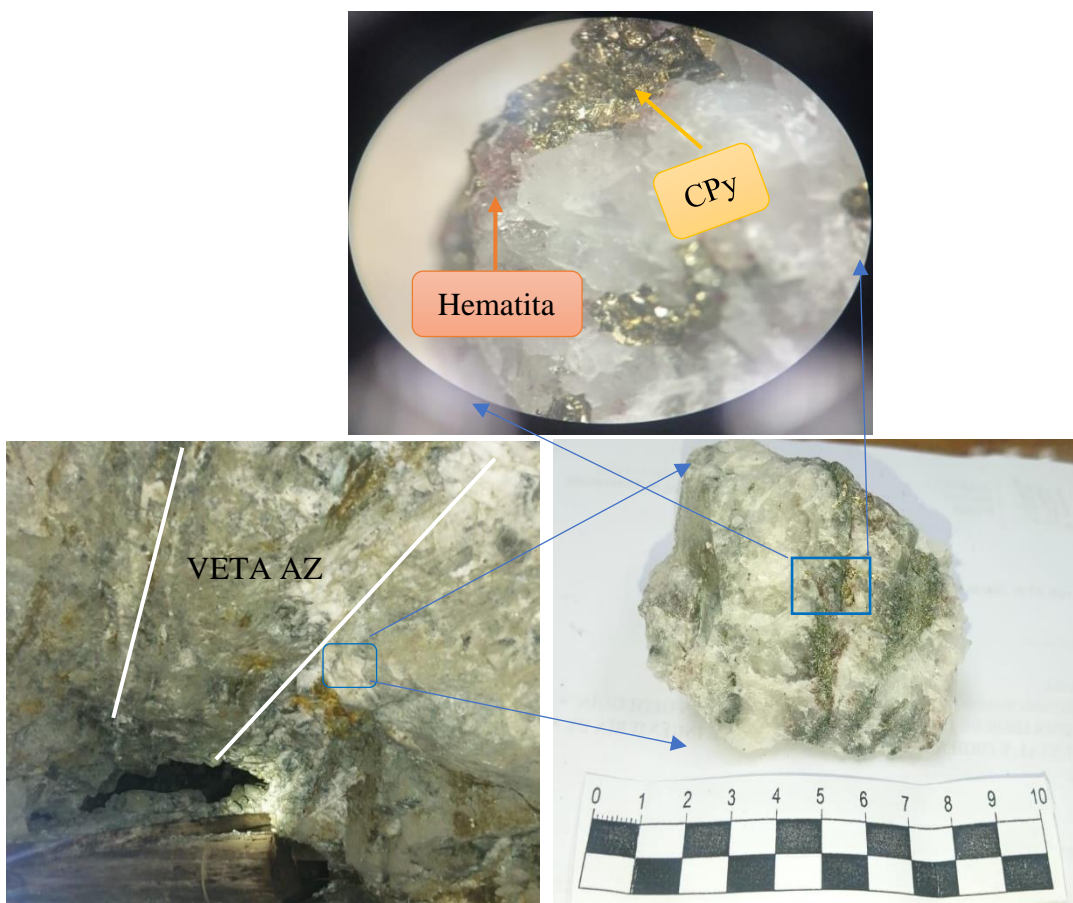
**Tabla 52.** Resultados de cada tramo con su tipo de roca y textura.

TRAMO	LONGITUD DEL TRAMO	MUESTRA	COORDENADAS DE LA MUESTRA		TIPO DE ROCA	TEXTURA
			X	Y		
(P1-P4)	102.4 m	M 001	X: 654879.1	Y: 9592878.8	Andesita	Fanerítica
(P4-P8)	68.4 m	M 002	X: 654830.09	Y: 9592907.34	Andesita	Afanítica
(P8-P13A)	182.33 m	M 003	X: 654713.07	Y: 9592936.47	Andesita	Porfídica
(P11-P66)	223.4 m	M 004	X: 654712.01	Y: 9593116.38	Andesita basáltica	Afanítica
(P66-P74)	101.2 m	M 005	X: 654663.08	Y: 9593148.57	Andesita	Porfídica
(P13A-P13B)	42.5 m	M 006	X: 654666.9	Y: 9592950.9	Andesita	Afanítica
(P13B-P17)	119.7 m	M 007	X: 654581.58	Y: 9592991.24	Andesita	Porfídica
(P17-P20)	94.6 m	M 008	X: 654551.21	Y: 9593003.44	Andesita basáltica	Afanítica
(P20-P22)	39.7 m	M 009	X: 654401.82	Y: 9593033.14	Andesita	Porfídica
(P22-P23)	23 m	M 010	X: 654394.72	Y: 9593034.91	Andesita basáltica	Porfídica
(P23-P25)	33.3 m	M 011	X: 654360.76	Y: 9593043.38	Andesita basáltica	Afanítica
(P34-P36)	59.95 m	M 012	X: 654353.35	Y: 9593191.36	Andesita	Porfídica
(P36-P38)	55 m	M 013	X: 654404.1	Y: 9593205.7	Andesita basáltica	Afanítica
(P38-P40)	43.9 m	M 014	X: 654448.94	Y: 9593217.88	Andesita	Porfídica

### 6.2.7. Caracterización geológica de las vetas de la galería

- **Veta Az**

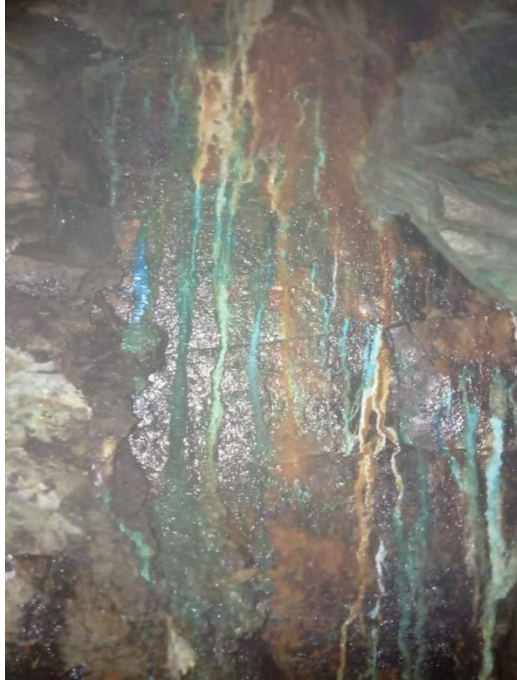
En el tramo P11 a 237 m de la bocamina, con coordenadas (654733.27; 9592931.50) encontramos la primera veta de interés por la empresa, con los siguientes datos estructurales: **Rumbo:** N14°W, **buzamiento:** 60°NE, **potencia:** 10 cm. Esta estructura presenta mineralización de cobre (CPy 3%), (Py 5%) con hematita y óxidos de hierro, según los análisis realizados en el laboratorio, esta rellena de cuarzo, incrustada en andesita basáltica y porfírica, la misma que presenta oxidaciones de minerales de hierro. **Ver fotografía 22.**



**Fotografía 22.** Identificación de veta con mineralización (tramo P11A5)

En este sector hay abundante presencia de agua como en el rebaje del punto P54, por ende se pudo observar la oxidación en este sector, así como presencia de cloritización de las plagioclasas, sobre una base andesítica basáltica. **Ver fotografía N°23.**





**Fotografía 23.** oxidación de la Py y CPy.

En el punto p65 se encuentra la misma veta de cuarzo con los siguientes datos estructurales: **Rumbo:** N21°W, **buzamiento:** 56° SE, **potencia:** 12 cm. Además, pude observar esta veta con presencia una textura Crustiforme, con alteración hidrotermal de la clorita. **Ver fotografía 24.**



**Fotografía 24.** veta Az en el punto P65 con textura de la mena tipo crustiforme.

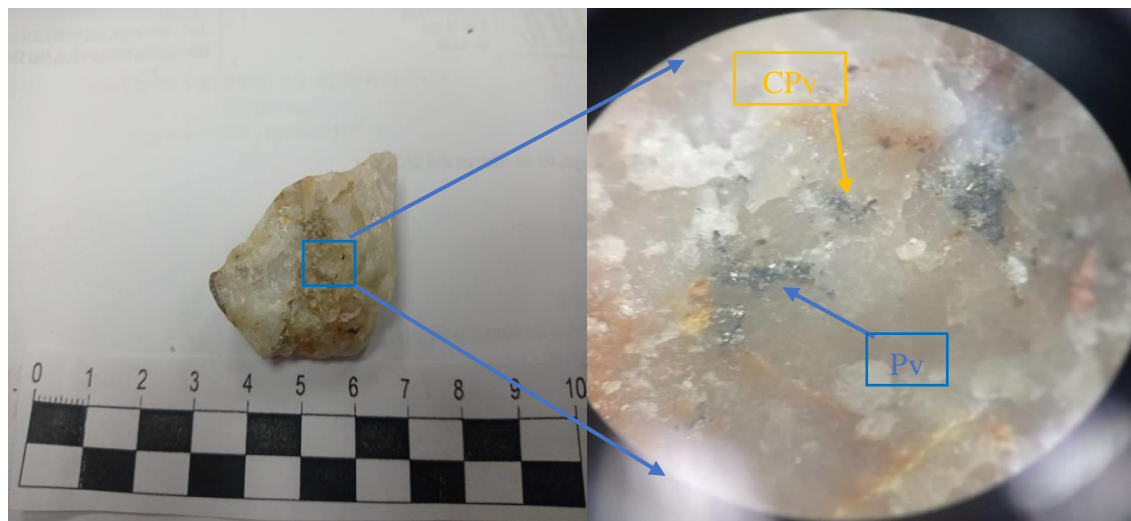
- **Veta F**

A 416 m de la bocamina en el punto P14F, se identificó una veta de cuarzo lechoso en las coordenadas (654614.64; 9592977.06) con los siguientes datos estructurales: **Rumbo:** N3°E, **buzamiento:** 69°NE, **potencia:** 22 cm, se pudo identificar una textura con bandeamiento de cuarzo y sulfuros de (Cpy 1.5%)-(Py 3%) presentando oxidación de limonita. **Ver fotografía 25**



**Fotografía 25.** Veta F con presencia de bandeamiento.

Esta veta presenta composición de sulfuros en pocas cantidades, la estructura de la veta en la línea principal se observó muy fracturada con presencia de cuarzo lechoso **ver fotografía 26**, con un tramo de 4 m después del punto P14F, esto debido a que esta veta pasa por procesos de alteración hidrotermal.



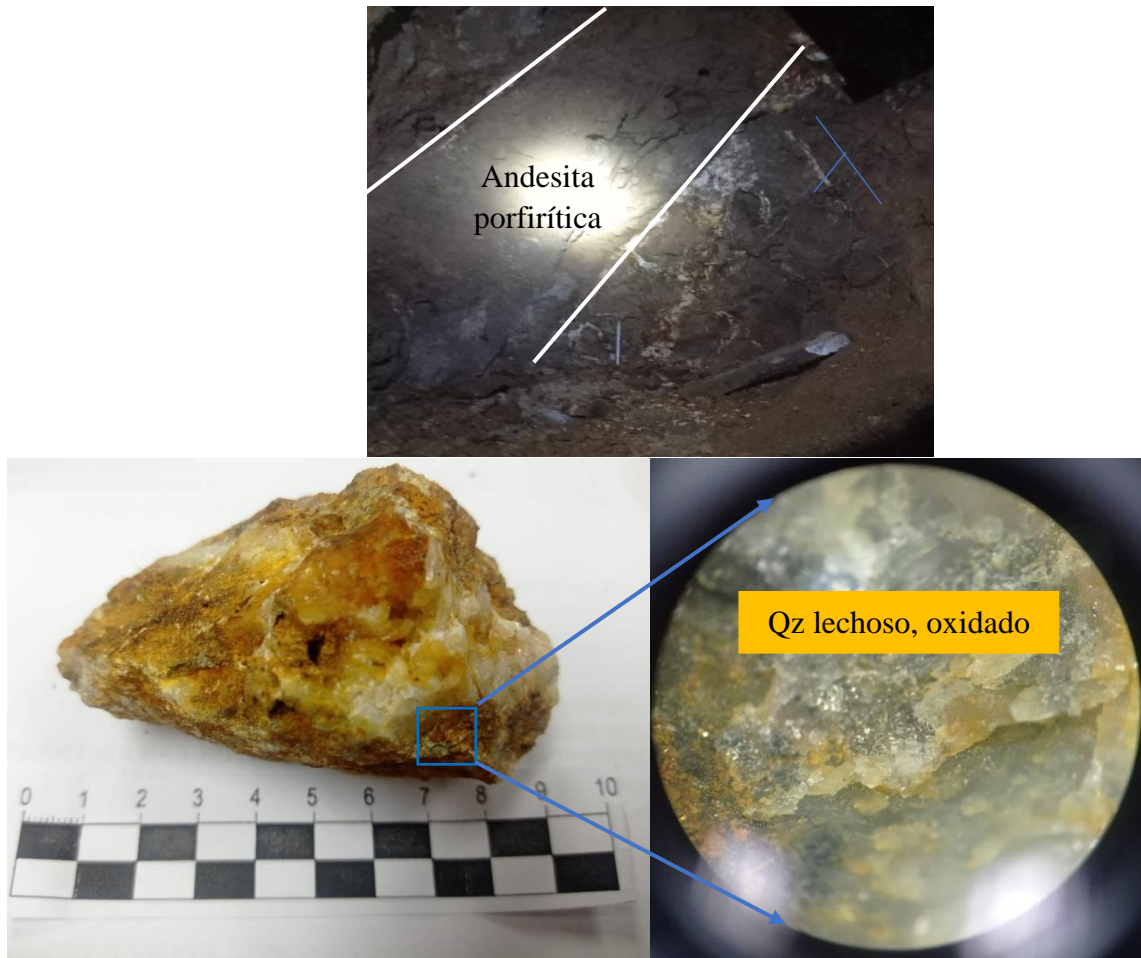
**Fotografía 26.** muestra de veta F, con presencia exigua de mineralización de Py – CPy y cuarzo lechoso.

Cabe recalcar que en esta veta hay trabajos en rebaje en busca de oro ya que cerca de la superficie se encontraron bloques o clavos de hasta 50 gr/ton.



- **Veta M**

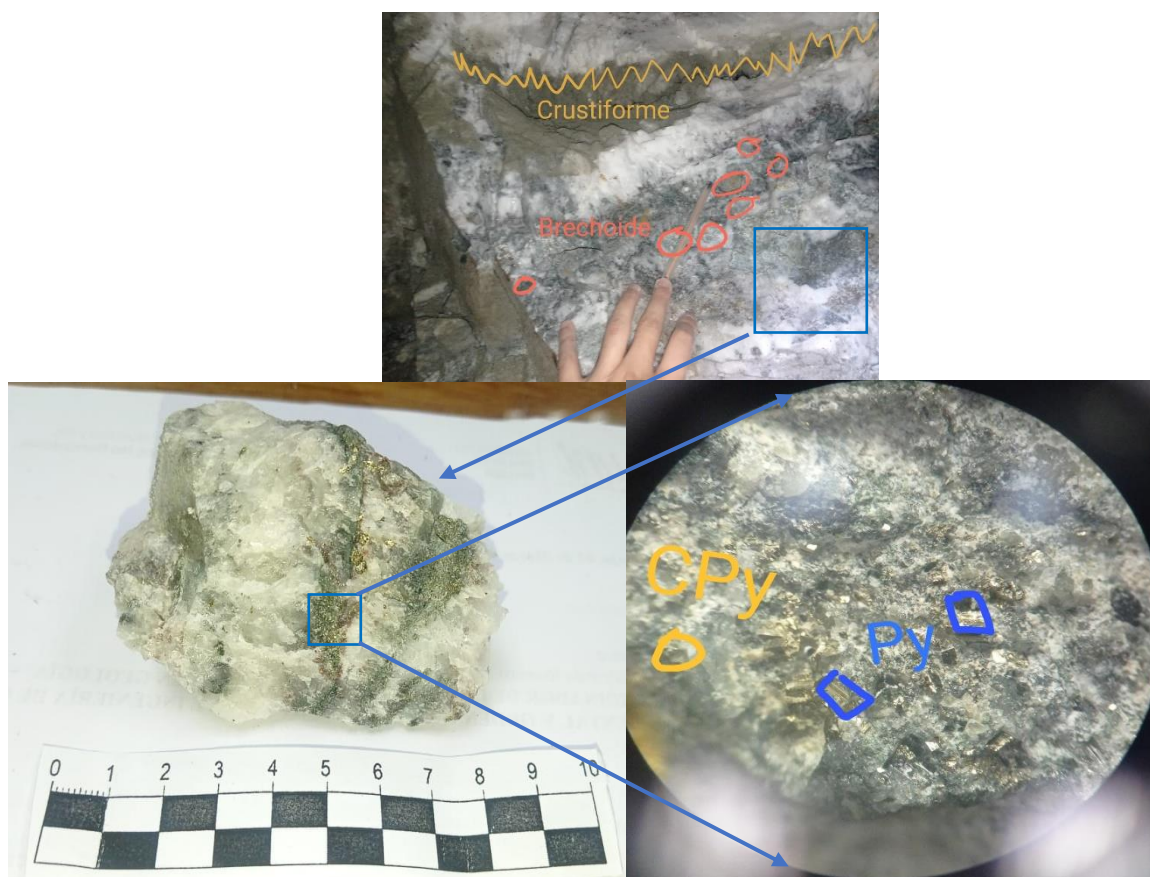
Esta veta se corta en 2 puntos en la línea principal de transporte, el principal que es el P14F con coordenadas (654603.83; 9592981.79) con los siguientes datos estructurales (**Rumbo:** N3°E; **Buzamiento:** 49° **Dir. Buz:** N76°E; Potencia: 7 cm) y en el tramo P74 de coordenadas (654599.82; 9593136.14) pasando por la veta Az con datos estructurales (**Rumbo:** N5°W; **Buzamiento:** 53° **Dir. Buz:** S86°E; Potencia: 11 cm). En el punto P14F se logra identificar una veta de cuarzo dañada por la falla que corta a la veta y la hace perder en la línea principal, consecuentemente a esto, por dicha falla toda esta zona desde la veta F a la veta M está con cuarzo amarillo y andesita porfirítica altamente fracturada, mientras que en el punto P74 hay una veta formada pero de igual manera es una veta lechosa, oxidada y muy pobre en material mineralizado (Cpy 0.5%) – (Py 2%). **Ver Fotografía 27.**



**Fotografía 27.** Veta M en el P74, puro cuarzo lechoso con mínima mineralización de Py.

- **Veta B**

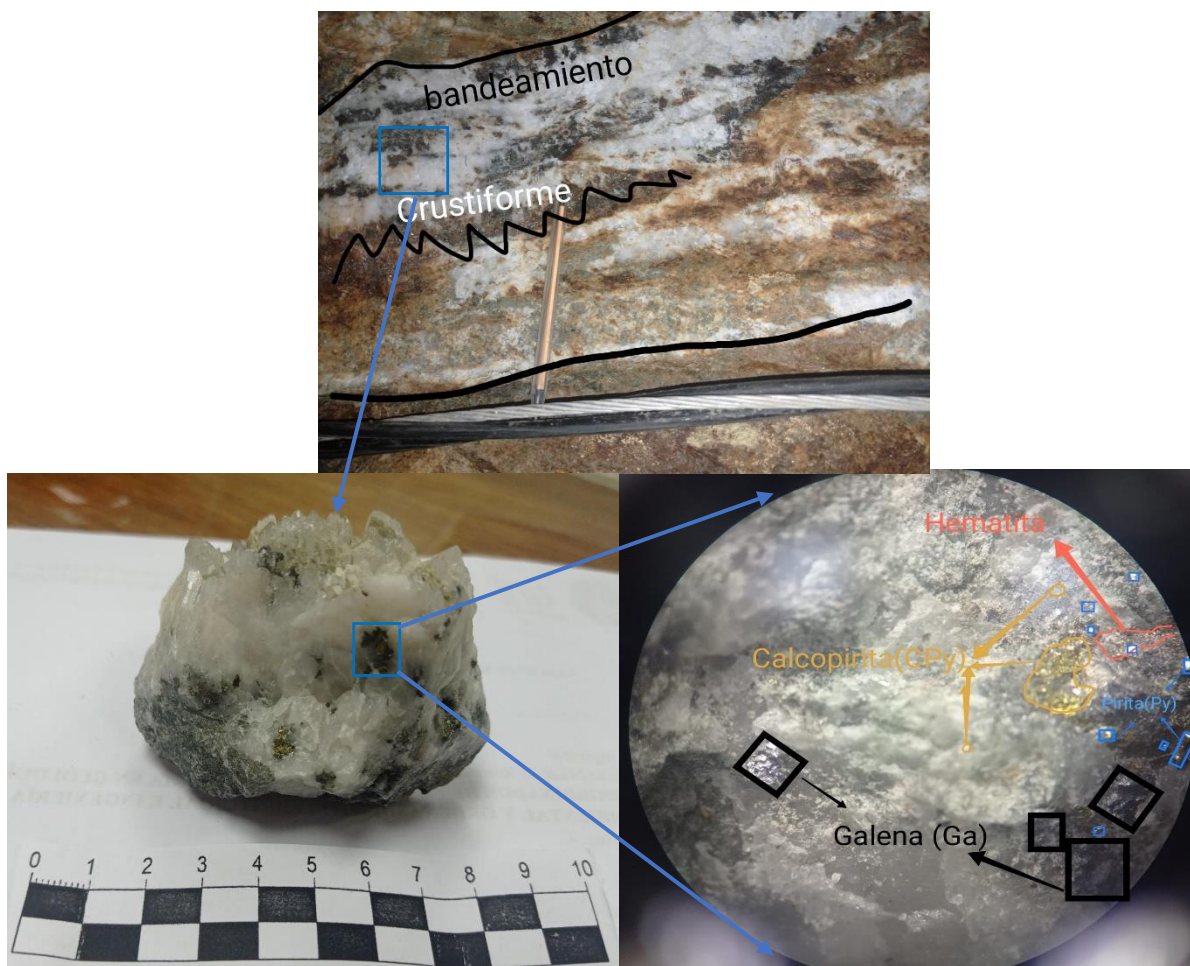
Esta veta se encuentra en el punto P25 con coordenadas (654337.67; 9593043.38) los datos estructurales son: (**Rumbo:** N23°E; **Buzamiento:** 49°; **Dir. Buzamiento:** S75°E) y una potencia de 5 cm en los sectores más pequeños, llegándose a ensanchar hasta 50 cm, así su potencia sea de 50 cm, la mineralización de esta veta es muy pobre, teniendo en mínimas cantidades (Py2%)- (CPy 0.5%) con presencia de hematita y óxidos de hierro, dichos sulfuros se presentan en sectores específicos. Esta veta presenta su estructura crustiforme y en partes de manera brechoide, su coloración es blanca-transparente y está ubicada al límite de la concesión miranda. **ver fotografía 28.**



**Fotografía 28.** Veta B en el punto P25 con estructura brechoide y crustiforme con mínima cantidad de Py-CPy.

- **Veta A**

Esta veta se encuentra en el punto P36 con coordenadas (654381.42; 9593199.41), los datos estructurales de dicha veta son (**Rumbo: N35°E; Buzamiento:44°; Dir. Buzamiento: S57°E**) con una potencia de 43 cm, esta estructura mineralizada se puede observar a simple vista gran cantidad de sulfuros como (Py 4%)-(CPy 2.5%)-(Ga 1%)-(Bo 0.5%)o, estos sulfuros son muy importante ya que bajo los análisis pertinentes se puede llegar a encontrar Au, ya que la Galena encapsula este material codiciado por los mineros, también se observó hematita y clorita como material de alteración, la estructura de la veta es crustiforme y su cuarzo tiene una tonalidad blanca, cabe recalcar que su estructura es bien definida tanto en su techo como piso, **ver fotografía 29.**

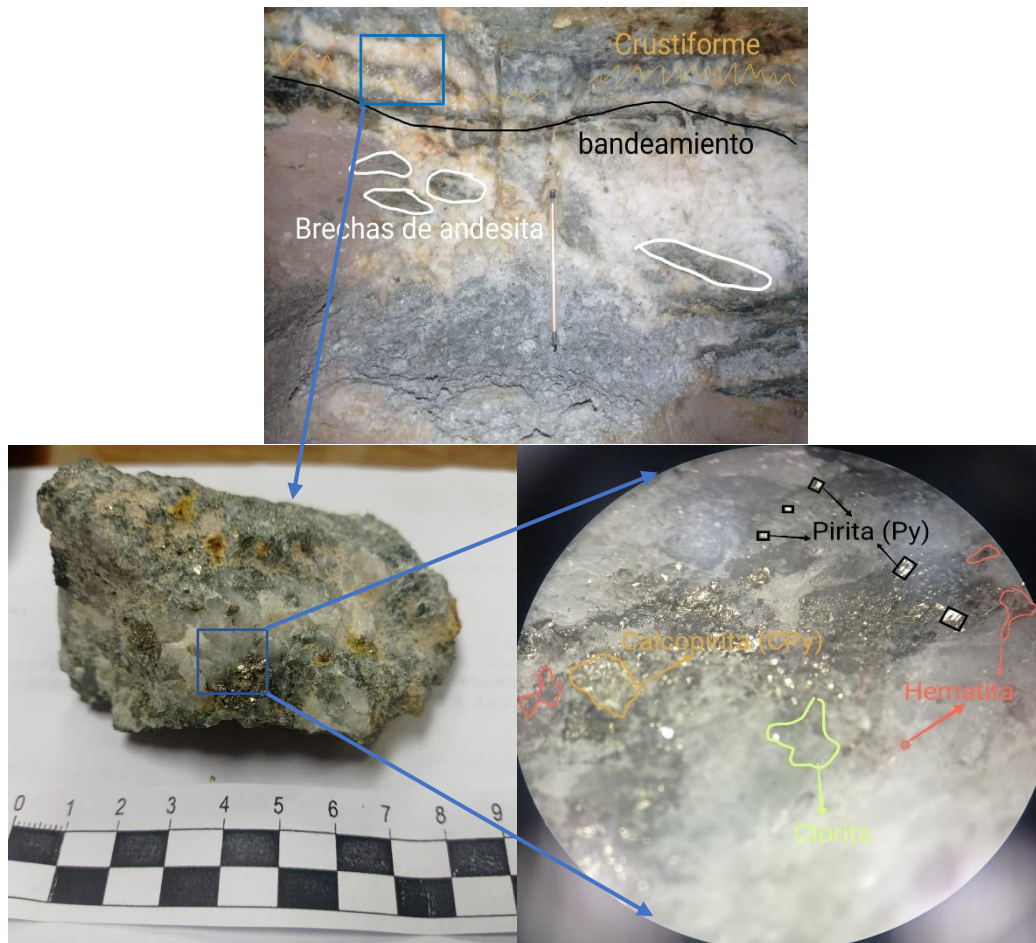


**Fotografía 29.** veta A en el punto P36 su estructura de veta es crustiforme y bandeada, con presencia de minerales (Py-CPy-Ga).



- **Veta E**

La veta E se encuentra en el punto P39, con coordenadas (654448.94; 9593217.88), los datos estructurales son (**Rumbo:** N3°E; **Buzamiento:**66°; **Dir. Buzamiento:** S88°E) con una potencia de 29 cm, gracias a otros trabajos antiguos más a la superficie, se conoce que tiene mineralización, aunque en pocas cantidades de Au-Pt-Cu. En esta estructura mineralizada se puede observar a simple vista sulfuros como (Py 1.5%)-(CPy 0.5%), también se observa hematita y clorita como material de alteración, en la roca caja se observa una andesita porfírica con tonalidad de verde claro, con presencia de anfíbol y piroxeno en mínimas cantidades. la estructura de la veta es crustiforme y brechoide, su cuarzo tiene una tonalidad blanca, cabe recalcar que su estructura es bien definida ya que su techo y piso de la veta son fácilmente visibles, **ver fotografía 30.**



**Fotografía 30.** Veta E en el punto P39 con textura brechoide-crustiforme y presencia mínima de mineralización.

### 6.3. Caracterización geotecnia de la galería principal de transporte.

Para la caracterización geotécnica de la galería principal de transporte de la mina Montesdeoca se realizó la clasificación geomecánica RMR de Bieniawski por cada cambio litológico que presenta dicha Galería. Se ubicó y recolectó 14 muestras en los 14 tramos que se delimitó la galería en base a sus características mineralógicas, **Ver tabla N°52**. apoyados con la piqueta y un taladro manual en ciertos lugares que el caso así amerita, cada muestra se codificó y georreferenció para finalmente ejecutar el ensayo de compresión simple y obtener la resistencia a la compresión (MPa). **Ver fotografía 33**. En igual forma se realizaron otros parámetros por cada tramo, que corresponden a la clasificación de Bieniawski (RQD-Discontinuidades-Persistencia-Abertura - Rugosidad – Relleno – Meteorización – Filtraciones – Dirección de las discontinuidades). Entre los que se cita:

#### 6.3.1. Resistencia a la compresión simple

Para la determinación de este parámetro se utilizó los equipos con que cuenta el laboratorio de la Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, de la Universidad Nacional de Loja. De la evaluación de los resultados a las muestras ensayadas se determina 3 rangos de valores, que fluctúan entre 27 y 132.39 Mpa. **Ver fotografía N° 31**; Se puede evidenciar que el 50% de la roca que caracteriza a la galería principal de transporte constituye una roca Dura conforme se observa en los resultados y en la gráfica de interpretación. **Ver tabla N°53 y Gráfico N° 1**.



**Fotografía 31.** Muestras de roca sometidas al ensayo de compresión simple.



UNL

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables

Tabla 53. Resultados de laboratorio del ensayo a la compresión simple.

COD. MUESTRA	Ancho (cm)	Largo (cm)	Alto (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Resistencia (MPa)	Valoración (RMR)	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	Fuerza (KN)	Carga (Kg)
M01	5.1	5	4.7	25.50	119.85	29.02	4	296.004	74	7548.10
M02	4.6	4.1	4.8	18.86	90.53	61.99	7	632.298	117.0	11925.14
M03	4.8	4.3	4.6	20.64	94.94	39	4	397.8	82.3	8210.59
M04	4.9	4.9	4.8	24.01	115.25	90.47	7	922.794	217.2	22156.28
M05	4.5	4.6	4.7	20.70	97.29	58.19	7	593.538	120.5	12286.24
M06	4.6	4.9	4.8	22.54	108.19	27	4	275.4	72.65	6207.52
M07	4.8	4.8	4.6	23.04	105.98	65.32	7	666.264	151.3	15350.72
M08	5.1	5.1	4.5	26.01	117.06	108.50	12	1106.7	392.2	28785.27
M09	4.2	4.8	4.6	20.16	92.74	132.39	12	1350.378	266.9	27223.62
M10	4.8	4.7	4.2	22.56	94.75	53.69	7	547.638	121.1	12354.71
M11	4.6	4.1	4.6	18.86	86.75	84.23	7	859.146	158.9	16203.49
M12	4.4	4.4	4.5	19.36	87.12	126.82	12	1293.564	245.5	25043.40
M13	4.5	4.5	4.5	20.25	91.13	40.76	4	548.352	95.45	11104.13
M14	4.8	4.9	4.5	23.52	105.84	87.17	7	889.134	205.1	20912.43

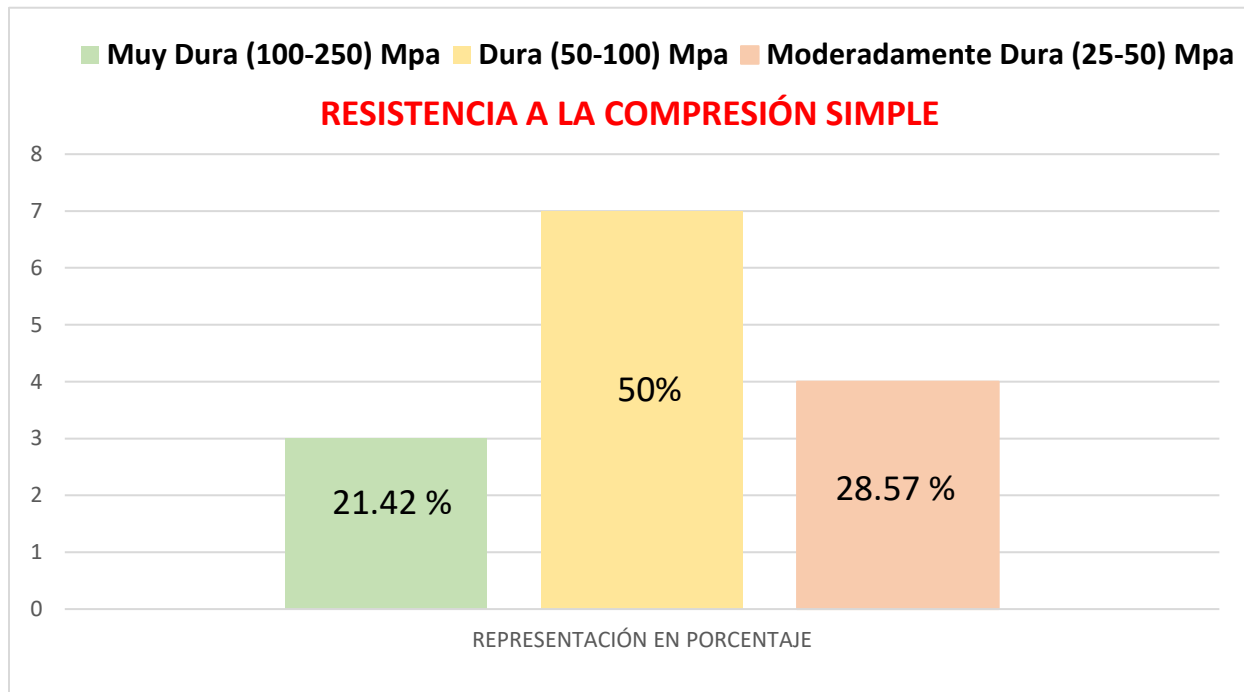


Gráfico N° 1. Gráfico del ensayo a la compresión simple con respecto a la tabla 53.

### Descripción de muestreo y ensayos realizados

La muestra M01 tomada a 25 m de la bocamina (tramo P1-P4), próxima a la falla normal; caracteriza como una roca tipo andesita de textura fanerítica, altamente meteorizada; su resistencia es de 29.02 MPa que corresponde a una roca moderadamente dura.





UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

La muestra M02 es una roca andesita de textura afanítica tomada a 130 m de la bocamina (tramo P4-P8) su resistencia es de 61.99 MPa, corresponde a una roca Dura, la rotura en el ensayo de compresión simple es a través de fracturas preexistentes con presencia de mineralización; pirita (3%) y calcopirita (0.5 %) adosada a una veta mineralizada con varias familias de discontinuidades.

La muestra M03 es una roca andesita de textura porfídica tomada a 200 m de la bocamina (tramo P8-P13A) su resistencia es de 39 MPa que corresponde a una roca Moderadamente Dura y la rotura en el ensayo de compresión simple es a través de fracturas preexistentes con presencia de pirita (2%), en esta zona predominan fracturas, varias familias de discontinuidades y hasta filtraciones de agua.

La muestra M04 es una roca andesita basáltica de textura afanítica a 420 m de la bocamina (tramo P11A1-P66) su resistencia es de 90.47 MPa, corresponde a una roca Dura, esta muestra se la tomó en un bypass, por lo cual su resistencia es alta y la rotura en el ensayo de compresión simple es a través de fracturas preexistentes con presencia de pirita (2.5%) y calcopirita (1%).

La muestra M05 es una roca andesita de textura fanerítica a 475 m de la bocamina (tramo P66-P74) su resistencia es de 58.10 MPa que corresponde a una roca Dura y la rotura en el ensayo de compresión simple es a través de fracturas preexistentes con presencia de pirita (3%).

La muestra M06 es una roca andesita basáltica de textura afanítica a 330 m de la bocamina (tramo P13A-P13B) su resistencia es de 27 MPa que corresponde a una roca moderadamente Dura, esta muestra es la de menor resistencia ya que se encuentra en una zona de fallamiento cerca a la veta A y la veta M.

La muestra M07 es una roca andesita de textura porfídica a 440 m de la bocamina (tramo P13B-P17) su resistencia es de 65.32 MPa que corresponde a una roca Dura, en este tramo existen fracturas en diversos puntos por consecuente fue necesario el sostenimiento de madera.

La muestra M08 es una roca andesita basáltica de textura afanítica a 500 m de la bocamina (tramo P17-P20) su resistencia es de 108.50 MPa que corresponde a una roca muy dura, este sector es muy peculiar en particular, existen varias familias de discontinuidades, pero ya que a su roca tiene buena resistencia, no hay peligro alguno de asentamiento.

La muestra M09 es una roca andesita de textura porfídica, a 580 m de la bocamina (tramo P20-P22) su resistencia es de 132.39 MPa que corresponde a una roca muy dura, esta roca es la de mayor resistencia en la galería es por esto que ningún sector presenta inconvenientes asentamiento



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

La muestra M10 es una roca andesita basáltica de textura porfídica a 600 m de la bocamina (tramo P22-P23) su resistencia es de 53.69 MPa y corresponde a una roca dura, la rotura en el ensayo de compresión simple es a través de fracturas preexistentes con presencia de pirita (2.5).

La muestra M11 es una roca andesita basáltica de textura afanítica a 650 m de la bocamina (tramo P23-P25) su resistencia es de 84.23 MPa que corresponde a una roca dura, este sector existe varias familias de discontinuidades, pero como la roca tiene una resistencia dura y competente, no fue necesario realizar el sostenimiento.

La muestra M12 es una roca andesita de textura porfídica a 810 m de la bocamina (tramo P34-P36) con resistencia de 126.28 MPa que corresponde a una roca muy dura, en este sector se tuvo complicaciones para sacar la muestra ya que el sector era demasiado resistente como para fracturarlo con la piqueta, entonces se procedió a utilizar un taladro para obtener la muestra para su posterior ensayo.

La muestra M13 es una roca andesita basáltica de textura afanítica a 850 m de la bocamina (tramo P36-P38) con una resistencia de 40.76 MPa que corresponde a una roca Moderadamente Dura, en este sector existen varias familias de discontinuidades, la rotura en el ensayo de compresión simple es a través de fracturas preexistentes con presencia de calcopirita (1%).

La última muestra M14 es una roca andesita de textura porfídica a 915 m de la bocamina (tramo P38-P40) con resistencia de 87.17 MPa que corresponde a una roca Dura, pero como existe la presencia de varias fallas con sus espejos de falla bien pronunciados, es necesario el sostenimiento de madera.

### **6.3.2. RQD (Rock Quality Designation)**

Para obtener el RQD se utilizó la ecuación de Palmstrom (1975), que señala:

$$\mathbf{RQD = 115 - (3,3) (Jv)}$$

**Jv:** Número total de discontinuidades por metro cúbico.

$$\mathbf{Jv: (Jvx)+(Jvy)+(Jvz)}$$

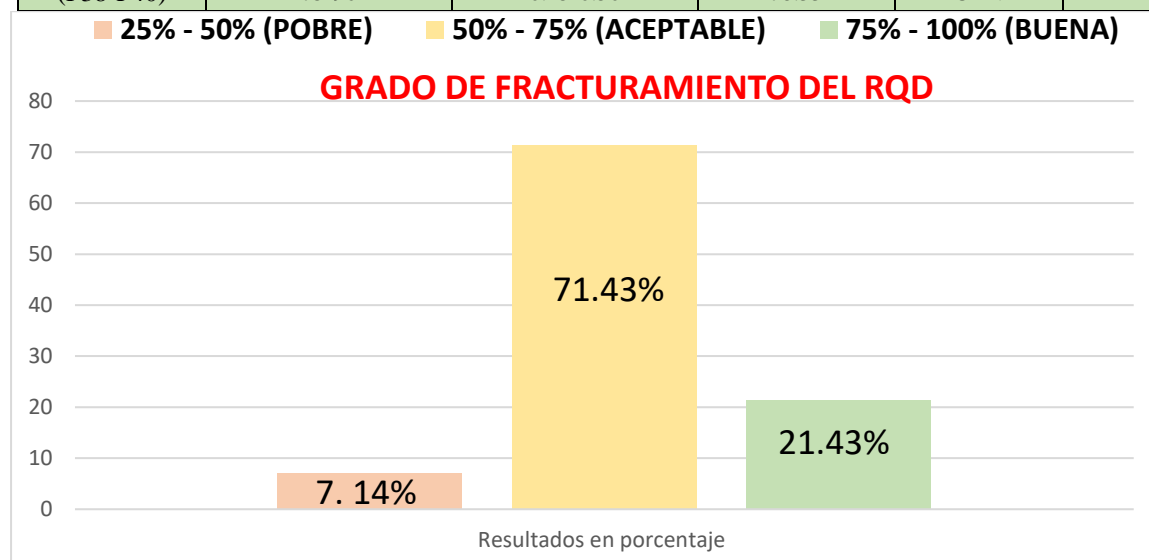
En base a esta fórmula se realizó el RQD por cada uno de los sectores, de la evaluación de los resultados se determina 3 rangos de valores que oscilan los 48.57 y 84.64 Jv correspondiente al número total de discontinuidades por metro cúbico, siendo el rango de 50%-75% el que predomina en la galería principal de transporte con 10 tramos (1-3-4-5-6-7-8-9-10-11), se trata de una roca aceptable con el **71.43 %** en este sector el espaciamiento de las discontinuidades varía entre los



0.15 y 0.25 m. En cambio, los segmentos que están en un rango del 75% a 100% es una roca buena con el **21.43%** y son 3 tramos (2-12-14) esto quiere decir que en estos segmentos el espaciamiento de las discontinuidades va desde los 0.25 hasta los 0.50 m por lo que esta distancia favorece el sostenimiento de dicho sector. Por último, el segmento 13 representa el **7.14%** siendo una roca pobre, en este tramo el espaciamiento de las discontinuidades es muy juntas entre 0.10 y 0.15 m, por lo que es más propensa a fracturarse y desmoronarse, como se observa en los resultados y en la gráfica de interpretación **tabla N°54 y en el gráfico de barras N°2.**

**Tabla 54. Resultados del RQD por cada tramo.**

TRAMO	Índice De Calidad RQD (%)	Espaciamiento de discontinuidades (m)	Jv en campo (%)	Calidad	Valoración (RMR)
(P1-P4)	50-75	0.15-0.25	74.14	ACEPTABLE	13
(P4-P8)	75-90	0.25-0.50	81.91	BUENA	17
(P8-P13A)	50-75	0.15-0.25	73.60	ACEPTABLE	13
(P11-P66)	50-75	0.15-0.25	72.56	ACEPTABLE	13
(P66-P74)	50-75	0.15-0.25	54.02	ACEPTABLE	13
(P13A-P13B)	50-75	0.15-0.25	62.13	ACEPTABLE	13
(P13B-P17)	50-75	0.15-0.25	72.56	ACEPTABLE	13
(P17-P20)	50-75	0.15-0.25	55.34	ACEPTABLE	13
(P20-P22)	50-75	0.15-0.25	69.20	ACEPTABLE	13
(P22-P23)	50-75	0.15-0.25	67.95	ACEPTABLE	13
(P23-P25)	50-75	0.15-0.25	60.35	ACEPTABLE	13
(P34-P36)	75-90	0.25-0.50	84.64	BUENA	17
(P36-P38)	25-50	0.10-0.15	48.57	MALA	8
(P38-P40)	75-90	0.25-0.50	78.33	BUENA	17



**Gráfico N° 2. Gráfico del grado de fracturamiento del RQD con respecto a la tabla 54.**

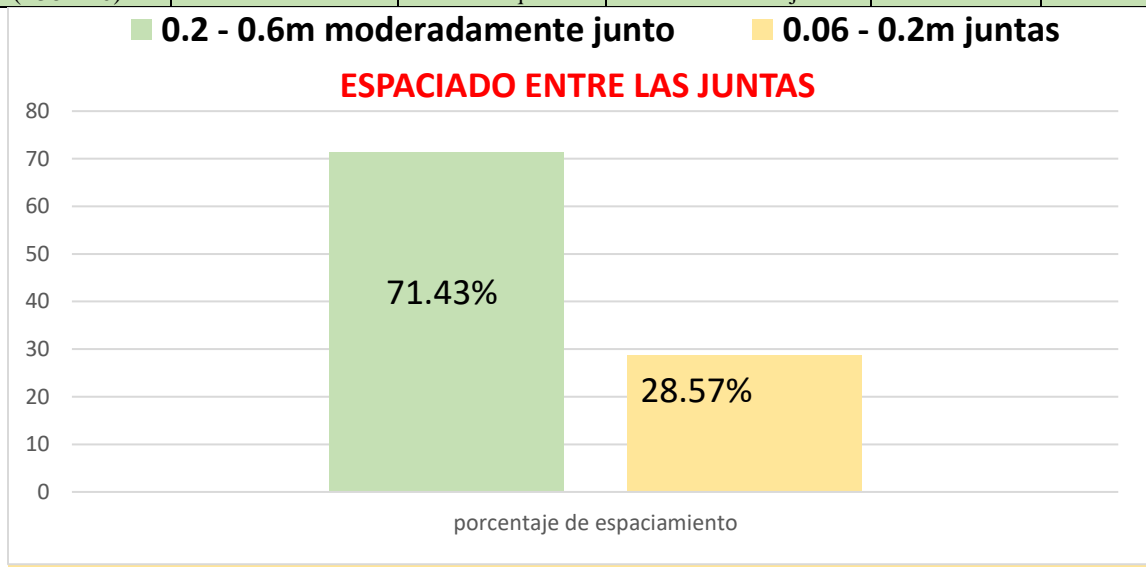


### 6.3.3. Espaciado de las discontinuidades.

Para la determinación de este parámetro se utilizó un flexómetro para medir el espaciado de las discontinuidades en metros, **En la tabla N°55 y gráfico de barras N°3** se observa el espaciado entre juntas por los rangos de longitud estandarizados. En base a las mediciones en campo, se tiene como resultado que el espaciado entre las juntas está distribuido de la siguiente forma: (10 tramos (2-4-5-7-8-9-10-11-12-14)) **71.43%** entre 0.2m – 0.6m moderadamente juntas y (4 tramos (1-3-6-13)) **28.57%** entre 0.2m – 0.06m corresponde a juntas; por lo tanto, se considera que la descripción del espaciado de las discontinuidades es moderadamente junta.

**Tabla 55.** Resultados de espaciado de las discontinuidades por cada tramo.

Tramo	Espaciado De Las Juntas (m)	Tipo de Macizo Rocoso	Descripción	Valor En Campo (m)	Valoración (RMR)
(P1-P4)	0.06 – 0.2	Fracturado	juntas	0.09	8
(P4-P8)	0.2 - 0.6	En bloques	Moderadamente juntas	0.34	10
(P8-P13A)	0.06 – 0.2	Fracturado	juntas	0.15	8
(P11-P66)	0.2 - 0.6	En bloques	Moderadamente juntas	0.31	10
(P66-P74)	0.2 - 0.6	En bloques	Moderadamente juntas	0.27	10
(P13A-P13B)	0.06 – 0.2	Fracturado	juntas	0.16	8
(P13B-P17)	0.2 - 0.6	En bloques	Moderadamente juntas	0.33	10
(P17-P20)	0.2 - 0.6	En bloques	Moderadamente juntas	0.42	10
(P20-P22)	0.2 - 0.6	En bloques	Moderadamente juntas	0.29	10
(P22-P23)	0.2 - 0.6	En bloques	Moderadamente juntas	0.41	10
(P23-P25)	0.2 - 0.6	En bloques	Moderadamente juntas	0.36	10
(P34-P36)	0.2 - 0.6	En bloques	Moderadamente juntas	0.45	10
(P36-P38)	0.06 – 0.2	Fracturado	juntas	0.17	8
(P38-P40)	0.2 - 0.6	En bloques	Moderadamente juntas	0.27	10



**Gráfico N° 3.** Espaciado entre las juntas con respecto a la tabla 55.



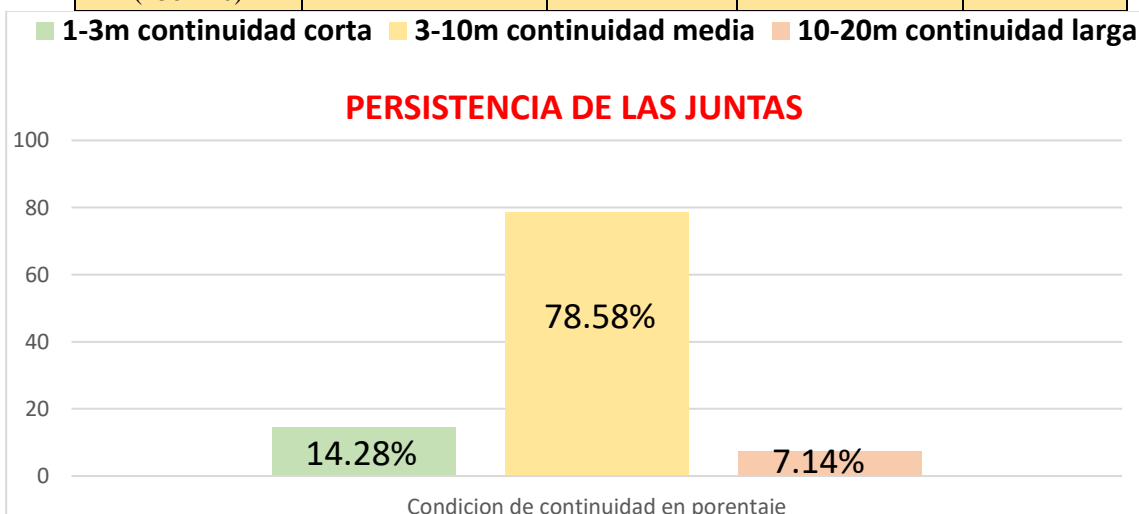
### 6.3.4. Condición de las juntas.

#### • Persistencia

En cuanto a la continuidad o persistencia de las discontinuidades, se registraron tres rangos de longitudes en las cuales se clasificaron las juntas: (2 tramos (11-12))14.28% entre 1 – 3m; (11 segmentos (1-2-3-4-5-6-7-9-10-14))78.58% entre 3 – 10 m; y solo el tramo 8 con (7.14 %) entre 10-20 m., de acuerdo a estos valores, se tiene que el macizo rocoso presenta una continuidad media, esto se visualiza en la **tabla N°56 y el gráfico de barras N°4.**

**Tabla 56. Resultados de la Persistencia de las juntas por cada tramo.**

Tramo	Persistencia de las Juntas (m)	Valor en Campo (m)	Descripción	Valoración (RMR)
(P1-P4)	3-10	4.2	Continuidad media	2
(P4-P8)	3-10	3.2	Continuidad media	2
(P8-P13A)	3-10	5	Continuidad media	2
(P11-P66)	3-10	7.2	Continuidad media	2
(P66-P74)	3-10	4.6	Continuidad media	2
(P13A-P13B)	3-10	3.5	Continuidad media	2
(P13B-P17)	3-10	7.4	Continuidad media	2
(P17-P20)	10-20	13	Continuidad larga	1
(P20-P22)	3-10	5.2	Continuidad media	2
(P22-P23)	3-10	4.5	Continuidad media	2
(P23-P25)	1-3	2.5	Continuidad corta	4
(P34-P36)	1-3	1.9	Continuidad corta	4
(P36-P38)	3-10	4	Continuidad media	2
(P38-P40)	3-10	5	Continuidad media	2



**Gráfico N° 4.** Persistencia de las juntas con respecto a la tabla 56.

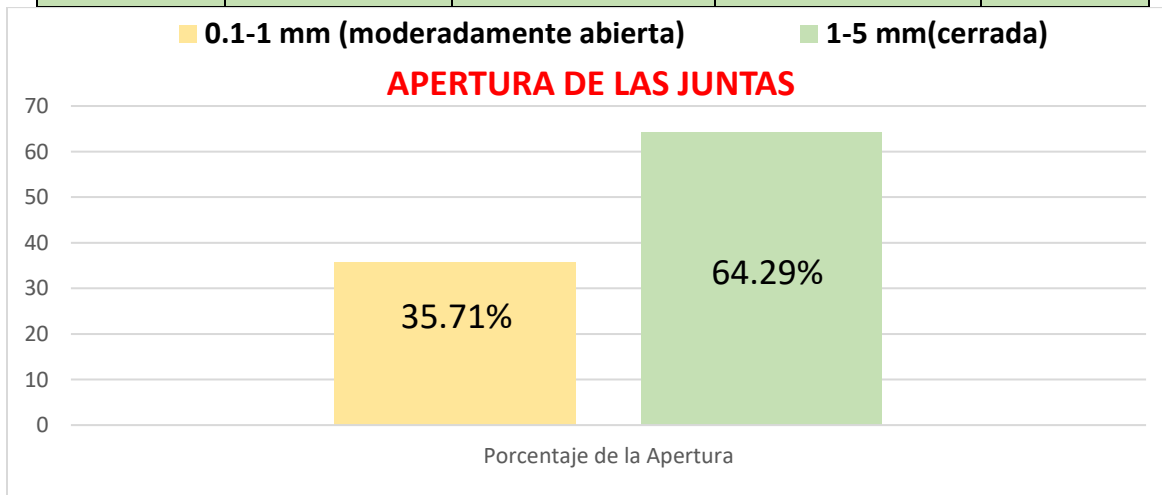


- **Apertura**

Estadísticamente las lecturas de apertura o abertura han dado el siguiente resultado: 64.29% (9 segmentos (2-3-4-5-7-9-10-12-14)) para valores entre 0.1-1 mm que corresponde a una apertura cerrada y el 35.71% (5 segmentos (1-6-8-11-13)) para el rango de 1 – 5 mm que corresponde a una apertura moderadamente abierta; por lo anterior, se declara que el macizo rocoso presenta una tendencia en las discontinuidades a tener una apertura cerrada, mientras que en 5 segmentos conforman aperturas de las discontinuidades moderadamente abiertas. evidenciado en la **tabla N°57** y en el **gráfico de barras N°5**.

**Tabla 57.** Resultados de la apertura de las juntas de cada tramo.

Tramo	Separación de Caras (mm)	Valor en Campo (mm)	Descripción	Valoración (RMR)
(P1-P4)	1 – 5	2	Moderadamente abierta	1
(P4-P8)	0.1 - 1	0.3	Cerrada	4
(P8-P13A)	0.1 - 1	0.2	Cerrada	4
(P11-P66)	0.1 - 1	0.6	Cerrada	4
(P66-P74)	0.1 - 1	0.5	Cerrada	4
(P13A-P13B)	1 – 5	4	Moderadamente abierta	1
(P13B-P17)	0.1 - 1	0.8	Cerrada	4
(P17-P20)	1 – 5	3	Moderadamente abierta	1
(P20-P22)	0.1 - 1	0.7	Cerrada	4
(P22-P23)	0.1 - 1	0.4	Cerrada	4
(P23-P25)	1 – 5	3	Moderadamente abierta	1
(P34-P36)	0.1 - 1	0.5	Cerrada	4
(P36-P38)	1 – 5	4	Moderadamente abierta	1
(P38-P40)	0.1 - 1	0.5	Cerrada	4



**Gráfico N° 5.** Gráfico de Apertura de las juntas.



- **Rugosidad**

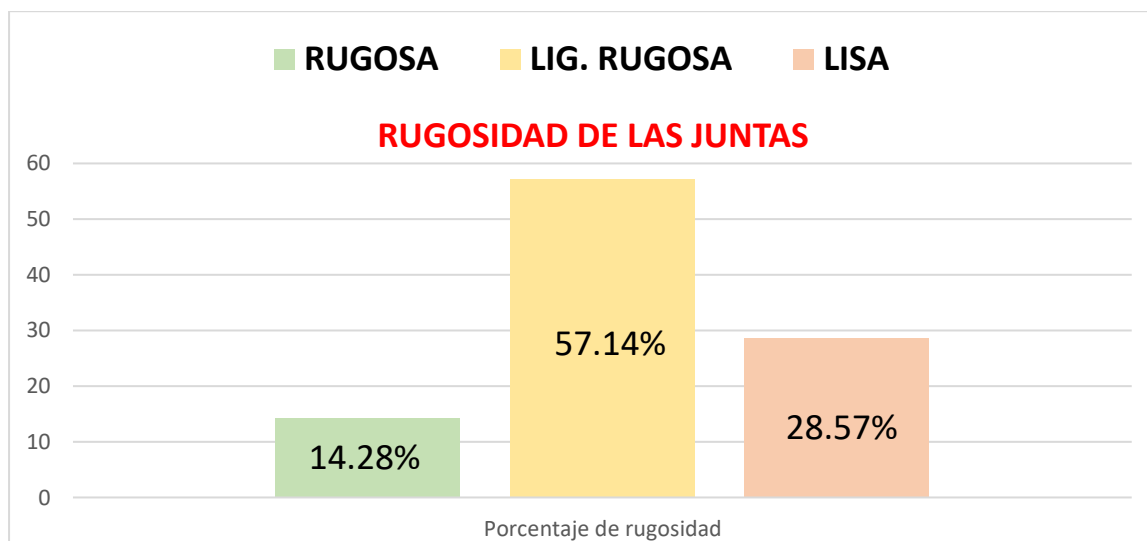
En la **Tabla N°58** y el **Gráfico de barras N°6** se pueden visualizar las diferentes descripciones de rugosidad de las paredes de las juntas, cabe recalcar que la rugosidad se determinó con la ayuda del peine de Barton facilitado por el laboratorio de la CIGAYOT de la Universidad **ver fotografía 32**, se consiguieron los siguientes datos: las paredes de las juntas es rugosa con el 14.28% (2 tramos (10-11)), lisa con el 28.57%(4 tramos (3-6-7-13)) y la que mayor porcentaje tiene es ligeramente rugosa con el 57.14%(8 tramos (1-2-4-5-8-9-12-14)).

**Tabla 58.** Resultados de la rugosidad de las discontinuidades por cada tramo.

Tramo	Descripción	Valoración (RMR)
(P1-P4)	Ligeramente rugosa	3
(P4-P8)	Ligeramente rugosa	3
(P8-P13A)	Lisa	1
(P11-P66)	Ligeramente rugosa	3
(P66-P74)	Ligeramente rugosa	3
(P13A-P13B)	Lisa	1
(P13B-P17)	Lisa	1
(P17-P20)	Ligeramente rugosa	3
(P20-P22)	Ligeramente rugosa	3
(P22-P23)	Rugosa	5
(P23-P25)	Rugosa	5
(P34-P36)	Ligeramente rugosa	3
(P36-P38)	Lisa	1
(P38-P40)	Ligeramente rugosa	3



**Fotografía 32.** Toma de la Rugosidad con el Peine de Bartom.



**Gráfico N° 6** Gráfico de la Rugosidad de las juntas.

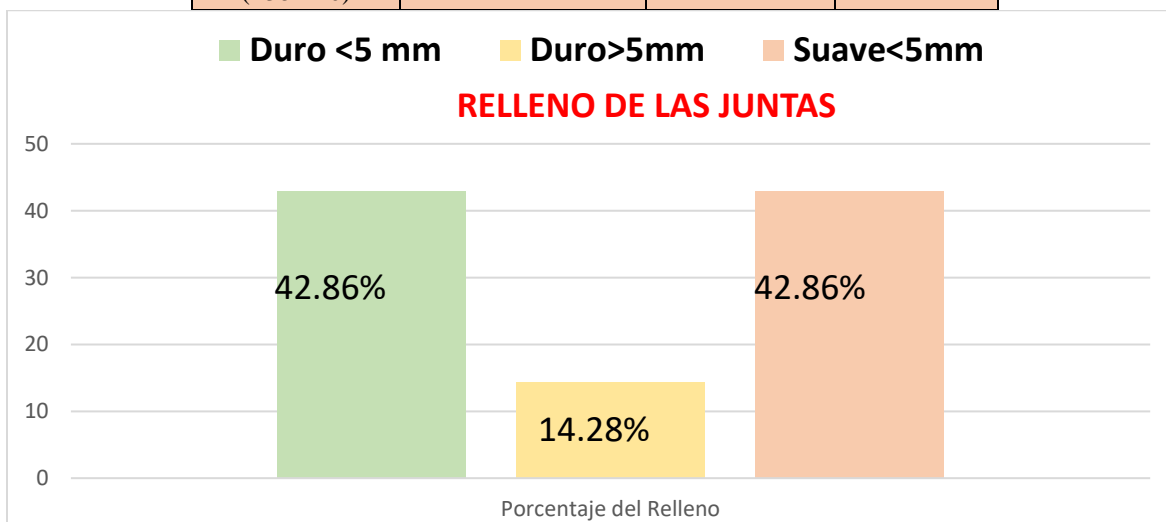


• **Relleno**

En la **Tabla N°59** y el **Gráfico de barras N°7**, se observa la tendencia de los datos tomados en campo, haciendo referencia al espesor del material alojado en la abertura de cada una de las discontinuidades. se puede apreciar que existen tres rangos predominantes: relleno duro < 5 mm con un 42.86% (6 tramos (4-8-9-10-11-12)), relleno duro > 5 mm con un 14.28% (2 tramos (1-7)) y relleno Suave < 5 mm con 42.86% (6 tramos (2-3-5-6-13-14)), lo cual corrobora las lecturas de abertura referenciadas anteriormente.

**Tabla 59.** Relleno de las juntas por cada tramo.

Tramo	Valor en Campo (mm)	Descripción	Valoración (RMR)
(P1-P4)	8	Duro > 5 mm	2
(P4-P8)	6	Suave < 5 mm	1
(P8-P13A)	7	Suave < 5 mm	1
(P11-P66)	3	Duro < 5 mm	4
(P66-P74)	6	Suave < 5 mm	1
(P13A-P13B)	9	Suave < 5 mm	1
(P13B-P17)	7	Duro > 5 mm	2
(P17-P20)	3	Duro < 5 mm	4
(P20-P22)	2	Duro < 5 mm	4
(P22-P23)	2	Duro < 5 mm	4
(P23-P25)	3	Duro < 5 mm	4
(P34-P36)	4	Duro < 5 mm	4
(P36-P38)	10	Suave < 5 mm	1
(P38-P40)	6	Suave < 5 mm	1



**Gráfico N° 7.** Gráfico del Relleno de las juntas.

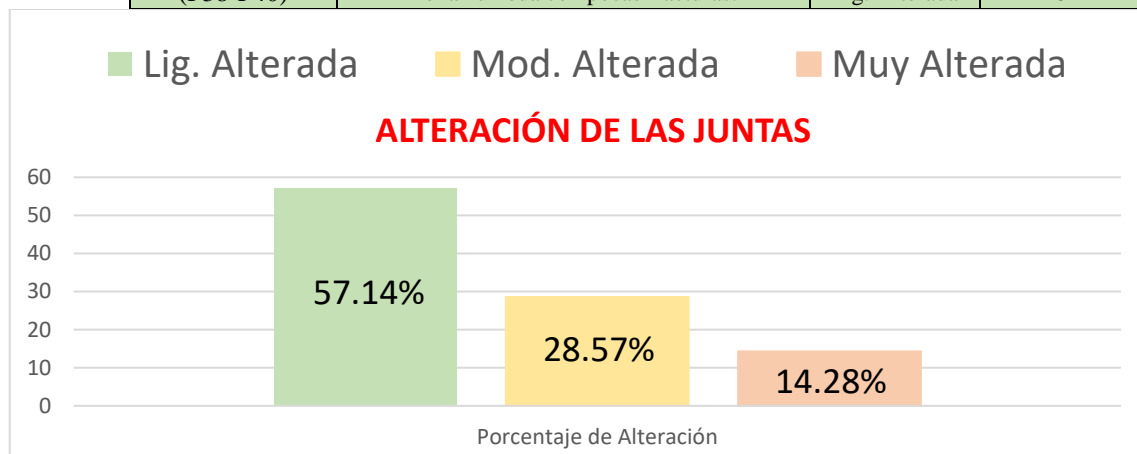


• **Alteración**

En la **tabla N° 60** y el **gráfico de barras N°8** se detalla que en la galería de estudio existen tres condiciones de meteorización de las cuales predomina la roca ligeramente Alterada con un 57.14% en 8 segmentos. La siguiente alteración es una roca moderadamente alterada que pertenece al 28.57% correspondiente de 4 sectores, y por último la roca se encuentra muy alterada con 14.28% correspondiente a 2 segmentos.

**Tabla 60.** Alteración de las juntas por cada tramo.

Tramo	Valor en Campo (Criterio Técnico)	Alteración	Valoración (RMR)
(P1-P4)	Roca muy alterada producto de falla, cerca de la superficie.	Muy Alterada	2
(P4-P8)	Zona de filtración de agua.	Mod. Alterada	3
(P8-P13A)	Tramo de Fracturas, vetillas y alteración Prop	Mod. Alterada	3
(P11-P66)	Zona de Bypass y vetillas	Lig. Alterada	5
(P66-P74)	Sector de fallas, fracturas y alteración Prop.	Mod. Alterada	3
(P13A-P13B)	Presencia de fallas, milonita, goteo.	Muy Alterada	2
(P13B-P17)	Zona húmeda, apariencia de fracturas.	Lig. Alterada	5
(P17-P20)	Zona seca, Mínimo fracturamiento.	Lig. Alterada	5
(P20-P22)	Zona húmeda, alteración Prop.	Lig. Alterada	5
(P22-P23)	Presencia de cloritización de plagioclasa.	Lig. Alterada	5
(P23-P25)	Zona seca, pocas fracturas.	Lig. Alterada	5
(P34-P36)	Zona Humeda, presencia de Fracturas	Lig. Alterada	5
(P36-P38)	Falla dominante, alteración Prop.	Mod. Alterada	3
(P38-P40)	Zona humeda con pocas fracturas.	Lig. Alterada	5



**Gráfico N° 8.** Gráfico de alteración de las juntas.

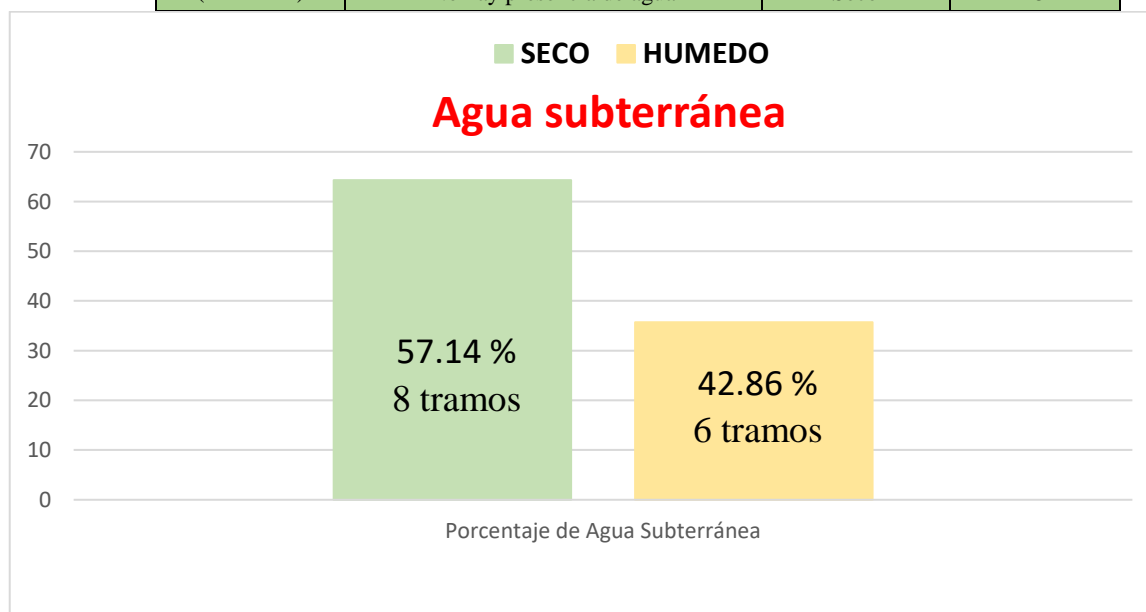


### 6.3.5. Agua subterránea.

La tendencia que hay en las discontinuidades en cuanto a filtraciones de agua se muestra en la **tabla N° 61** y el **gráfico de barras N°9**, el cual nos indica que en nuestra zona de estudio predomina los tramos secos con 8 tramos con el 57.14%, sin embargo, también existen 6 tramos húmedos con el 42.86%, el cual actúa de manera desfavorable en la valoración del macizo ROCOSO.

**Tabla 61.** Agua subterránea por cada tramo.

TRAMO	Valor en Campo (Criterio Técnico)	Agua Subterránea	Valoración (RMR)
(P1-P4)	Parcialmente húmedo en las fracturas	Húmedo	10
(P4-P8)	Parcialmente húmedo en las fracturas	Húmedo	10
(P8-P13A)	No hay presencia de agua	Seco	15
(P11-P66)	Parcialmente húmedo en las fracturas	Húmedo	10
(P66-P74)	Parcialmente húmedo en las fracturas	Húmedo	10
(P13A-P13B)	Parcialmente húmedo en las fracturas	Húmedo	10
(P13B-P17)	No hay presencia de agua	Seco	15
(P17-P20)	No hay presencia de agua	Seco	15
(P20-P22)	No hay presencia de agua	Seco	15
(P22-P23)	No hay presencia de agua	Seco	15
(P23-P25)	No hay presencia de agua	Seco	15
(P34-P36)	No hay presencia de agua	Seco	15
(P36-P38)	Parcialmente húmedo en las fracturas	Húmedo	10
(P38-P40)	No hay presencia de agua	Seco	15



**Gráfico N° 9.** Gráfico del agua subterránea.

### 6.3.6. Resultados e interpretación de la clasificación RMR de Bieniawski (1989)

**Tabla 62.** Resultados del RMR de Bieniawski tramo P1-P4.

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO Clasificación RMR de Bieniawski (1989) MUESTRA 1 TRAMO P1 – P4 (102.4 m)													
PARÁMETRO		RANGO DE VALORES Y VALORACIONES										VALORACIÓN	
RESIS. COMP. UNIAXIAL (MPa)		>250	15	100-250	12	50-100	7	25-50	4	<25	0	1	4
RQD %		90-100	20	75-90	17	50-75	13	25-50	8	<25	3	2	13
ESPACIAMIENTO(m)		>2	20	0.6-2	15	0.2-0.6	10	0.06-0.2	8	<0.06	5	3	8
CONDICIÓN DE JUNTAS	Persistencia	<1m	6	1-3m	4	3-10m	2	10-20m	1	>20m	0	4A	2
	Apertura	Cerrada	6	<0.1mm	5	0.1-1mm	4	1-5mm	1	>5mm	0	4B	1
	Rugosidad	Muy rugosa	6	rugosa	5	Lig. Rugosa	3	Lisa	1	Espejo de falla	0	4C	3
	Relleno	Limpia	6	Duro<5mm	4	Dura>5mm	2	Suave<5mm	1	Suave>5mm	0	4D	2
	Alteración	Sana	6	Lig. Alterada	5	Mod. alterada	3	Muy alterada	2	descompuesta	0	4E	2
Agua subterránea		Seco	15	húmedo	10	mojado	7	goteo	4	flujo	0	5	10
VALOR RMR (Suma de valoración 1 a 5) =												45	
CLASE DE MACIZO ROCOSO													
VALORACIÓN		100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20-0	45						
DESCRIPCIÓN		I Muy buena	II Buena	III Regular	IV Mala	V Muy mala	III REGULAR						

**Fuente:** Clasificación RMR BIENIAWSKI 1989.

El tramo P1 – P4 (102.4 m), en las coordenadas georreferenciadas y codificadas (654906.63; 9592806.94) y (654863.08; 9592894.76). caracteriza como una roca tipo andesita de textura fanerítica, el ensayo de compresión simple revelo un valor de 29.02 MPa siendo una roca moderadamente dura, el valor de RQD fue de 74.14% siendo un rango aceptable, el espaciamiento de las discontinuidades varía entre 0.06m a 0.2m lo cual es un rango de espaciamiento junto. Sin embargo, las condiciones de las juntas son un poco desfavorable, ya que, al estar cerca de la superficie, la roca se encuentra muy alterada por ende también existe la humedad en este tramo, inclusive en la superficie existe una quebrada que pasa perpendicular a este tramo.

La valoración total que determina el macizo rocoso es de 45 que caracteriza un macizo de calidad REGULAR de clase III, cabe reiterar que existe una falla normal que influye directamente en estos parámetros del RMR.

**Tabla 63. Resultados del RMR de Bieniawski tramo P4 - P8**

<b>VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO</b> <b>Clasificación RMR de Bieniawski (1989)</b> <b>MUESTRA 2</b> <b>TRAMO P4 – P8</b> <b>(68.40 m)</b>													
PARÁMETRO		RANGO DE VALORES Y VALORACIONES										VALORACIÓN	
RESIS. COMP. UNIAXIAL (MPa)		>250	15	100-250	12	50-100	7	25-50	4	<25	0	1	7
RQD %		90-100	20	75-90	17	50-75	13	25-50	8	<25	3	2	17
ESPACIAMIENTO(m)		>2	20	0.6-2	15	0.2-0.6	10	0.06-0.2	8	<0.06	5	3	10
CONDICIÓN DE JUNTAS	Persistencia	<1m	6	1-3m	4	3-10m	2	10-20m	1	>20m	0	4A	2
	Apertura	Cerrada	6	<0.1mm	5	0.1-1mm	4	1-5mm	1	>5mm	0	4B	4
	Rugosidad	Muy rugosa	6	rugosa	5	Lig. Rugosa	3	Lisa	1	Espejo de falla	0	4C	3
	Relleno	Limpia	6	Duro<5mm	4	Dura>5mm	2	Suave<5mm	1	Suave>5mm	0	4D	1
	Alteración	Sana	6	Lig. Alterada	5	Mod. alterada	3	Muy alterada	2	descompuesta	0	4E	3
Agua subterránea		Seco	15	húmedo	10	mojado	7	goteo	4	flujo	0	5	10
VALOR RMR (Suma de valoración 1 a 5) =												57	
<b>CLASE DE MACIZO ROCOSO</b>													
VALORACIÓN		100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20-0	57						
DESCRIPCIÓN		I Muy buena	II Buena	III Regular	IV Mala	V Muy mala	III REGULAR						



**Fuente:** Clasificación RMR BIENIAWSKI 1989.

Continuando por la galería principal desde el tramo P4 – P8(68.40m) en las coordenadas (654863.08; 9592894.76) y (654798.55; 9592915.78). Se identifica una roca andesita con textura afanítica, ya que sus minerales no se pueden ver a simple vista, presentando una coloración predominante gris claro un poco verdosa. El ensayo de compresión simple revelo un valor de 61.99 MPa siendo una roca dura, el valor de RQD fue de 81.91% estando en un rango considerado como bueno, el espaciamiento de las discontinuidades varía entre 0.2m a 0.6m lo cual es un rango de espaciamiento moderadamente juntas. Sin embargo, las condiciones de las juntas son un poco desfavorables ya que, al estar cerca de la superficie, la roca se encuentra moderadamente alterada y se encuentra húmeda en la mayoría del sector.

La valoración total es de 57 siendo un macizo rocoso de calidad regular clase III, cabe reiterar que existe una falla en el punto P8 en el cual hay sostenimiento de madera ya que la roca caja, está meteorizada, fracturada y alterada.



**Tabla 64.** Resultados del RMR de Bieniawski tramo P8 - P13A

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO Clasificación RMR de Bieniawski (1989) MUESTRA 3 TRAMO P8 – P13A (134.33 m)													
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORACIONES										VALORACIÓN		
RESIS. COMP. UNIAXIAL (MPa)	>250	15	100-250	12	50-100	7	25-50	4	<25	0	1	4	
RQD %	90-100	20	75-90	17	50-75	13	25-50	8	<25	3	2	13	
ESPACIAMIENTO(m)	>2	20	0.6-2	15	0.2-0.6	10	0.06-0.2	8	<0.06	5	3	8	
CONDICIÓN DE JUNTAS	Persistencia	<1m	6	1-3m	4	3-10m	2	10-20m	1	>20m	0	4A	2
	Apertura	Cerrada	6	<0.1mm	5	0.1-1mm	4	1-5mm	1	>5mm	0	4B	4
	Rugosidad	Muy rugosa	6	rugosa	5	Lig. Rugosa	3	Lisa	1	Espejo de falla	0	4C	1
	Relleno	Limpia	6	Duro<5mm	4	Dura>5mm	2	Suave<5mm	1	Suave>5mm	0	4D	1
	Alteración	Sana	6	Lig. Alterada	5	Mod. alterada	3	Muy alterada	2	descompuesta	0	4E	3
Agua subterránea	Seco	15	húmedo	10	mojado	7	goteo	4	flujo	0	5	15	
VALOR RMR (Suma de valoración 1 a 5) =												51	
<b>CLASE DE MACIZO ROCOSO</b>													
VALORACIÓN	100 - 81	80 - 61		60 - 41		40 - 21		20-0		51			
DESCRIPCIÓN	I Muy buena	II Buena		III Regular		IV Mala		V Muy mala		III REGULAR			

Fuente: Clasificación RMR BIENIAWSKI 1989.

Para el tramo P8 – P13A (134.33 m) en las coordenadas (654798.55; 9592915.78) y (654668.69; 9592950.03). Se identifica roca andesita con textura porfídica. El ensayo de compresión simple reveló un valor de 39 MPa siendo una roca moderadamente dura, el valor de RQD fue de 73.60% estando en un rango considerado como aceptable, el espaciamiento de las discontinuidades varía entre 0.06m a 0.2m lo cual es un rango de espaciamiento juntos. Sin embargo, las condiciones de las juntas son un poco desfavorables ya que, al estar cerca de la superficie, la roca se encuentra moderadamente alterada y la roca se encuentra seca en la mayoría del sector, teniendo en cuenta que su rugosidad es lisa, la valoración total es de 51 siendo un macizo rocoso calidad regular clase III, cabe reiterar que existe una falla en el punto P11 en el cual hay sostenimiento de madera ya que la roca caja, está meteorizada, fracturada y alterada, inclusive es evidente que el bloque superior está levantado.

**Tabla 65.** Resultados del RMR de Bieniawski tramo P11 - P66.

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO Clasificación RMR de Bieniawski (1989) MUESTRA 4 TRAMO P11 – P66 (223.4 m)													
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORACIONES										VALORACIÓN		
RESIS. COMP. UNIAXIAL (MPa)	>250	15	100-250	12	50-100	7	25-50	4	<25	0	1	7	
RQD %	90-100	20	75-90	17	50-75	13	25-50	8	<25	3	2	13	
ESPACIAMIENTO(m)	>2	20	0.6-2	15	0.2-0.6	10	0.06-0.2	8	<0.06	5	3	10	
CONDICIÓN DE JUNTAS	Persistencia	<1m	6	1-3m	4	3-10m	2	10-20m	1	>20m	0	4A	2
	Apertura	Cerrada	6	<0.1mm	5	0.1-1mm	4	1-5mm	1	>5mm	0	4B	4
	Rugosidad	Muy rugosa	6	rugosa	5	Lig. Rugosa	3	Lisa	1	Espejo de falla	0	4C	3
	Relleno	Limpia	6	Duro<5mm	4	Dura>5mm	2	Suave<5mm	1	Suave>5mm	0	4D	4
	Alteración	Sana	6	Lig. Alterada	5	Mod. alterada	3	Muy alterada	2	descompuesta	0	4E	5
Agua subterránea	Seco	15	húmedo	10	mojado	7	goteo	4	flujo	0	5	10	
VALOR RMR (Suma de valoración 1 a 5) =												58	
CLASE DE MACIZO ROCOSO													
VALORACIÓN	100 - 81		80 - 61		60 - 41		40 - 21		20-0			58	
DESCRIPCIÓN	I Muy buena		II Buena		III Regular		IV Mala		V Muy mala			III REGULAR	

**Fuente:** Clasificación RMR BIENIAWSKI 1989.

Del tramo P11 al P66(223.4 m) de coordenadas (654727.89; 9592957.70) y (654697.22; 9593146.27) existe una andesita basáltica de textura Afanítica ya que no se pueden observar los granos a simple vista, la roca tiene una coloración gris oscuro debido a su matriz oscura, el ensayo de compresión simple revelo un valor de 90.47 MPa siendo una roca dura, el valor de RQD fue de 72.56% estando en un rango aceptable, el espaciamiento de las discontinuidades varía entre 0.2m a 0.6m lo cual es un rango de espaciamiento moderadamente junto. Sin embargo, las condiciones de las juntas son un poco desfavorables ya que la roca se encuentra ligeramente alterada y la humedad es evidente en este tramo

La valoración total es de 58 siendo un macizo rocoso de calidad regular clase III, cabe recalcar que existe varias fallas que influye directamente en estos parámetros del RMR.

**Tabla 66. Resultados del RMR de Bieniawski tramo P66 - P74.**

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO Clasificación RMR de Bieniawski (1989) MUESTRA 5 TRAMO P66 – P74 (101.2 m)													
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORACIONES										VALORACIÓN		
RESIS. COMP. UNIAXIAL (MPa)	>250	15	100-250	12	50-100	7	25-50	4	<25	0	1	7	
RQD %	90-100	20	75-90	17	50-75	13	25-50	8	<25	3	2	13	
ESPACIAMIENTO(m)	>2	20	0.6-2	15	0.2-0.6	10	0.06-0.2	8	<0.06	5	3	10	
CONDICIÓN DE JUNTAS	Persistencia	<1m	6	1-3m	4	3-10m	2	10-20m	1	>20m	0	4A	2
	Apertura	Cerrada	6	<0.1mm	5	0.1-1mm	4	1-5mm	1	>5mm	0	4B	4
	Rugosidad	Muy rugosa	6	rugosa	5	Lig. Rugosa	3	Lisa	1	Espejo de falla	0	4C	3
	Relleno	Limpia	6	Duro<5mm	4	Dura>5mm	2	Suave<5mm	1	Suave>5mm	0	4D	1
	Alteración	Sana	6	Lig. Alterada	5	Mod. alterada	3	Muy alterada	2	descompuesta	0	4E	3
Agua subterránea	Seco	15	húmedo	10	mojado	7	goteo	4	flujo	0	5	10	
VALOR RMR (Suma de valoración 1 a 5) =												53	
CLASE DE MACIZO ROCOSO													
VALORACIÓN	100 - 81		80 - 61		60 - 41		40 - 21		20-0			53	
DESCRIPCIÓN	I Muy buena		II Buena		III Regular		IV Mala		V Muy mala			III REGULAR	

Fuente: Clasificación RMR BIENIAWSKI 1989.

Del tramo P66 al P74(101.2 m) de coordenadas (654697.22; 9593146.27) y (654606.18; 9593139.76) existe una andesita de textura Porfídica ya que se pueden observar la diferencia entre minerales a simple vista, el ensayo de compresión simple revelo un valor de 58.10 MPa siendo una roca dura, el valor de RQD fue de 54.02% estando en un rango aceptable, el espaciamiento de las discontinuidades varía entre 0.2m a 0.6m lo cual es un rango de espaciamiento moderadamente junto. Las condiciones de las juntas son un poco desfavorables ya que la roca se encuentra moderadamente alterada y este sector se encuentra húmedo, aunque en el P66 existe un goteo permanente.

La valoración total es de 53 siendo un macizo rocoso de calidad regular clase III, cabe recalcar que existen dos vetas que influye de manera peculiar en estos parámetros del RMR.

**Tabla 67. Resultados del RMR de Bieniawski tramo P13A - P13B**

<b>VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO</b> <b>Clasificación RMR de Bieniawski (1989)</b> <b>MUESTRA 6</b> <b>TRAMO P13A- P13B</b> <b>(42.5 m)</b>													
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORACIONES										VALORACIÓN		
RESIS. COMP. UNIAXIAL (MPa)	>250	15	100-250	12	50-100	7	25-50	4	<25	0	1	4	
RQD %	90-100	20	75-90	17	50-75	13	25-50	8	<25	3	2	8	
ESPACIAMIENTO(m)	>2	20	0.6-2	15	0.2-0.6	10	0.06-0.2	8	<0.06	5	3	8	
CONDICIÓN DE JUNTAS	Persistencia	<1m	6	1-3m	4	3-10m	2	10-20m	1	>20m	0	4A	2
	Apertura	Cerrada	6	<0.1mm	5	0.1-1mm	4	1-5mm	1	>5mm	0	4B	1
	Rugosidad	Muy rugosa	6	rugosa	5	Lig. Rugosa	3	Lisa	1	Espejo de falla	0	4C	1
	Relleno	Limpia	6	Duro<5mm	4	Dura>5mm	2	Suave<5mm	1	Suave>5mm	0	4D	1
	Alteración	Sana	6	Lig. Alterada	5	Mod. alterada	3	Muy alterada	2	descompuesta	0	4E	2
Agua subterránea	Seco	15	húmedo	10	mojado	7	goteo	4	flujo	0	5	10	
VALOR RMR (Suma de valoración 1 a 5) =											37		
<b>CLASE DE MACIZO ROCOSO</b>													
VALORACIÓN	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20-0							37	
DESCRIPCIÓN	Muy buena	Buena	Regular	IV Mala	V Muy mala							IV MALA	

Fuente: Clasificación RMR BIENIAWSKI 1989.

La muestra 6 comprende el tramo P13A – P13B (42.5 m), en las coordenadas (654668.69; 9592950.03) y (654640.09; 9592964.61). Se identificó roca andesita de textura afanítica, el ensayo de compresión simple revelo un valor de 27 MPa siendo una roca moderadamente dura, el valor de RQD fue de 42.13% estando en un rango pobre, el espaciamiento de las discontinuidades varía entre 0.06m a 0.2m lo cual es un rango de espaciamiento junto. Sin embargo, las condiciones de las juntas son desfavorables ya que este tramo es uno de los sectores donde predominan las fracturas por lo que esta sección tiene enmaderado, la roca se encuentra muy alterada y la humedad es evidente en este tramo, siendo su relleno suave y una rugosidad lisa.

La valoración total es de 37 siendo un macizo rocoso de Mala calidad clase IV, cabe recalcar que existen varias fallas que influye directamente en estos parámetros del RMR.

**Tabla 68. Resultados del RMR de Bieniawski tramo P13B - P17.**

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO													
Clasificación RMR de Bieniawski (1989)													
MUESTRA 7													
TRAMO P13B – P17													
(119.7 m)													
PARÁMETRO		RANGO DE VALORES Y VALORACIONES										VALORACIÓN	
RESIS. COMP. UNIAXIAL (MPa)	>250	15	100-250	12	50-100	7	25-50	4	<25	0	1	7	
RQD %	90-100	20	75-90	17	50-75	13	25-50	8	<25	3	2	13	
ESPACIAMIENTO(m)	>2	20	0.6-2	15	0.2-0.6	10	0.06-0.2	8	<0.06	5	3	10	
CONDICIÓN DE JUNTAS	Persistencia	<1m	6	1-3m	4	3-10m	2	10-20m	1	>20m	0	4A	2
	Apertura	Cerrada	6	<0.1mm	5	0.1-1mm	4	1-5mm	1	>5mm	0	4B	4
	Rugosidad	Muy rugosa	6	rugosa	5	Lig. Rugosa	3	Lisa	1	Espejo de falla	0	4C	1
	Relleno	Limpia	6	Duro<5mm	4	Dura>5mm	2	Suave<5mm	1	Suave>5mm	0	4D	2
	Alteración	Sana	6	Lig. Alterada	5	Mod. alterada	3	Muy alterada	2	descompuesta	0	4E	5
Agua subterránea	Seco	15	húmedo	10	mojado	7	goteo	4	flujo	0	5	15	
VALOR RMR (Suma de valoración 1 a 5) =												59	
CLASE DE MACIZO ROCOSO													
VALORACIÓN	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20-0	59							
DESCRIPCIÓN	Muy buena	Buena	Regular	V Mala	V Muy mala	III REGULAR							

Fuente: Clasificación RMR BIENIAWSKI 1989.

Del tramo P13B al P17(101.2 m) de coordenadas (654640.09; 9592964.61) y (654523.69; 9593022.01) existe una andesita de textura Porfídica ya que se pueden observar la irregularidad de los minerales a simple vista, el ensayo de compresión simple revelo un valor de 65.32 MPa siendo una roca dura, el valor de RQD fue de 72.56% estando en un rango aceptable, el espaciamiento de las discontinuidades varía entre 0.2m a 0.6m lo cual es un rango de espaciamiento moderadamente junto. Las condiciones de las juntas son regulares ya que la roca se encuentra ligeramente alterada y este sector se encuentra seco, teniendo en cuenta que en el punto P16 a P17(33.2 m) se encuentra el winche.

La valoración total es de 59 siendo un macizo rocoso de calidad regular clase III, cabe recalcar que existen estructuras geológicas que influyen directamente en estos parámetros del RMR.



**Tabla 69. Resultados del RMR de Bieniawski tramo P17 - P20.**

<b>VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO</b> <b>Clasificación RMR de Bieniawski (1989)</b> <b>MUESTRA 8</b> <b>TRAMO P17 – P20</b> <b>(94.6 m)</b>													
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORACIONES										VALORACIÓN N		
RESIS. COMP. UNIAXIAL (MPa)	>250	15	100-250	12	50-100	7	25-50	4	<25	0	1	12	
RQD %	90-100	20	75-90	17	50-75	13	25-50	8	<25	3	2	13	
ESPACIAMIENTO(m)	>2	20	0.6-2	15	0.2-0.6	10	0.06-0.2	8	<0.06	5	3	10	
CONDICIÓN DE JUNTAS	Persistencia	<1m	6	1-3m	4	3-10m	2	10-20m	1	>20m	0	4A	1
	Apertura	Cerrada	6	<0.1mm	5	0.1-1mm	4	1-5mm	1	>5mm	0	4B	1
	Rugosidad	Muy rugosa	6	rugosa	5	Lig. Rugosa	3	Lisa	1	Espejo de falla	0	4C	3
	Relleno	Limpia	6	Duro<5mm	4	Dura>5mm	2	Suave<5mm	1	Suave>5mm	0	4D	4
	Alteración	Sana	6	Lig. Alterada	5	Mod. alterada	3	Muy alterada	2	descompuesta	0	4E	5
Agua subterránea	Seco	15	húmedo	10	mojado	7	goteo	4	flujo	0	5	15	
VALOR RMR (Suma de valoración 1 a 5) =											64		
<b>CLASE DE MACIZO ROCOSO</b>													
VALORACIÓN	100 - 81	80 - 61		60 - 41		40 - 21		20-0		64			
DESCRIPCIÓN	I Muy buena	II Buena		III Regular		IV Mala		V Muy mala		II BUENA			

Fuente: Clasificación RMR BIENIAWSKI 1989.

Del tramo P17 al P20(94.6 m) de coordenadas (654523.69; 9593022.01) y (654434.23; 9593031.44) existe una andesita basáltica de textura afanítica de color gris oscuro, el ensayo de compresión simple revelo un valor de 108.5 MPa siendo una roca Muy dura, el valor de RQD fue de 55.34% estando en un rango aceptable, el espaciamiento de las discontinuidades varía entre 0.2m a 0.6m lo cual es un rango de espaciamiento moderadamente junto. Las condiciones de las juntas son un poco desfavorables ya que la roca se encuentra ligeramente alterada, y su rugosidad se encuentra ligeramente rugosa. Aunque todo este sector se encuentra seco, tiene mucha influencia para que la roca se encuentre en buena calidad.

La valoración es de 64 siendo un macizo de calidad buena clase II, también existe una falla en el techo de la galería que acompaña 20 m, pero no muestra problemas para realizar sostenimiento.



**Tabla 70. Resultados del RMR de Bieniawski tramo P20 - P22.**

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO Clasificación RMR de Bieniawski (1989) MUESTRA 9 TRAMO P20 – P22 (39.7 m)													
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORACIONES										VALORACIÓN		
RESIS. COMP. UNIAXIAL (MPa)	>250	15	100-250	12	50-100	7	25-50	4	<25	0	1	12	
RQD %	90-100	20	75-90	17	50-75	13	25-50	8	<25	3	2	13	
ESPACIAMIENTO(m)	>2	20	0.6-2	15	0.2-0.6	10	0.06-0.2	8	<0.06	5	3	10	
CONDICIÓN DE JUNTAS	Persistencia	<1m	6	1-3m	4	3-10m	2	10-20m	1	>20m	0	4A	2
	Apertura	Cerrada	6	<0.1mm	5	0.1-1mm	4	1-5mm	1	>5mm	0	4B	4
	Rugosidad	Muy rugosa	6	rugosa	5	Lig. Rugosa	3	Lisa	1	Espejo de falla	0	4C	3
	Relleno	Limpia	6	Duro<5mm	4	Dura>5mm	2	Suave<5mm	1	Suave>5mm	0	4D	4
	Alteración	Sana	6	Lig. Alterada	5	Mod. alterada	3	Muy alterada	2	descompuesta	0	4E	5
Agua subterránea	Seco	15	húmedo	10	mojado	7	goteo	4	flujo	0	5	15	
VALOR RMR (Suma de valoración 1 a 5) =												68	
<b>CLASE DE MACIZO ROCOSO</b>													
VALORACIÓN	100 - 81	80 - 61		60 - 41		40 - 21		20-0		68			
DESCRIPCIÓN	I Muy buena	II Buena		III Regular		IV Mala		V Muy mala		II BUENA			

Fuente: Clasificación RMR BIENIAWSKI 1989.

Del tramo P20 al P22(39.7 m) de coordenadas (655010; 9593329) y (654938; 9593326) existe una andesita de textura Porfídica en donde la presencia de fenocristales es abundante. El ensayo de compresión simple revelo un valor de 132.39 MPa siendo una roca muy dura, el valor de RQD fue de 69.20% estando en un rango aceptable, el espaciamiento de las discontinuidades varía entre 0.2m a 0.6m lo cual es un rango de espaciamiento moderadamente junto. Las condiciones de las juntas son regulares ya que la roca se encuentra ligeramente alterada, el sector se encuentra seco y se encuentra ligeramente rugoso.

La valoración total es de 63 siendo un macizo rocoso de calidad buena clase II, cabe recalcar que existen fracturas, pero no influyen mucho en estos parámetros del RMR.

**Tabla 71. Resultados del RMR de Bieniawski tramo P22 - P23.**

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO Clasificación RMR de Bieniawski (1989) MUESTRA 10 TRAMO P22 – P23 (23 m)													
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORACIONES										VALORACIÓN		
RESIS. COMP. UNIAXIAL (MPa)	>250	15	100-250	12	50-100	7	25-50	4	<25	0	1	7	
RQD %	90-100	20	75-90	17	50-75	13	25-50	8	<25	3	2	13	
ESPACIAMIENTO(m)	>2	20	0.6-2	15	0.2-0.6	10	0.06-0.2	8	<0.06	5	3	10	
CONDICIÓN DE JUNTAS	Persistencia	<1m	6	1-3m	4	3-10m	2	10-20m	1	>20m	0	4A	2
	Apertura	Cerrada	6	<0.1mm	5	0.1-1mm	4	1-5mm	1	>5mm	0	4B	4
	Rugosidad	Muy rugosa	6	rugosa	5	Lig. Rugosa	3	Lisa	1	Espejo de falla	0	4C	5
	Relleno	Limpia	6	Duro<5mm	4	Dura>5mm	2	Suave<5mm	1	Suave>5mm	0	4D	4
	Alteración	Sana	6	Lig. Alterada	5	Mod. alterada	3	Muy alterada	2	descompuesta	0	4E	5
Agua subterránea	Seco	15	húmedo	10	mojado	7	goteo	4	flujo	0	5	15	
VALOR RMR (Suma de valoración 1 a 5) =												65	
<b>CLASE DE MACIZO ROCOSO</b>													
VALORACIÓN	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20-0	65							
DESCRIPCIÓN	I Muy buena	II Buena	III Regular	IV Mala	V Muy mala	II BUENA							

Fuente: Clasificación RMR BIENIAWSKI 1989.

Del tramo P22 al P23(23 m) de coordenadas (654938; 9593326) hasta (654372.36; 9593040.49) existe una andesita basáltica de textura Porfídica ya que se pueden observar la diferencia entre minerales a simple vista, el ensayo de compresión simple revelo un valor de 53.69 MPa siendo una roca dura, el valor de RQD fue de 67,95% estando en un rango aceptable, el espaciamiento de las discontinuidades varía entre 0.2m a 0.6m lo cual es un rango de espaciamiento moderadamente junto. Las condiciones de las juntas son un poco desfavorables ya que la roca se encuentra ligeramente alterada y este sector se encuentra seco, lo bueno es que sus planos son rugosos.

La valoración total es de 65 siendo un macizo rocoso de calidad buena clase II, cabe recalcar que existen fracturas evidentes que influye de manera peculiar en estos parámetros del RMR.

**Tabla 72. Resultados del RMR de Bieniawski tramo P23 - P25.**

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO Clasificación RMR de Bieniawski (1989) MUESTRA 11 TRAMO P23 – P25 (33.5 m)													
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORACIONES										VALORACIÓN		
RESIS. COMP. UNIAXIAL (MPa)	>250	15	100-250	12	50-100	7	25-50	4	<25	0	1	7	
RQD %	90-100	20	75-90	17	50-75	13	25-50	8	<25	3	2	13	
ESPACIAMIENTO(m)	>2	20	0.6-2	15	0.2-0.6	10	0.06-0.2	8	<0.06	5	3	10	
CONDICIÓN DE JUNTAS	Persistencia	<1m	6	1-3m	4	3-10m	2	10-20m	1	>20m	0	4A	4
	Apertura	Cerrada	6	<0.1mm	5	0.1-1mm	4	1-5mm	1	>5mm	0	4B	1
	Rugosidad	Muy rugosa	6	rugosa	5	Lig. Rugosa	3	Lisa	1	Espejo de falla	0	4C	5
	Relleno	Limpia	6	Duro<5mm	4	Dura>5mm	2	Suave<5mm	1	Suave>5mm	0	4D	4
	Alteración	Sana	6	Lig. Alterada	5	Mod. alterada	3	Muy alterada	2	descompuesta	0	4E	5
Agua subterránea	Seco	15	húmedo	10	mojado	7	goteo	4	flujo	0	5	15	
VALOR RMR (Suma de valoración 1 a 5) =											64		
<b>CLASE DE MACIZO ROCOSO</b>													
VALORACIÓN	100 - 81	80 - 61		60 - 41		40 - 21		20-0		64			
DESCRIPCIÓN	Muy buena	Buena		Regular		V Mala		V Muy mala		II BUENA			

Fuente: Clasificación RMR BIENIAWSKI 1989.

Del tramo P23 al P25(33.5 m) de coordenadas (654372.36; 9593040.49) y (654337.67; 9593043.38) existe una andesita basáltica de textura afanítica de color gris oscuro verdoso, el ensayo de compresión simple revelo un valor de 84.23 MPa siendo una roca Dura, el valor de RQD fue de 60.35% estando en un rango aceptable, el espaciamiento de las discontinuidades varía entre 0.2m a 0.6m lo cual es un rango de espaciamiento moderadamente junto. Las condiciones de las juntas son un poco favorables ya que la roca se encuentra ligeramente alterada, el sector se encuentra rugoso y seco.

La valoración es de 64 siendo un macizo de calidad buena clase II. Aunque existen tres familias de discontinuidades aquí no hay necesidad alguna de realizar sostenimiento.

**Tabla 73. Resultados del RMR de Bieniawski tramo P34 - P36.**

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO Clasificación RMR de Bieniawski (1989) MUESTRA 12 TRAMO P34 – P36 (59.95 m)													
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORACIONES										VALORACIÓN		
RESIS. COMP. UNIAXIAL (MPa)	>250	15	100-250	12	50-100	7	25-50	4	<25	0	1	12	
RQD %	90-100	20	75-90	17	50-75	13	25-50	8	<25	3	2	17	
ESPACIAMIENTO(m)	>2	20	0.6-2	15	0.2-0.6	10	0.06-0.2	8	<0.06	5	3	10	
CONDICIÓN DE JUNTAS	Persistencia	<1m	6	1-3m	4	3-10m	2	10-20m	1	>20m	0	4A	4
	Apertura	Cerrada	6	<0.1mm	5	0.1-1mm	4	1-5mm	1	>5mm	0	4B	4
	Rugosidad	Muy rugosa	6	rugosa	5	Lig. Rugosa	3	Lisa	1	Espejo de falla	0	4C	3
	Relleno	Limpia	6	Duro<5mm	4	Dura>5mm	2	Suave<5mm	1	Suave>5mm	0	4D	4
	Alteración	Sana	6	Lig. Alterada	5	Mod. alterada	3	Muy alterada	2	descompuesta	0	4E	5
Agua subterránea	Seco	15	húmedo	10	mojado	7	goteo	4	flujo	0	5	15	
VALOR RMR (Suma de valoración 1 a 5) =											74		
CLASE DE MACIZO ROCOSO													
VALORACIÓN	100 - 81	80 - 61		60 - 41		40 - 21		20-0		74			
DESCRIPCIÓN	I Muy buena	II Buena		III Regular		IV Mala		V Muy mala		II BUENA			

Fuente: Clasificación RMR BIENIAWSKI 1989.

Del tramo P34 al P36(59.95 m) de coordenadas (6654322.63; 9593190.28) y (654381.42; 9593199.41) existe una andesita de textura porfídica de color gris verdoso claro, el ensayo de compresión simple revelo un valor de 126.82 MPa siendo una roca Muy Dura, el valor de RQD fue de 60.3584.64% estando en un rango bueno, el espaciamiento de las discontinuidades varía entre 0.2m a 0.6m lo cual es un rango de espaciamiento moderadamente junto. Las condiciones de las juntas son un poco favorables ya que la roca se encuentra ligeramente alterada, el sector se encuentra ligeramente rugoso y seco.

La valoración es de 74 siendo un macizo de calidad buena clase II. Aunque existen tres familias de discontinuidades aquí no hay necesidad alguna de realizar sostenimiento.



UNL

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables

**Tabla 74. Resultados del RMR de Bieniawski tramo P36 - P38.**

<b>VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO</b> <b>Clasificación RMR de Bieniawski (1989)</b> <b>MUESTRA 13</b> <b>TRAMO P36 – P38</b> <b>(55 m)</b>													
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORACIONES										VALORACIÓN		
RESIS. COMP. UNIAXIAL (MPa)	>250	15	100-250	12	50-100	7	25-50	4	<25	0	1	4	
RQD %	90-100	20	75-90	17	50-75	13	25-50	8	<25	3	2	8	
ESPACIAMIENTO(m)	>2	20	0.6-2	15	0.2-0.6	10	0.06-0.2	8	<0.06	5	3	8	
CONDICIÓN DE JUNTAS	Persistencia	<1m	6	1-3m	4	3-10m	2	10-20m	1	>20m	0	4A	2
	Apertura	Cerrada	6	<0.1mm	5	0.1-1mm	4	1-5mm	1	>5mm	0	4B	1
	Rugosidad	Muy rugosa	6	rugosa	5	Lig. Rugosa	3	Lisa	1	Espejo de falla	0	4C	1
	Relleno	Limpia	6	Duro<5mm	4	Dura>5mm	2	Suave<5mm	1	Suave>5mm	0	4D	1
	Alteración	Sana	6	Lig. Alterada	5	Mod. alterada	3	Muy alterada	2	descompuesta	0	4E	3
Agua subterránea	Seco	15	húmedo	10	mojado	7	goteo	4	flujo	0	5	10	
VALOR RMR (Suma de valoración 1 a 5) =												38	
<b>CLASE DE MACIZO ROCOSO</b>													
VALORACIÓN	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20-0							38	
DESCRIPCIÓN	I Muy buena	II Buena	III Regular	IV Mala	V Muy mala							IV MALA	

**Fuente:** Clasificación RMR BIENIAWSKI 1989.

El tramo P36 – P38 (55 m), en las coordenadas (654381.42; 9593199.41) y (654434.57; 9593213.76). Se identificó roca andesita basáltica de textura afanítica de color gris oscuro, el ensayo de compresión simple revelo un valor de 40.76 MPa siendo una roca moderadamente dura, el valor de RQD fue de 48.57% estando en un rango pobre, el espaciamiento de las discontinuidades varía entre 0.06m a 0.2m lo cual es un rango de espaciamiento junto. Sin embargo, las condiciones de las juntas son un poco desfavorables ya que este tramo es uno de los sectores donde predominan las fracturas, la roca se encuentra moderadamente alterada, con ciertos sectores húmedos, siendo su relleno suave <5mm y una rugosidad lisa.

La valoración total es de 38 siendo un macizo rocoso de Mala calidad clase IV, cabe recalcar que existen varias familias de discontinuidades que influyen directamente en estos parámetros del RMR.





UNL

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables

**Tabla 75. Resultados del RMR de Bieniawski tramo P38 - P40.**

<b>VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO</b> <b>Clasificación RMR de Bieniawski (1989)</b> <b>MUESTRA 14</b> <b>TRAMO P38 – P40</b> <b>(43.9 m)</b>													
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORACIONES										VALORACIÓN		
RESIS. COMP. UNIAXIAL (MPa)	>250	15	100-250	12	50-100	7	25-50	4	<25	0	1	7	
RQD %	90-100	20	75-90	17	50-75	13	25-50	8	<25	3	2	17	
ESPACIAMIENTO(m)	>2	20	0.6-2	15	0.2-0.6	10	0.06-0.2	8	<0.06	5	3	15	
CONDICIÓN DE JUNTAS	Persistencia	<1m	6	1-3m	4	3-10m	2	10-20m	1	>20m	0	4A	2
	Apertura	Cerrada	6	<0.1mm	5	0.1-1mm	4	1-5mm	1	>5mm	0	4B	4
	Rugosidad	Muy rugosa	6	rugosa	5	Lig. Rugosa	3	Lisa	1	Espejo de falla	0	4C	3
	Relleno	Limpia	6	Duro<5mm	4	Dura>5mm	2	Suave<5mm	1	Suave>5mm	0	4D	1
	Alteración	Sana	6	Lig. Alterada	5	Mod. alterada	3	Muy alterada	2	descompuesta	0	4E	5
Agua subterránea	Seco	15	húmedo	10	mojado	7	goteo	4	flujo	0	5	15	
VALOR RMR (Suma de valoración 1 a 5) = 69													
<b>CLASE DE MACIZO ROCOSO</b>													
VALORACIÓN	100 - 81	80 - 61		60 - 41		40 - 21		20-0		69			
DESCRIPCIÓN	I Muy buena	II Buena		III Regular		IV Mala		V Muy mala		II BUENA			

Fuente: Clasificación RMR BIENIAWSKI 1989.

Del tramo P38 al P40 (43.9 m) existe una andesita de textura Porfídica en donde la presencia de fenocristales es abundante dando así una tonalidad verde claro. El ensayo de compresión simple revelo un valor de 87.17 MPa siendo una roca Dura, el valor de RQD fue de 78.33% estando en un rango bueno, el espaciamiento de las discontinuidades varía entre 0.06m a 0.2m lo cual es un rango de espaciamiento junto. Las condiciones de las juntas son regulares ya que la roca se encuentra ligeramente alterada, el sector se encuentra seco y ligeramente rugoso.

La valoración total es de 69 siendo un macizo rocoso de calidad buena clase II, cabe recalcar que existen fracturas, pero no influyen mucho en estos parámetros del RMR.





UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

**Tabla 76.** Resultados del RMR de Bieniawski de todos los segmentos.

SEGMENTO N°(P-P)	Metros (m)	ROCA-TEXTURA	BIENIASWSKI	
			VALOR RMR	CLASE-TIPO
1(P1-P4)	102.4	Andesita-Fanerítica	45	III-REGULAR
2(P4-P8)	68.4	Andesita-Afanítica	57	III-REGULAR
3(P8-P13A)	182.33	Andesita-Porfídica	51	III-REGULAR
4(P11-P66)	223.4	Andesita basáltica-Afanítica	58	III-REGULAR
5(P66-P74)	101.2	Andesita-Porfídica	53	III-REGULAR
6(P13A-P13B)	42.5	Andesita-Afanítica	37	IV-MALA
7(P13B-P17)	119.7	Andesita-Porfídica	59	III-REGULAR
8(P17-P20)	94.6	Andesita basáltica-Afanítica	64	II-BUENA
9(P20-P22)	39.7	Andesita-Porfídica	68	II-BUENA
10(P22-P23)	23	Andesita basáltica-Porfídica	65	II-BUENA
11(P23-P25)	33.3	Andesita basáltica-Afanítica	64	II-BUENA
12(P34-P36)	59.95	Andesita-Porfídica	74	II-BUENA
13(P36-P38)	55	Andesita basáltica-Afanítica	38	IV-MALA
14(P38-P40)	43.9	Andesita-Porfídica	69	II-BUENA

De la evaluación de resultados de la **tabla N°76** se determinó 2 sectores de calidad **MALA** (6-13), de los cuales se hace exigible el sostenimiento o fortificación, del que recomienda Bieniawski aplicar hormigón lanzado con bulones de 1.5 m ya que la galería cuenta con dimensiones pequeñas o en su defecto con sostenimiento de cuadros de madera, si bien es cierto que en estos tramos si tiene sostenimiento de madera, es necesario analizar a cabalidad la opción de reforzar este sostenimiento, en lo posible ampliar el sostenimiento, para no tener mayores inconvenientes a futuro.

Mientras que 6 sectores de calidad **REGULAR** (1-2-3-4-5-7) y 6 sectores de calidad **BUENA** (8-9-10-11-12-14), en estos casos no es obligatorio el sostenimiento, esto se debe a una pequeña ventaja, ya que, a mayor profundidad, la roca se encuentra más competente y sana, sin embargo, de ello se deberá tomar en cuenta la presencia de estructuras mineralizadas asociadas con lineamientos o fallamientos que exigirían medidas de sostenimiento de requerirse. **Ver Anexo N°12.**



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

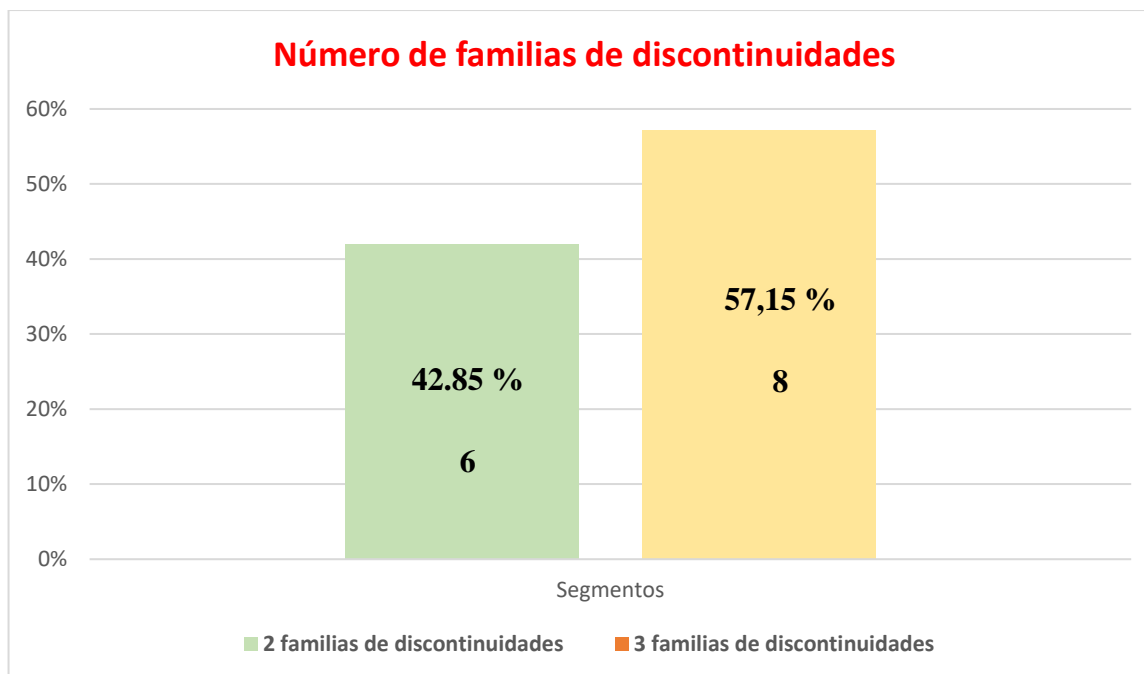
### 6.3.7. Evaluación de los parámetros según Barton, Lunden y Cruden.

- **RQD (Rock Quality Design)**

Como se menciona en la clasificación anterior, lo que predomina con el 71.43% son valores de RQD de 50% a 75%, se trata de una roca aceptable. El 21.43% representa rangos del 75% a 100% siendo una roca buena.

- **Número de familia de juntas o discontinuidades**

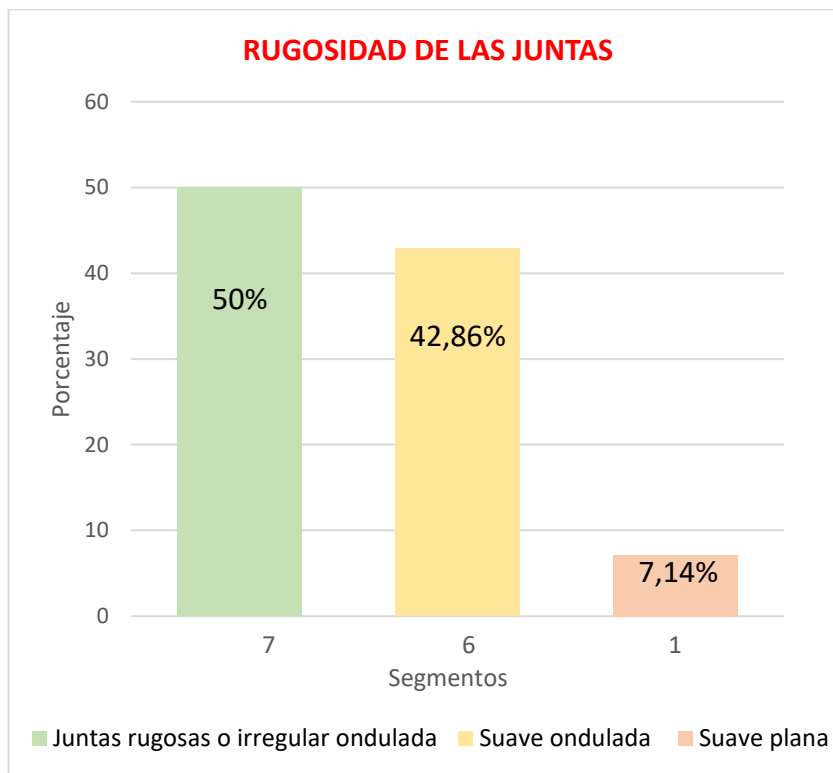
En el **gráfico de barras N°10**, se observa que en la galería de estudio se presenta dos familias de discontinuidades con el 42.85% y el 57.15% restante presenta tres familias de juntas por lo cual este factor es favorable ya que al existir solo dos familias de discontinuidades no existe riesgo de desprendimiento o deslizamiento del macizo rocoso.



**Gráfico N° 10.** Número de familia de juntas o discontinuidades.

- **Rugosidad de las juntas**

En el **gráfico de barras N°11**, se detalla que en la galería de estudio existen tres índices de rugosidad, predominando las juntas rugosas o irregular ondulada con un 50% la siguiente es la suave ondulada con 42.86% y por último la rugosidad de las juntas es suave plana con 7.14%.



**Gráfico N° 11.** *Rugosidad de las juntas.*

- **Grado de alteración de las juntas**

En el **gráfico de barras N°12**, se detalla que en la galería de estudio existen cuatro índices de alteración de las juntas. En un mayor porcentaje se tiene el 64,29%, donde las caras de la junta están ligeramente alteradas y contienen minerales no blandos, seguida del 21,43% donde las caras de las juntas están únicamente manchadas. Finalmente, en un 7,14% se da el recubrimiento de minerales arcillosos blandos o de baja fricción, los recubrimientos son discontinuos con espesores máximos de 1 o 2mm. Así mismo, en un 7,14% se tiene recubrimiento de limo o arena arcillosa, pequeña fricción arcillosa no reblandecible.

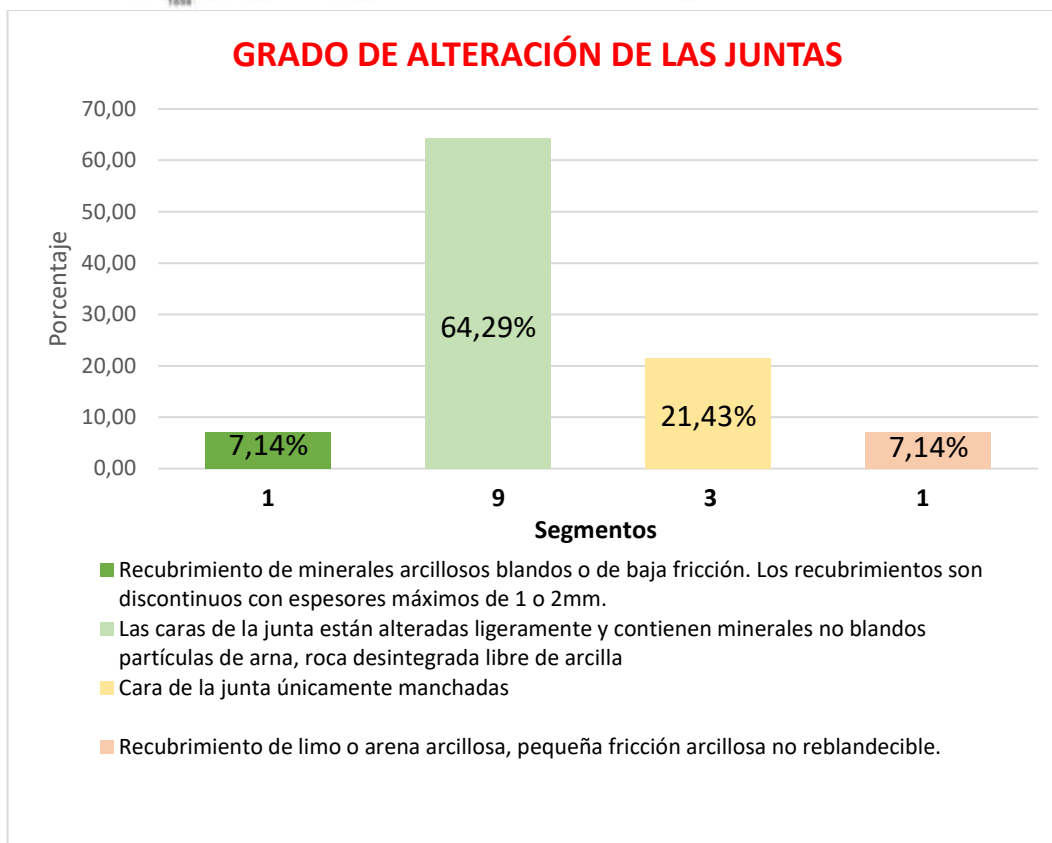


Gráfico N° 12. Grado de alteración de las juntas.

- **Presencia de agua**

En el **gráfico de barras N°13**, como se denota en la gráfica el 100% corresponde a excavaciones secas o de influencia poco importante donde la presión del agua es  $<1 \text{ Kg/cm}^2$ .

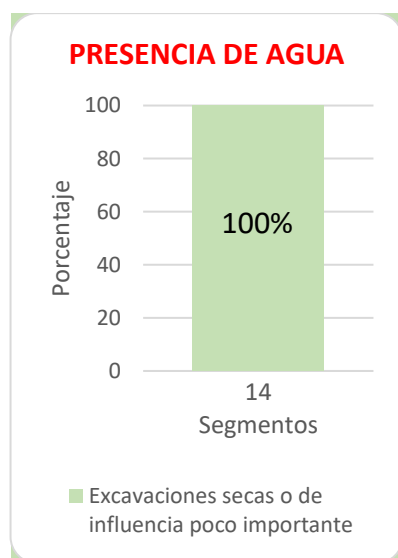


Gráfico N° 13. Presencia de agua.



UNL

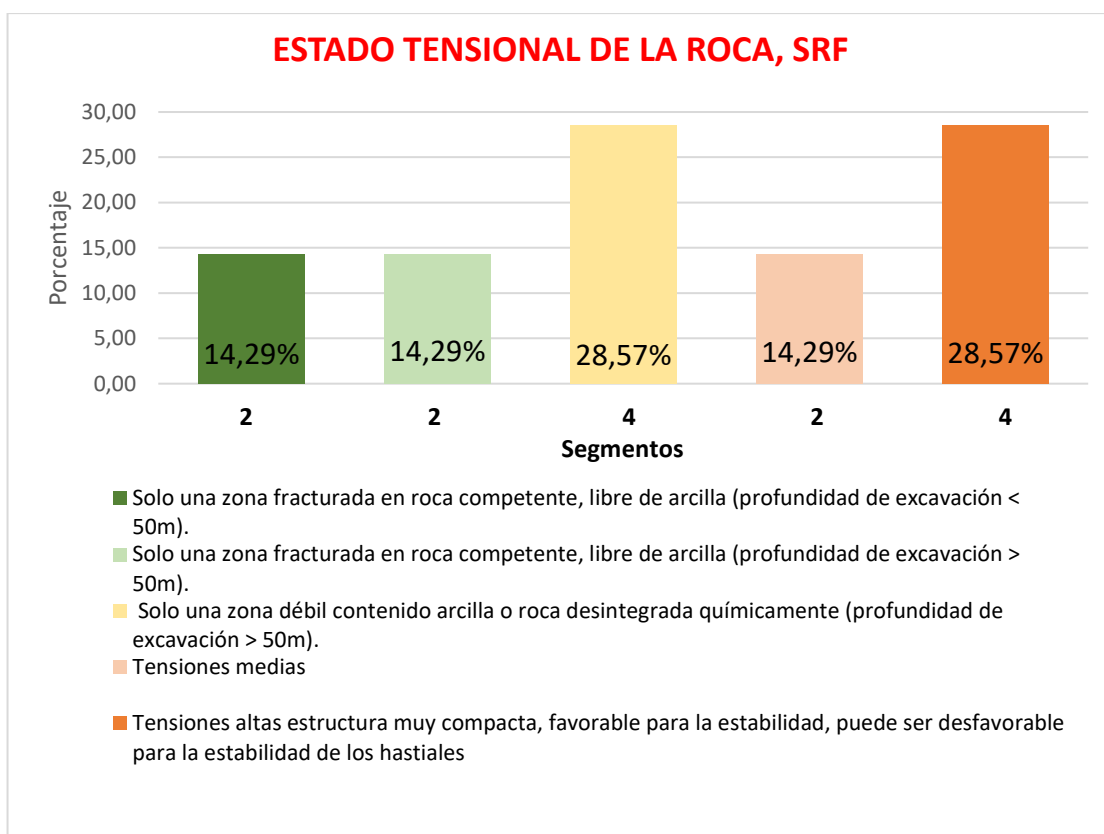
Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

- **SRF (Stress Reduction Factor)**

En el **gráfico de barras N°14**, en el estado tensional de la roca. Los factores predominantes son las zonas débiles que interceptan la excavación y pueden causar caídas de bloques: Zonas débiles con contenido de arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación > 50m), y rocas competentes con problemas tensionales en las rocas: Tensiones altas estructura muy compacta, favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales. Siendo en los dos casos una representación del 28,57% para cada uno.

Finalmente, se tiene zonas débiles que interceptan la excavación y pueden causar caídas de bloques: Solo una zona fracturada en roca competente, libre de arcilla (profundidad de excavación <50m), solo una zona fracturada en roca competente, libre de arcilla (profundidad de excavación >50m), y rocas competentes con problemas tensionales en las rocas: Tensiones medias. En estos casos se tiene tres porcentajes de 14,29%.



**Gráfico N° 14.** SRF (*Stress Reduction Factor*).



- **Calidad del macizo según Q de Barton.**

Se da a conocer los resultados de la calidad de los 14 Segmentos de la galería conforme la clasificación geomecánica dada por el método de Barton. A continuación, **Ver tabla N°77.**

**Tabla 77. Resultados de la Clasificación Q de Barton.**

<b>Tramo</b>	<b>Índice Q</b>	<b>Calidad del macizo rocoso</b>
<b>P1-P4</b>	1,24	Mala
<b>P4-P8</b>	5,46	Regular
<b>P8-P13A</b>	4,91	Regular
<b>P11-P66</b>	8,06	Regular
<b>P66-P74</b>	7,20	Regular
<b>P13A-P13B</b>	1,84	Mala
<b>P13B-P17</b>	8,06	Regular
<b>P17-P20</b>	6,15	Regular
<b>P20-P22</b>	7,69	Regular
<b>P22-P23</b>	4,53	Regular
<b>P23-P25</b>	10,06	Buena
<b>P34-P36</b>	14,11	Buena
<b>P36-P38</b>	1,08	Mala
<b>P38-P40</b>	6,96	Regular

Bajo su respectivo estudio, la clasificación del Q de Barton tiene bastante similitud con el método de BIENIAWSKI, esto se debe a que también se analiza el RQD, la rugosidad, la alteración y la presencia de agua.

El primer tramo (P1-P4) caracterizado con una distancia de 102.40 metros, corresponde a un macizo de calidad mala con un Índice Q de 1,24, emplazado en una litología de andesita de textura fanerítica. Las principales características geomecánicas que presenta son: R.Q.D. de 74,15, con tres familias de diaclasas, donde sus juntas se encuentran rugosas, con un índice de alteración alto producto de la meteorización de la roca, presencia de agua por goteo de influencia poco importante, y un factor de reducción de esfuerzos correspondiente a una zona fracturada en roca competente (profundidad de excavación < 50m). **Ver tabla N°78.**





UNL

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables

Tabla 78. Resultados del Índice Q del tramo 1.

TRAMO 1		
Parámetros	Parámetros	Valoración
R.Q.D.	Rock Quality Design	74,15
Jn	Número de familia de juntas o discontinuidades	9
Jr	Rugosidad de las juntas	3
Ja	Grado de alteración de las juntas	4
Jw	Presencia de agua	1
SRF	Estado tensional de la roca, Stress Reduction Factor	5
Q	Índice Q	1,24
Calidad del macizo rocoso		Mala

El segundo tramo (P4-P8) con una longitud de 68.40 metros, en un macizo de andesita con textura afanítica de calidad regular con un Índice Q de 5,46, presenta un R.Q.D. de 81,91, con tres familias de diaclasas, donde sus juntas se encuentran rugosas, con un índice de alteración moderada, la presencia de agua es de influencia poco importante (mojado), y un factor de reducción de esfuerzos correspondiente a una zona fracturada en roca competente, libre de arcilla (profundidad de excavación >50m). **Ver tabla N°79.**

Tabla 79. Resultados del Índice Q del tramo 2.

TRAMO 2		
Parámetros	Descripción	Valoración
R.Q.D.	Rock Quality Design	81,91
Jn	Número de familia de juntas o discontinuidades	9
Jr	Rugosidad de las juntas	3
Ja	Grado de alteración de las juntas	2
Jw	Presencia de agua	1
SRF	Estado tensional de la roca, Stress Reduction Factor	2,5
Q	Índice Q	5,46
Calidad del macizo rocoso		Regular

El tercer tramo (P8-P13A) con una distancia de 182.33 metros, en un macizo de andesita con textura porfídica de calidad regular con un Índice Q de 4,91, presenta un R.Q.D. de 73,59, con tres familias de diaclasas, donde sus juntas se encuentran irregulares onduladas, con un índice de alteración moderada, la presencia de agua es de influencia poco importante (húmedo), y un factor de reducción de esfuerzos correspondiente a una sola zona débil con roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación > 50m). **Ver tabla N°80.**



Tabla 80. Resultados del Índice Q del tramo 3.

TRAMO 3		
Parámetros	Descripción	Valoración
R.Q.D.	Rock Quality Design	73,59
Jn	Número de familia de juntas o discontinuidades	9
Jr	Rugosidad de las juntas	3
Ja	Grado de alteración de las juntas	2
Jw	Presencia de agua	1
SRF	Estado tensional de la roca, Stress Reduction Factor	2,5
Q	Índice Q	4,91
Calidad del macizo rocoso		Regular

El cuarto tramo (P11-P66) contempla una longitud de 223.40 metros, en un macizo de andesita basáltica de textura afanítica de calidad regular con un Índice Q de 8,06, presenta un R.Q.D. de 72,56, con tres familias de diaclasas, donde sus juntas se encuentran ligeramente rugosas suaves onduladas, con un índice de alteración ligera, la presencia de agua es de influencia poco importante (goteo), y un factor de reducción de esfuerzos correspondiente a rocas competentes con problemas tensionales medios en las rocas. **Ver tabla N°81.**

Tabla 81. Resultados del Índice Q del tramo 4.

TRAMO 4		
Parámetros	Descripción	Valoración
R.Q.D.	Rock Quality Design	72,56
Jn	Número de familia de juntas o discontinuidades	9
Jr	Rugosidad de las juntas	2
Ja	Grado de alteración de las juntas	2
Jw	Presencia de agua	1
SRF	Estado tensional de la roca, Stress Reduction Factor	1
Q	Índice Q	8,06
Calidad del macizo rocoso		Regular

El quinto tramo (P66-P74) comprende una distancia de 101.20 metros, corresponde a un macizo de calidad regular con un Índice Q de 7,20, emplazado en una litología de andesita de textura porfídica. Las principales características geomecánicas que presenta son: R.Q.D. de 54,02, con tres familias de diaclasas, donde sus juntas se encuentran ligeramente rugosas, con un índice de alteración moderado producto de la meteorización de la roca, presencia de agua de influencia poco importante (mojado), y un factor de reducción de esfuerzos correspondiente a solo una zona fracturada en roca competente, libre de arcilla (profundidad de excavación > 50m). **Ver tabla N°82**



UNL

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables

Tabla 82. Resultados del Índice Q del tramo 5.

TRAMO 5		
Parámetros	Descripción	Valoración
R.Q.D.	Rock Quality Design	54,02
Jn	Número de familia de juntas o discontinuidades	9
Jr	Rugosidad de las juntas	3
Ja	Grado de alteración de las juntas	1
Jw	Presencia de agua	1
SRF	Estado tensional de la roca, Stress Reduction Factor	2,5
Q	Índice Q	7,20
Calidad del macizo rocoso		Regular

El sexto tramo (P13A-P13B) comprende una extensión de 42,50 metros, en un macizo de calidad mala con un Índice Q de 1,84, en una litología de andesita de textura andesita con textura afanítica. Las principales características geomecánicas que presenta son: R.Q.D. de 62,13, con tres familias de diaclasas, donde sus juntas se encuentran suavemente onduladas, con un índice alto de alteración producto de la fracturación y meteorización de la roca, presencia de agua de influencia poco importante (goteo), y un factor de reducción de esfuerzos correspondiente a solo una zona débil por la presencia de roca desintegrada (profundidad de excavación > 50m). **Ver tabla N°83.**

Tabla 83. Resultados del Índice Q del tramo 6.

TRAMO 6		
Parámetros	Descripción	Valoración
R.Q.D.	Rock Quality Design	62,13
Jn	Número de familia de juntas o discontinuidades	9
Jr	Rugosidad de las juntas	2
Ja	Grado de alteración de las juntas	3
Jw	Presencia de agua	1
SRF	Estado tensional de la roca, Stress Reduction Factor	2,5
Q	Índice Q	1,84
Calidad del macizo rocoso		Mala

El séptimo tramo (P13B-P17) comprende una extensión de 119,70 metros, en un macizo de calidad regular con un Índice Q de 8,06, presenta una litología de roca andesita de textura porfídica. Las principales características geomecánicas que presenta son: R.Q.D. de 72,56, con tres familias de diaclasas, donde sus juntas se encuentran suavemente onduladas, con una ligera alteración producto de la meteorización de la roca, presencia de agua de influencia poco importante (húmedo), y un factor de reducción de esfuerzos correspondiente a rocas competentes con problemas tensionales medios en las rocas. **Ver tabla N°84.**



UNL

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables

Tabla 84. Resultados del Índice Q del tramo 7.

TRAMO 7		
Parámetros	Descripción	Valoración
R.Q.D.	Rock Quality Design	72,56
Jn	Número de familia de juntas o discontinuidades	9
Jr	Rugosidad de las juntas	2
Ja	Grado de alteración de las juntas	2
Jw	Presencia de agua	1
SRF	Estado tensional de la roca, Stress Reduction Factor	1
Q	Índice Q	8,06
Calidad del macizo rocoso		Regular

El octavo tramo (P17-P20) comprende una extensión de 94,60 metros, se emplaza en un macizo de calidad regular con un Índice Q de 6,15, en una litología de andesita basáltica con textura afanítica. Las principales características geomecánicas que presenta son: R.Q.D. de 55,34, con tres familias de diaclasas, donde sus juntas se encuentran suavemente onduladas, con una ligera alteración producto de la meteorización de la roca, sin presencia de agua (seco), y un factor de reducción de esfuerzos correspondiente a tensiones altas estructura muy compacta, favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales. **Ver tabla N°85.**

Tabla 85. Resultados del Índice Q del tramo 8.

TRAMO 8		
Parámetros	Descripción	Valoración
R.Q.D.	Rock Quality Design	55,34
Jn	Número de familia de juntas o discontinuidades	9
Jr	Rugosidad de las juntas	2
Ja	Grado de alteración de las juntas	2
Jw	Presencia de agua	1
SRF	Estado tensional de la roca, Stress Reduction Factor	1
Q	Índice Q	6,15
Calidad del macizo rocoso		Regular

El noveno tramo (P20-P22) comprende una extensión de 39,70 metros, se emplaza en un macizo de calidad regular con un Índice Q de 7,69, en una litología de andesita de textura porfídica en donde la presencia de fenocristales es abundante. Las principales características geomecánicas que presenta son: R.Q.D. de 69,20, con tres familias de diaclasas, donde sus juntas se encuentran suavemente planas a ligeramente rugosas, con una ligera alteración producto de la meteorización de la roca, presencia de agua de influencia poco importante (húmedo), y un factor de reducción de



UNL

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables

esfuerzos correspondiente a tensiones altas estructura muy compacta, favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales. **Ver tabla N°86.**

**Tabla 86. Resultados del Índice Q del tramo 9.**

<b>TRAMO 9</b>		
<b>Parámetros</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valoración</b>
<b>R.Q.D.</b>	Rock Quality Design	69,2
<b>Jn</b>	Número de familia de juntas o discontinuidades	9
<b>Jr</b>	Rugosidad de las juntas	1
<b>Ja</b>	Grado de alteración de las juntas	1
<b>Jw</b>	Presencia de agua	1
<b>SRF</b>	Estado tensional de la roca, Stress Reduction Factor	1
<b>Q</b>	<b>Índice Q</b>	<b>7,69</b>
<b>Calidad del macizo rocoso</b>		Regular

El décimo tramo (P22-P23) comprende una extensión de 23 metros, en un macizo de calidad regular con un Índice Q de 4,53, en una litología de andesita basáltica de textura porfídica. Las principales características geomecánicas que presenta son: R.Q.D. de 67,95, con tres familias de diaclasas, donde sus juntas se encuentran rugosas, con un índice ligero de alteración producto de la fracturación de la roca, presencia de agua de influencia poco importante (húmedo), y un factor de reducción de esfuerzos correspondiente a solo una zona débil por la presencia de roca desintegrada (profundidad de excavación > 50m). **Ver tabla N°87.**

**Tabla 87. Resultados del Índice Q del tramo 10.**

<b>TRAMO 10</b>		
<b>Parámetros</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valoración</b>
<b>R.Q.D.</b>	Rock Quality Design	67,95
<b>Jn</b>	Número de familia de juntas o discontinuidades	9
<b>Jr</b>	Rugosidad de las juntas	3
<b>Ja</b>	Grado de alteración de las juntas	2
<b>Jw</b>	Presencia de agua	1
<b>SRF</b>	Estado tensional de la roca, Stress Reduction Factor	2,5
<b>Q</b>	<b>Índice Q</b>	<b>4,53</b>
<b>Calidad del macizo rocoso</b>		Regular



El décimo primer tramo (P23-P25) comprende una extensión de 33,50 metros, se emplaza en un macizo de calidad buena con un Índice Q de 10,06, en una litología de andesita basáltica con textura afanítica. Las principales características geomecánicas que presenta son: R.Q.D. de 60,35, con tres familias de diaclasas, donde sus juntas se encuentran rugosas, con una ligera alteración producto de la meteorización de la roca, sin presencia de agua (seco), y un factor de reducción de esfuerzos correspondiente a tensiones altas estructura muy compacta, favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales. **Ver tabla N°88.**

**Tabla 88. Resultados del Índice Q del tramo 11.**

<b>TRAMO 11</b>		
<b>Parámetros</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valoración</b>
<b>R.Q.D.</b>	Rock Quality Design	60,35
<b>Jn</b>	Número de familia de juntas o discontinuidades	9
<b>Jr</b>	Rugosidad de las juntas	3
<b>Ja</b>	Grado de alteración de las juntas	2
<b>Jw</b>	Presencia de agua	1
<b>SRF</b>	Estado tensional de la roca, Stress Reduction Factor	1
<b>Q</b>	<b>Índice Q</b>	<b>10,06</b>
<b>Calidad del macizo rocoso</b>		Buena

El décimo segundo tramo (P34-P36) comprende una extensión de 59.95 metros, se emplaza en un macizo de calidad buena con un Índice Q de 14.11, en una litología de andesita con textura porfídica. Las principales características geomecánicas que presenta son: R.Q.D. de 84.64, con tres familias de diaclasas, donde sus juntas se encuentran rugosas, con una ligera alteración producto de la meteorización de la roca, sin presencia de agua (seco), y un factor de reducción de esfuerzos correspondiente a tensiones altas estructura muy compacta, favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales. **Ver tabla N°89.**

**Tabla 89. Resultados del Índice Q del tramo 12.**

<b>TRAMO 12</b>		
<b>Parámetros</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valoración</b>
<b>R.Q.D.</b>	Rock Quality Design	84,64
<b>Jn</b>	Número de familia de juntas o discontinuidades	9
<b>Jr</b>	Rugosidad de las juntas	3
<b>Ja</b>	Grado de alteración de las juntas	2
<b>Jw</b>	Presencia de agua	1
<b>SRF</b>	Estado tensional de la roca, Stress Reduction Factor	1
<b>Q</b>	<b>Índice Q</b>	<b>14,11</b>
<b>Calidad del macizo rocoso</b>		Buena





UNL

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables

El décimo tercero tramo (P36-P38) comprende una extensión de 55 metros, se emplaza en un macizo de calidad mala con un Índice Q de 1,08, en una litología de andesita basáltica con textura afanítica. Las principales características geomecánicas que presenta son: R.Q.D. de 48.57; con tres familias de diaclasas, donde sus juntas se encuentran suavemente onduladas, con una ligera alteración producto de la meteorización de la roca, sin presencia de agua (seco), y un factor de reducción de esfuerzos correspondiente a una zona fracturada en roca competente (profundidad de excavación < 50m). **Ver tabla N°90.**

Tabla 90. Resultados del Índice Q del tramo 13.

<b>TRAMO 13</b>		
<b>Parámetros</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valoración</b>
<b>R.Q.D.</b>	Rock Quality Design	48,57
<b>Jn</b>	Número de familia de juntas o discontinuidades	9
<b>Jr</b>	Rugosidad de las juntas	2
<b>Ja</b>	Grado de alteración de las juntas	2
<b>Jw</b>	Presencia de agua	1
<b>SRF</b>	Estado tensional de la roca, Stress Reduction Factor	5
<b>Q</b>	<b>Índice Q</b>	<b>1,08</b>
<b>Calidad del macizo rocoso</b>		Mala

El décimo cuarto tramo (P38-P40) comprende una extensión de 43.90 metros, se emplaza en un macizo de calidad regular con un Índice Q de 6.96, en una litología de andesita con textura porfirítica. Las principales características geomecánicas que presenta son: R.Q.D. de 78.33, con tres familias de diaclasas, donde sus juntas se encuentran suavemente onduladas, presencias de agua de influencia poco importante (húmedo), y un factor de reducción de esfuerzos correspondiente a solo una zona débil por la presencia de roca desintegrada (profundidad de excavación > 50m). **Ver tabla N°91.**

Tabla 91. Resultados del Índice Q del tramo 14.

<b>TRAMO 14</b>		
<b>Parámetros</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valoración</b>
<b>R.Q.D.</b>	Rock Quality Design	78,33
<b>Jn</b>	Número de familia de juntas o discontinuidades	9
<b>Jr</b>	Rugosidad de las juntas	2
<b>Ja</b>	Grado de alteración de las juntas	1
<b>Jw</b>	Presencia de agua	1
<b>SRF</b>	Estado tensional de la roca, Stress Reduction Factor	2,5
<b>Q</b>	<b>Índice Q</b>	<b>6,96</b>
<b>Calidad del macizo rocoso</b>		Regular

### 6.3.8. Evaluación de los parámetros según el GSI (Índice de Resistencia Geológica).

- **Estructura de la masa rocosa.**

Se da a conocer en el gráfico de barras la estructura de la masa rocosa obteniendo en un mayor porcentaje con un 57,14% la estructura muy fracturada, seguida de un 35,71% la estructura moderadamente fracturada, y finalmente con un 7,14% la estructura intensamente fracturada. **Ver gráfico N°15.**

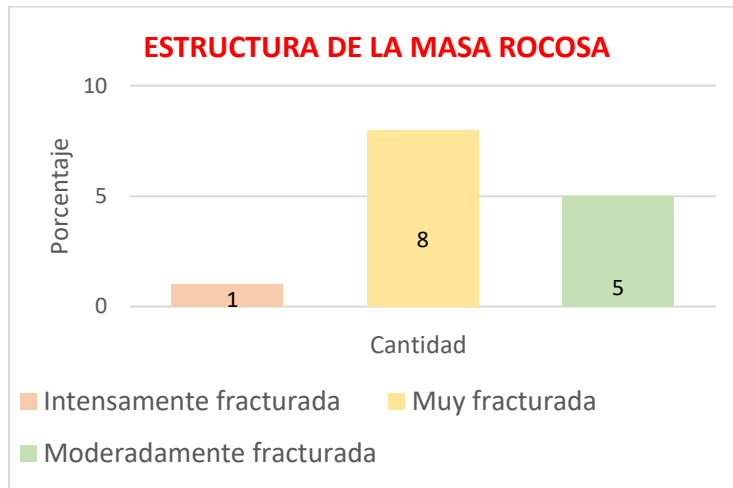


Gráfico N° 15. Estructura de la masa rocosa.

- **Condición superficial de la masa rocosa.**

El gráfico de barras indica la condición superficial de la masa rocosa, teniendo en un mayor porcentaje con un 64,29% una superficie regular, seguida de un 21,43% una superficie mala, y finalmente con un 14,29% una superficie buena. **Ver gráfico N°16.**

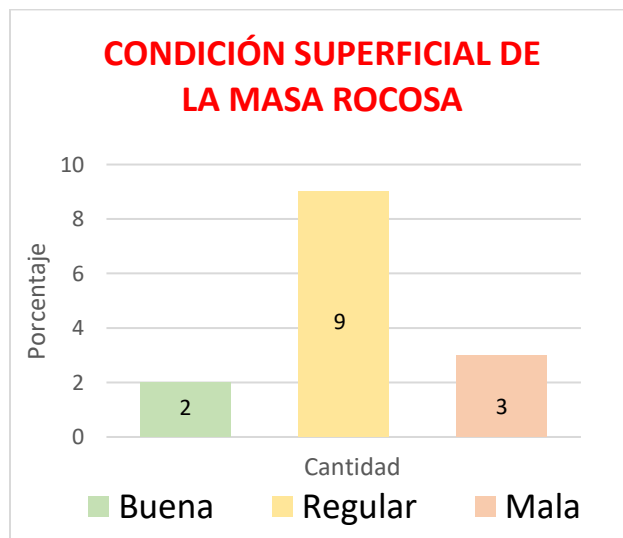


Gráfico N° 16. Condición superficial de la masa rocosa.



- **Calidad del macizo según GSI.**

**Tabla 92.** *Resultados de la Clasificación GSI.*

<b>Tramo</b>	<b>Valor GSI</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo</b>	<b>Calidad</b>
<b>P1-P4</b>	MF/R	Muy fracturada/Regular	III	Regular
<b>P4-P8</b>	MF/R	Muy fracturada/Regular	III	Regular
<b>P8-P13A</b>	MF/R	Muy fracturada/Regular	III	Regular
<b>P11-P66</b>	MF/R	Muy fracturada/Regular	III	Regular
<b>P66-P74</b>	MF/R	Muy fracturada/Regular	III	Regular
<b>P13A-P13B</b>	IF/M	Intensamente fracturada/Mala	IV	Mala
<b>P13B-P17</b>	MF/R	Muy fracturada/Regular	III	Regular
<b>P17-P20</b>	F/R	Moderadamente fracturada/Regular	III	Regular
<b>P20-P22</b>	F/R	Moderadamente fracturada/Regular	III	Regular
<b>P22-P23</b>	F/R	Moderadamente fracturada/Regular	III	Regular
<b>P23-P25</b>	MF/B	Muy fracturada/Buena	II	Buena
<b>P34-P36</b>	F/B	Moderadamente fracturada/Buena	II	Buena
<b>P36-P38</b>	MF/M	Muy fracturada/Mala	IV	Mala
<b>P38-P40</b>	F/B	Moderadamente fracturada/Buena	II	Buena

El tramo P1 – P4 (102.4 m), en las coordenadas georreferenciadas y codificadas (654906.63; 9592806.94) y (654863.08; 9592894.76). caracteriza como una roca tipo andesita de textura fanerítica corresponde a un macizo de tipo III de calidad regular, donde la roca se encuentra muy fracturada y en condiciones regulares.

El segundo tramo (P4-P8) con una longitud de 68.40 metros, en una litología de andesita con textura afanítica corresponde a un macizo de tipo III de calidad regular, donde la roca se encuentra muy fracturada y en condiciones regulares.

El tercer tramo (P8-P13A) con una distancia de 182.33 metros, en un macizo de tipo III de andesita con textura porfídica de calidad regular, la roca se encuentra muy fracturada y en condiciones regulares.

El cuarto tramo (P11-P66) contempla una longitud de 223.40 metros, en un macizo de andesita basáltica de textura afanítica de tipo III de calidad regular, donde la roca se encuentra muy fracturada y en condiciones regulares.

El quinto tramo (P66-P74) comprende una distancia de 101.20 metros, corresponde a un macizo de andesita de textura porfídica de calidad regular de tipo III, la roca se encuentra muy fracturada y en condiciones regulares.



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

El sexto tramo (P13A-P13B) comprende una extensión de 42,50 metros, en una litología de andesita de textura afanítica, corresponde a un macizo de tipo IV de calidad mala, donde la roca se encuentra intensamente fracturada y en condiciones malas.

El séptimo tramo (P13B-P17) comprende una extensión de 119,70 metros, en un macizo de tipo III de calidad regular, presenta una litología de roca andesita de textura porfídica, donde la roca se encuentra muy fracturada y en condiciones regulares.

El octavo tramo (P17-P20) comprende una extensión de 94,60 metros, se emplaza en un macizo de tipo III de calidad regular, en una litología de andesita basáltica con textura afanítica, donde la roca se encuentra moderadamente fracturada y en condiciones regulares.

El noveno tramo (P20-P22) comprende una extensión de 39,70 metros, se emplaza en un macizo de tipo III de calidad regular, en una litología de andesita de textura porfídica, donde la roca se encuentra moderadamente fracturada y en condiciones regulares.

El décimo tramo (P22-P23) comprende una extensión de 23 metros, emplazado en una litología de andesita basáltica de textura porfídica, corresponde a un macizo de tipo III de calidad regular, la roca se encuentra moderadamente fracturada y en condiciones regulares.

El décimo primer tramo (P23-P25) comprende una extensión de 33,50 metros, se emplaza en un macizo de tipo II de calidad buena, en una litología de andesita basáltica con textura afanítica, donde la roca se encuentra muy fracturada y en condiciones buenas.

El décimo segundo tramo (P34-P36) comprende una extensión de 59.95 metros, emplazado en un macizo de tipo II de calidad buena, en una litología de andesita de textura porfídica, donde la roca se encuentra muy fracturada y en condiciones buenas.

El décimo tercer tramo (P36-P38) comprende una extensión de 55 metros, en una litología de andesita basáltica de textura afanítica, corresponde a un macizo de tipo IV de calidad mala, donde la roca se encuentra intensamente fracturada y diaclasada.

El décimo cuarto tramo (P38-P40) comprende una extensión de 43.9 metros, emplazado en un macizo de tipo II de calidad buena, en una litología de andesita de textura porfídica, donde la roca se encuentra moderadamente fracturada y en condiciones buenas.



Los valores y rangos que predominan en cada uno de los parámetros correspondiente a la caracterización geomecánica evaluados se muestran en **la tabla N° 93**.

**Tabla 93.** *Parámetros Predominantes en las Clasificaciones RMR, Q de Barton y GSI.*

Clasificación	Parámetro	Rango o valor predominante
RMR de Bieniawski	Resistencia a la compresión simple	50-100 MPa
	Índice de calidad de la roca	50-75%
	Espaciado de las discontinuidades	0.2-0.6 m
	Longitud de las discontinuidades	3-10 m.
	Abertura de las discontinuidades	0.1-1 mm
	Rugosidad de las discontinuidades	Ligeramente rugosa
	Relleno de las discontinuidades	Relleno duro < 5 mm
	Alteración	Ligeramente alterada
	Condiciones de infiltración del agua	Seco
Q de Barton	Índice de Calidad de la Roca	50-75%
	Numero de discontinuidades	Tres familias de diaclasas
	Factor de rugosidad de las discontinuidades	Juntas rugosas
	Factor de reducción por contenido de agua en fracturas	Influencia poco importante
	Factor de alteración de las discontinuidades	Ligeramente alteradas.
	Factor de reducción por tensiones	Zona débil/tensiones altas
GSI	Condiciones de las discontinuidades	Regular
	Estructura del macizo rocoso	Moderadamente fracturada



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

## 7. Discusión

El proyecto de investigación tuvo como propósito realizar el estudio geológico-geotécnico de la galería principal de transporte, para ello se cumplió con algunos aspectos generales como son: el levantamiento superficial del área actual de la concesión minera, el levantamiento subterráneo de la galería de estudio, el levantamiento geológico superficial correlacionándolo con la geológica-estructural de la galería; adicionalmente con los resultados obtenidos se realizó la clasificación geomecánica, identificando las zonas inestables de la galería.

La caracterización geológica estructural partió de la revisión bibliográfica de la litoestratigrafía de toda la parte alta de la provincia de El Oro, en la geología se conoce el mapa geológico del centro-Sur de Ecuador que muestra las posiciones de los depósitos minerales del oligoceno tardío y del mioceno tardío, adaptado de Litherland et al. (1994), Pratt et al. (1997) y Dunkley y Gaibor (1997). Sin embargo, el mapa geológico del distrito minero Zaruma-Portovelo (Bonilla 2009). Hace mención que el área de estudio se circunscribe en los tres miembros importantes, miembro Portovelo, miembro El Faique y miembro Muluncay, siendo del grupo Saraguro del Terciario, conformado por lavas andesíticas y andesitas basálticas, se corroboró esta información con el levantamiento geológico que se realizó metro a metro en la galería principal de transporte, obteniendo roca andesita y andesita basáltica de textura afanítica, fanerítica y porfídica.

El rumbo preferencial de las estructuras mineralizadas del estudio va en sentido N-S con ligeras variaciones al NE-SW. La veta A veta F, veta M, veta Az N, veta B, y veta E con buzamiento hacia el Este. Lo enunciado permite interpretar que las vetas en estudio posiblemente pertenecen a un mismo sistema comprobando lo expuesto por (Kalinaj, 2004) que las fallas en echelón delimita el enjambre de vetas que presenta direcciones NO-SE y NE-SO con buzamiento hacia el este, producto de campos de esfuerzos máximos de dirección NO-SE creando espacios dilatantes y favoreciendo la mineralización (PRODEMINCA, 2000).

Las zonas de mineralización están compuestas por minerales como pirita (Py); calcopirita (Ccp); en menores cantidades calcosina (Cc) y bornita (Bn), como minerales de ganga presenta cuarzo en cantidades considerables, clorita, epidota, sericita. Spencer (2002), realizó un mapa de los cuerpos mineralizados del distrito minero Zaruma-Portovelo en donde ubica el proyecto de estudio en zona de mineralización correspondiente a vetas de calcopirita con posible esfalerita y pirita, lo cual permite corroborar lo expuesto con este autor, ya que en la pág. 104 indico textualmente la presencia de estos minerales.





UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

Según el mapa de alteración planteado por Spencer (2002) en donde el área minera se localiza en sectores donde predomina la epidota como mineral de alteración se corrobora la presencia de este mineral, además de evidenciar la presencia de abundante clorita y piritita, concordando de igual manera con los trabajos propuestos de Van Thournout (1996), el mismo que propuso alteración propilítica y silificación en ambientes cercanos a las vetas. En mi proyecto se estableció que predomina la andesita como roca encajante con alteración propilítica lo cual es congruente con lo citado por Van Thournout (1996).

Teniendo en cuenta los datos mineralógicos y los datos de texturas, el área de estudio se delimita como un depósito epitermal de baja sulfuración, situada dentro del subtipo de ebullición caracterizada por formarse a 400m bajo la paleo superficie según la proposición de Camprubí (2003).

De acuerdo a sostenimiento por Gonzales Vallejo (2002). Las Recomendaciones Indicativas para el sostenimiento y excavación de túneles excavados en roca (Bieniawski 1989), al tener una calificación CLASE III – REGULAR del macizo las recomendaciones a seguir son: Bulonado Sistemático de 3 a 4 m con separaciones de 1.5 m a 2 m en los hastiales y mallazo en clave, no necesita cerchas y su excavación en avance es de 1.5 a 3 m. En cambio, al tener una clasificación CLASE IV – MALA del macizo las recomendaciones a seguir son: bulonado sistemático de 4 a 5 m con separaciones de 1 a 1.5 m en clave y hastiales con mallazo. Aplicar cerchas ligeras y espaciadas 1.5 m cuando se requieran; su excavación en avance y destroza se efectúa con avances de 1 a 1.5 m con sostenimiento a menos de 10 m en el frente.

Sin embargo, la galería principal de transporte no cuenta con grandes dimensiones como para realizar sostenimiento con Bulonado Sistemático de 3 a 4 m con separaciones de 1.5 m a 2 m en los hastiales, ya que no se ajustaría a la galería, lo más factible en este caso debe realizarse el bulonado sistemático de 1 a 1.5 m con separaciones de 0.3 a 0.5 m en los hastiales. Mediante la aplicación del Shotcrete u hormigón proyectado de 5-10 cm en clave y 3 mm en hastiales, obteniendo de esta manera mayor estabilidad a la labor minera.



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

## 8. Conclusiones

- El área de estudio se circunscribe en las áreas “Mimopi COD. 264 de 18 ha y Miranda COD. 481 de 18.7 ha” de cotitularidad de la empresa corporación minera Miranda Minermir S.A.
- Topográficamente el área se encuentra sobre una morfología de tipo irregular que van desde los 1000 hasta los 1600 m.s.n.m. En cambio, la galería principal de transporte de la mina “Montesdeoca” se determinó una topografía la cual comprende cotas que van entre los 1250 hasta los 1267 msnm.
- El proyecto Montesdeoca se franquea en dirección E-O cuyo objeto prevé cortar las vetas de interés económico, (veta F, veta M, veta Az N, veta B, veta A y veta E) que tienen una dirección preferencial NE-SW con buzamiento hacia el Este.
- Regionalmente el área se circunscribe en el complejo Geológico - Metalogenio del distrito minero Zaruma-Portovelo (Bonilla 2009), que está constituido por el grupo Saraguro del terciario y la formación Célica del Mesozoico, conformadas por tobas riolíticas, andesitas del miembro Portovelo y Muluncay.
- Para el desarrollo geológico del proyecto se obtuvo 14 muestras en base a sus características mineralógicas, las cuales han sido ensayadas en el laboratorio con estudio macro y microscópico que permitió identificar la presencia de rocas andesitas porfídicas y basálticas de textura afanítica, fanerítica y porfirítica como roca caja con un alto grado de oxidación de minerales de hierro y hematita asociados a una alteración de tipo propilítica por la relación directa con minerales como clorita, epidota, pirita, cuarzo.
- La alteración hidrotermal propilítica se caracteriza por una asociación de clorita, epidota,  $\pm$ cuarzo,  $\pm$ pirita,  $\pm$ calcopirita predominando en toda la galería principal, la misma no está asociada a mineralización económica de interés. En los frentes de explotación de las vetas Az N - M – A situadas en la galería de estudio, se encuentran relacionadas a una alteración filica, específicamente en las zonas de mayor enriquecimiento mineralógico, asociados a sericita, cuarzo, pirita, clorita.
- Las texturas que se muestran dentro de las estructuras son de crecimiento primario crustiforme-coloforme, textura bandeada coloforme de sulfuros y cuarzo, textura crustiforme- coloforme con presencia de bandas de cuarzo lechoso acompañada de pirita y



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

calcopirita bandeada son aquellas que se encuentran relacionadas con mineralización de más interés.

- Las concesiones mineras MIMOPI y MIRANDA se lo clasifican dentro de un yacimiento de tipo epitermal de baja sulfuración de ebullición somera en donde aparece mineralización metalífera supérgena compuesta por cuarzo, pirita, calcopirita, covelita, galena y bornita. La evidencia de un proceso de ebullición es importante para definir la posible profundidad de formación del yacimiento, las 6 vetas que se encuentran en la galería “Montesdeoca” están posiblemente asociados a 170 a 290 m por debajo de la paleo superficie.
- Se realizó el estudio de la clasificación geomecánica sobre la base del estudio geológico estructural de la mina “Montesdeoca” utilizando los siguientes parámetros: RMR Bieniawski, RQR O Q de Barton, y GSI, como principales y un complemento mediante el uso del Esclerómetro SCHMIDT, peine de BARTON, máquina de corte y máquina de compresión simple. De las 14 muestras tomadas para los ensayos de resistencia a la compresión simple se obtuvo la resistencia más baja (03) 27 MPa, esto se debe a que el sector se encuentra alterado y meteorizado debido a zonas de fallamiento; la muestra (09) es la más resistente con 132.39 MPa, en este sector se encuentra el macizo rocoso sano y poco alterado.
- De acuerdo a la Caracterización geomecánica de los macizos rocosos basado en la clasificación de RMR de Bieniawski tenemos calidades entre II-III-IV lo que representa macizos de calidad Buena-Regular-Mala, de los cuales según Bieniawski es necesario el sostenimiento en macizos rocosos de calidad mala, son los segmentos 6 y 13, estos sectores están íntimamente relacionados a las fallas y fracturas de dichas zonas.
- Mientras que la Caracterización geomecánica de los macizos rocosos basado en la clasificación de Q de Barton la calidad del macizo tenemos calidades entre Mala – Regular-Buena, los cuales necesitan sostenimiento en los macizos rocosos de calidad Mala (6-13) según la bibliografía.
- De acuerdo a la caracterización según la clasificación del “GSI modificado” que se basa en la apreciación del macizo a nivel estructural y de las condiciones presentes en su superficie (discontinuidades), tenemos 1 estructura de macizo Intensamente fracturada/Mala (IF), 8 estructuras de macizos muy fracturados (MF) y 5 estructuras de masa rocosa Moderadamente fracturada (MF). Esto debido a que todas las estaciones presentan de 2 a 4



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

familias de discontinuidades (diaclasas), además de 6 a 12 fracturas por metro lineal, en cuanto al parámetro de resistencia tenemos 3 tipos de superficie; 2 zonas presentan Superficie Buena (B) debido a que las estaciones presentan superficies resistentes y levemente alteradas. 9 segmentos de Superficie Regular (R) debido a que algunos macizos presentan superficies moderadamente resistentes y alteradas y por último tenemos 3 sectores con Superficies Malas (M) debido a que algunos macizos presentan superficies muy alteradas por la presencia de fracturas que están íntimamente relacionados con la geología de la zona.

- De acuerdo a los datos obtenidos y transformados mediante la aplicación del esclerómetro, tenemos la resistencia de cada macizo en relación a la compresión simple y tenemos macizos de resistencia blanda a moderadamente blanda debido a la alta meteorización que existe, macizos de resistencia dura a extremadamente dura, ya que según González Vallejo la Andesita tiene valores medios de 210-320 Mpa. Lo que demuestra la geología existente que es netamente conformada por Andesitas.
- De la caracterización geológica y estructural de cada uno de los segmentos estudiados realizamos la unificación de criterios en base a RMR, Q de Barton y GSI determinando así las zonas inestables con potencial a desprendimientos o deslizamientos y zonas estables que no necesiten sistemas de sostenimiento, dando así que las zonas más estables están en los segmentos 1-2-3-4-5-7-8-9-10-11-12-14 y las más inestables son las zonas 6 y 13, Ver anexo N°12.
- La labor minera Montesdeoca se encuentra estable, excepto en las zonas de anisotropía, puntualmente en estos sectores se exigirá un tipo de sostenimiento corroborando la información levantada, por lo cual se recomienda ya sea bulones, mallazo en los hastiales o lechada de hormigón.



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

## 9. Recomendaciones

- Actualizar permanentemente la base topográfica, tanto superficial y subterránea, de acuerdo a los avances de explotación y las labores de exploración, que se realizan en la mina “Montesdeoca”
- Realizar estudios geológicos-estructurales en el resto de galerías que conforman las áreas de concesión minera “Mimopi COD. 264 y Miranda COD. 481”, la información obtenida permitirá identificar las zonas inestables de las labores mineras y coordinar de una manera segura los trabajos de exploración y explotación minera como también le permitirá al gerente de la empresa realizar ensayos de inclusiones fluidas, que permitan determinar si existe más de una etapa de ebullición, lo cual sería de suma importancia para planificar futuras exploraciones en niveles inferiores.
- En el ámbito mineralógico se recomienda un mayor control petrográfico-mineralógico de las menas con ensayos continuos para los elementos de plata, cobre, plomo y zinc, permitiendo conseguir información más a detalle de enriquecimiento de plata, cobre, plomo, zinc, para identificar la relación que existe con los valores de oro en las vetas M - F- A.
- Tener precaución en las zonas con presencia de agua, por lo que afecta directamente el macizo rocoso, procediendo a tomar las medidas para el sostenimiento y fortificación del techo y paredes de la galería principal de transporte.
- Realizar los controles geomecánicos periódicos, con la finalidad de conocer el comportamiento de macizo rocoso, generando información actualizada y tomar las pertinentes medidas de control en tal caso lo amerite, para evitar incidentes o accidentes laborales en el desarrollo de las labores mineras.



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

## 10. Bibliografía

- Andrade, J. P. (2017). *Lanamme*. Obtenido de <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/images/ensayos/5-geotecnia/5.13-5.14.pdf>
- Ángeles, F. (2020). *SGM*. Obtenido de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/157802/Que-es-la-Geotecnia.pdf>
- Antezana, F. (Agosto de 2019). Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/334899126\\_ENSAYO\\_DE\\_CORTE\\_DIRECTO\\_A\\_MESO\\_ESCALA\\_SOBRE\\_DISCONTINUIDADES\\_DE\\_ROCA\\_SIN\\_RELLENO](https://www.researchgate.net/publication/334899126_ENSAYO_DE_CORTE_DIRECTO_A_MESO_ESCALA_SOBRE_DISCONTINUIDADES_DE_ROCA_SIN_RELLENO)
- Bongiorno, F. (2019). Obtenido de [http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/nbelandria/materias/geotecnia/guia\\_geotecnia.pdf](http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/nbelandria/materias/geotecnia/guia_geotecnia.pdf)
- BRAVO, C. V. (Abril de 2010). *ucuenca*. Obtenido de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2577/1/tm4329.pdf>
- Cataluña. (2013). *ICGC*. Obtenido de <https://www.icgc.cat/es/Ciudadano/ExploraCataluna/Atlas/Atlas-geologico-de-Cataluna/Elementos-de-los-mapas-geologicos>
- Cortéz, P. (2015). *Elemento de mecanica de rocas*. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/12396913.pdf>
- FERNANDEZ, J. F. (2014). *SLIDESHARE*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/MIRIANASCUAQUIROGA/resistencia-y-deformabilidadde-roca>
- Freire, M. (2010). Obtenido de [https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Manual\\_Tuneles/CAP04.pdf](https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Manual_Tuneles/CAP04.pdf)
- Gardey, J. P. (2019). *Definicion.De*. Obtenido de <https://definicion.de/geotecnia/>
- GEOWEB. (2018). *geologiaweb*. Obtenido de <https://geologiaweb.com/ingenieria-geologica/clasificacion-rmr/>
- Guanchez, E. (2016). *FINE*. Obtenido de <https://www.finesoftware.es/ayuda-enlinea/geo5/es/mohr-coulomb-mc-01/>
- Guanchez, E. (2019). *FINE*. Obtenido de <https://www.finesoftware.es/ayuda-enlinea/geo5/es/hoek-brown-01/>





UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

- Lopez, M. (2015). *Ecomexico*. Obtenido de <https://www.ecomexico.net/proyectos/soporte/Varios/Generalidades%20de%20topografia.pdf>
- Merino, J. P. (2009). *Definición.de*. Obtenido de <https://definicion.de/roca/>
- Mexicano, S. G. (22 de 3 de 2017). *SGM*. Obtenido de <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Rocas/Introduccion-rocas.html>
- Navarro, S. (2008). Obtenido de <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2011/08/apuntestopografia-i.pdf>
- Pacheco, O. (21 de JULIO de 2015). *DESDEELMURETE*. Obtenido de <https://desdeelmurete.com/modelo-de-mohr-coulomb/>
- Patricio., F. C. (20 de 03 de 20). *Cuorse hero*. Obtenido de <https://www.coursehero.com/file/97247547/296-Art%C3%ADculo-881-1-1020200418pdf/>
- Salas, O. V. (29 de Setiembre de 2011). Obtenido de <http://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/13369/8391-11758-1SM.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=La%20prueba%20de%20ensayo%20tri axial,de%20una%20c%C3%A1mara%20a%20presi%C3%B3n.>
- Salvador, M. A. (2013). *sensagent*. Obtenido de [http://diccionario.sensagent.com/formaci%C3%B3n%20geol%C3%B3gica/es-es/schlumberger.\(2020\).oilfieldglossary.Obtenido](http://diccionario.sensagent.com/formaci%C3%B3n%20geol%C3%B3gica/es-es/schlumberger.(2020).oilfieldglossary.Obtenido) de [https://glossary.oilfield.slb.com/es/terms/l/lithologic\\_contact](https://glossary.oilfield.slb.com/es/terms/l/lithologic_contact)
- Ucha, F. (02 de 2009). Obtenido de <https://www.definicionabc.com/geografia/roca.php>
- Urrutia, J. (16 de Agosto de 2012). *aristasur*. Obtenido de <https://www.aristasur.com/contenido/que-son-las-curvas-de-nivel-en-un-mapatopografico>
- Alcántara, D. (2007). *Topografía y sus aplicaciones*. México: Grupo Editorial Patria
- Añazco, J. (2017): *Paragénesis de las vetas del sector minas Nuevas, “O nivel”, ubicado en el distrito aurífero – polimetálico Portovelo – Zaruma*. Tesis para optar al título de Ingeniero Geólogo. Quito, Ecuador.



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

- Albuja, J. (2017): *Caracterización geológica y cálculo de reservas de la veta Jane, en la mina “Golden comunitaria” de la parroquia huertas, cantón Zaruma*. Tesis para optar al título de Ingeniero Geólogo. Quito. Ecuador.
- Arias, O. (2019): *Zonificación de paragénesis de las vetas colorada, Katherine y Gaby norte en la sociedad civil minera Goldmins ubicada en el distrito aurífero polimetálico PortoveloZaruma*. Tesis para optar al título de Ingeniera Geóloga. Quito, Ecuador.
- Billingsley, P. (1926) *Geology of the Zaruma Gold district of Ecuador*. Am. Inst. Min. Met. Eng. 74:255–275
- Bonilla, W. (2009): *Metalogenia del distrito minero Zaruma – Portovelo, República del Ecuador*, tesis presentada para optar al título de Doctor en Ciencias Geológicas de la Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.
- Blanca, R., Vich, B., & Gómez, D. (2010). *Problemas de Geología Estructural*, 2(1), 124–147.
- Lunar, R., & Oyarzun, R. (1991). *Yacimientos Minerales: Técnicas de estudio*
- Palma, G. Maureira, I. (2014) *Introducción a Yacimientos minerales. Brechas y Vetillas*, Universidad de Chile.
- R. Banda, I.V. Vikent’ev, and L.P.Nosik (2005) *Sulfur Isotopic Composition of the*
- Rincón, M., Vargas, W., & González, C. (2017). *Topografía: conceptos y aplicaciones*. (1a ed.). Bogotá: Ecoe Ediciones Ltda.
- Segal, S. Crosta, S. (2011) *Atlas de Asociaciones Para genéticas de Menas*. Buenos Aires.
- Ramírez, O. (2000): *Apuntes de Geotecnia Básica, Capítulo 3: Clasificación de suelos y rocas*.
- González de Vallejo, L. (2004). *Ingeniería Geológica*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.
- SNMPE, Sociedad Nacional de Minería, Petroleo y Energía. (2004). *Manual de Gepmecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea*.



UNL

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables

### 11. Anexos

#### Anexo 1. Monografías

#### N°1: Cerro Calvario

<b>ARCOM</b> Agencia de Regulación y Control Minero					
DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE SEGURIDAD Y AMPLIACIÓN DE LA ZONA DE EXCLUSIÓN MINERA PARA EL ÁREA URBANA DEL CANTÓN ZARUMA					
Entidad Ejecutora	LUTOPSA S.A	Código del Punto	PZEM - 001		
<b>COORDINACIÓN GEOGRÁFICA DEL PUNTO</b>					
País	Ecuador	Provincia	El Oro	Parroquia	Zaruma
Provincia	Ecuador	Cantón	Zaruma	Parroquia	Zaruma
Provincia	Ecuador	Cantón	Zaruma	Parroquia	Zaruma
<b>COORDENADAS GEOGRÁFICAS</b>					
Coordenadas Geográficas WGS 84		Datum Horizontal		Datum	
Latitud (°)	3°51'21.84793"	Zona	17 S	Orden	RED
Longitud (°)	79°26'29.12488"	Norte (m)	919268.624	Norte (m)	919267.359
Altura (metros)	1332.732	Este (m)	634273.888	Este (m)	634272.244
<b>CONTROL VERTICAL</b>					
Datum Vertical		Fecha de determinación:		Coordenadas UTM Agrop.	
Altura reducida con modelo de Oculación geoidal placas GGM	Altura reducida con modelo geoidal EGM - 96 (software)	Orden:		Zona	
Elevación (metros)	Elevación (metros)			Punto (m)	
1334.837	1334.376			Este (m)	
<b>DATOS DEL ÁREA</b>					
Nombre del Área	Código	Nombre del titular minero	Numero de la labor	N° de trabajadores	
<b>UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL MOJÓN</b>					
<b>CRUCES</b> 			<b>FOTOGRAFÍA PANORÁMICA</b> 		
<b>DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA UBICACIÓN</b> ESQUINA S.E DE ARRADOR.			<b>FOTOGRAFÍA PLACA</b> 		
<b>ACCESIBILIDAD</b> DESDE EL SECTOR DE ZARUMA, CON DIRECCIÓN AL MIRADOR DEL CALVARIO POR LA ENTRADA VEHICULAR JUNTO A LA CRUZ, LUGAR DONDE SE HALLA EL PUNTO GPS.			<b>INSCRIPCIÓN EN LA PLACA</b> AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL MINERO - PROHIBIDO DESTRUIR - PROYECTO DE ZONA DE EXCLUSIÓN MINERA - PZEM-001 - ARCOM - EL ORO 2014		
<b>MATERIAL</b> PLACA DE BROWNE EN MOJÓN			<b>ESTADO</b> BUENO Fecha de la última visita: 30/07/2014		
<b>OBSERVACIONES</b> CONCEDEOR DEL PUNTO GPS EL ING. CARLOS BAYTIDAS FISCALIZADOR DE ARCOM.					
Elaborado por:		Supervisado:		Aprobado:	
LUTOPSA S.A		DIKRIA YENKA PORTUVELO		COORDINACIÓN GENERAL DE EXPLORACIÓN Y EXPLOTACIÓN MINERA	






UNL

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables

### Nº2: Parque Central

<b>ARCOM</b> Agencia de Regulación y Control Minero				
DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE SEGURIDAD Y REGULACIÓN DE LA ZONA DE EXCLUSIÓN MINERA PARA EL ÁREA URBANA DEL CANTÓN SARAGUA				
Estado Operadora: <b>ARCOM S.A</b>		Código del Punto: <b>ARCOM-001</b>		
LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL PUNTO				
País: <b>ECUADOR</b>	Provincia: <b>EL ORO</b>	Cantón: <b>SARAGUA</b>	Parroquia: <b>SARAGUA</b>	Zona: <b>PARQUE CENTRAL</b>
COORDENADAS				
Datum Nacional p.				
Coordenadas Geográficas WGS 84		Coordenadas UTM MGS 8304		Coordenadas UTM Agencia
Latitud (° S)	07°43'36.40318"	Longitud (° W)	79°51'06.262"	Latitud (° S)
Longitud (° W)	079°36'36.86736"	UTM (X)	355506.262	Longitud (° W)
Altura (metros)	2233.000	UTM (Y)	834227.344	Fecha de determinación
				23/08/2014
CONTROL VERTICAL				
Batajeo vertical				
Altura reducida con modelo de Ondulaciones general (plano) (mm)	Altura reducida con modelo general (EIM) (m) (Diferencia)	Fecha de determinación:	Coordenadas UTM Agencia	
Elevación (metros)	Elevación (metros)	Orden:	Zona	
2233.010	2234.670		Muestra (m)	
			EIM (m)	
BARRIO DEL ÁREA				
Nombre del Barrio	Código	Nombre del plano urbano	Nombre de la lámina	Escala del plano urbano
ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DEL ÁRBITRO				
CRONOLOGÍA		FOTOGRAFÍA PANORÁMICA		
				
ACCESIBILIDAD		DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA UBICACIÓN		
EN SARAGUA UBICANDO LA PLAZA CENTRAL EN EL COSTADO N.E. CERCA AL TACHO DE BATERIA FACONTRAROS FOTOGRAFADA LA PLACA DEL PUNTO PLENEARIO		ESQUINA N.E. DEL PARQUE		
		FOTOGRAFÍA PLACA		
				
		DESCRIPCIÓN EN LA PLACA		
		AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL MINERO - PROHIBIDO DESTRUIR - PROYECTO DE ZONA DE EXCLUSIÓN MINERA - PZEM (D) - ARCOM - EL ORO 2014		
		MATERIAL		
		PLACA DE BRONCE EN ARBITRO		
		ESTADO		
		BOMBAO		
		Fecha de la Última Visita		
		01/08/2014		
OBSERVACIONES				
CONOCIMIENTO DEL PUNTO GPS ES ING. CARLOS BASTIDAS FISCALIZADOR DE ARCOM				
Elaborado por:		Supervisado:		Aprobado:
ARCOM S.A		OFICINA TÉCNICA PORTUVELLO		COORDINACIÓN GENERAL DE EXPLORACIÓN Y EXPLOTACIÓN MINERA








UNL

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables

## Anexo 2. Fichas de afloramientos

<b>FICHA DE INFORMACIÓN DE CAMPO DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS</b>			
<b>1. INFORMACIÓN GENERAL</b>			
AFLORAMIENTO N°	1		
RESPONSABLE	Steven Fernando Coello Jaramillo		
MUESTRA (CÓDIGO)	M01(001)		
FECHA	Marzo2022		
<b>2. INFORMACIÓN DE UBICACIÓN</b>			
PROVINCIA	El Oro	<b>VÍAS DE ACCESO</b>	
CANTÓN	Zaruma	La vía se encuentra de segundo orden	
PARROQUIA	Zaruma	<b>LOCALIZACIÓN (Datum WGS84)</b>	
SECTOR	Via Zaruma-el Bosque	X: 654847	Y: 9592901
TIPO DE AFLORAMIENTO	NATURAL   ( )		ANTRÓPICO   (X)
<b>3. SITUACIÓN GEOLÓGICA</b>			
AMBIENTE	ÍGNEO ( X )	METAMORFICO ( )	SEDIMENTARIO ( )
TIPO DE ROCA	Lavas Andesíticas		
METEORIZACIÓN	Alta Meteorización		
<b>4. DESCRIPCIÓN</b>			
En este afloramiento se observaron las siguientes dimensiones. Alto:4.30 m, ancho 2.90. Tomando en cuenta que la cobertura vegetal es alta, se pudo evidenciar la presencia de alto grado de alteración.			
<b>5. FOTOGRAFÍA</b>			
			






UNL

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables

<b>FICHA DE INFORMACIÓN DE CAMPO DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS</b>			
<b>1. INFORMACIÓN GENERAL</b>			
<b>AFLORAMIENTO N°</b>	2		
<b>RESPONSABLE</b>	Steven Fernando Coello Jaramillo		
<b>MUESTRA (CÓDIGO)</b>	M02(002)		
<b>FECHA</b>	Marzo 2022		
<b>2. INFORMACIÓN DE UBICACIÓN</b>			
<b>PROVINCIA</b>	El Oro	<b>VÍAS DE ACCESO</b>	
<b>CANTÓN</b>	Zaruma	La vía se encuentra de segundo orden por la vía Zaruma-Roma, siguiendo un sendero hasta la mina Montesdeoca.	
<b>PARROQUIA</b>	Zaruma	<b>LOCALIZACIÓN (Datum WGS84)</b>	
<b>SECTOR</b>	Via Zaruma-Roma	<b>X: 654835</b>	<b>Y: 9592884</b>
<b>TIPO DE AFLORAMIENTO</b>	NATURAL	( <input checked="" type="checkbox"/> )	ANTRÓPICO ( )
<b>3. SITUACIÓN GEOLÓGICA</b>			
<b>AMBIENTE</b>	ÍGNEO ( <input checked="" type="checkbox"/> )	METAMORFICO ( )	SEDIMENTARIO ( )
<b>TIPO DE ROCA</b>	Cuarzo con lavas andesíticas		
<b>METEORIZACIÓN</b>	Alta Meteorización		
<b>4. DESCRIPCIÓN</b>			
El presente afloramiento muestra alta meteorización, se encuentra aflorando una estructura (veta) la misma que presenta unicamente cuarzo de coloración amarillento y vegetación abundante lo que no permite tener una clara visión de la misma, con roca andesita como roca encajante.			
<b>5. FOTOGRAFÍA</b>			
			



unl

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables

FICHA DE INFORMACIÓN DE CAMPO DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS			
1. INFORMACIÓN GENERAL			
AFLORAMIENTO N°	3		
RESPONSABLE	Steven Fernando Coello Jaramillo		
MUESTRA (CÓDIGO)	M03(003)		
FECHA	Marzo 2022		
2. INFORMACIÓN DE UBICACIÓN			
PROVINCIA	El Oro	VÍAS DE ACCESO	
CANTÓN	Zaruma	La vía se encuentra en un sendero a 20 m de la galería Montesdeoca.	
PARROQUIA	Zaruma	LOCALIZACIÓN (Datum WGS84)	
SECTOR	Vía Zaruma-el Bosque	X: 654726	Y: 9592875
TIPO DE AFLORAMIENTO	NATURAL	( X )	ANTRÓPICO ( )
3. SITUACIÓN GEOLÓGICA			
AMBIENTE	ÍGNEO ( X )	METAMORFICO ( )	SEDIMENTARIO ( )
TIPO DE ROCA	Flujos volcánicos		
METEORIZACIÓN	Alta meteorización		
4. DESCRIPCIÓN			
Este afloramiento presenta dos vetas visibles con los siguientes datos estructurales. (La primera veta tiene un <b>Rumbo:</b> N47°E <b>buzamiento:</b> 85° SE y 6 cm de espesor) (La segunda veta tiene un <b>Rumbo:</b> N51°E <b>buzamiento:</b> 429SE y 15 cm de espesor). Las mismas presentan relleno de material meteorizado. Las dimensiones del afloramiento son las siguientes: alto de 4.5 m, 6 m de ancho.			
5. FOTOGRAFÍA			
			



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

**Anexo 3.** Mapa de Isoyetas del Área de Estudio.

**Anexo 4.** Mapa de Isotermas del Área de Estudio.

**Anexo 5.** Mapa de amenazas sísmicas del Ecuador.

**Anexo 6.** Mapa de Geomorfología del Área de Estudio.

**Anexo 7.** Mapa de la red hidrográfica Zaruma-Portovelo.

**Anexo 8.** Mapa de ubicación y acceso de las áreas mineras “Mimopi COD. 264 y Miranda COD. 481.”

**Anexo 9.** Mapa topográfico del campamento.

**Anexo 9.1** Mapa topográfico subterráneo de la galería principal de la mina “Montesdeoca”.

**Anexo 10.** Mapa de geología regional de la zona de estudio.

**Anexo 11.** Mapa geológico-estructural tramo 1 de la galería principal de la mina “Montesdeoca”.

**Anexo 11.1.** Mapa geológico-estructural tramo 2 de la galería principal de la mina “Montesdeoca”.

**Anexo 12.** Mapa de caracterización geotécnica del tramo 1 de la galería principal de la mina “Montesdeoca”.

**Anexo 12.1.** Mapa de caracterización geotécnica del tramo 2 de la galería principal de la mina “Montesdeoca”.

**Anexo 13.** Mapa de caracterización geotécnica de 3 sectores específicos.

**(Ubicados en el CD-R N° 1)**



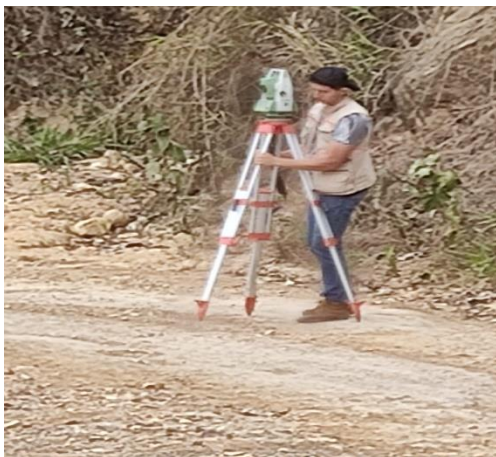
**Anexo 14. Registro fotográfico**



PP en el HITO georreferenciado en los tanques de Zaruma.



HITO de ARCOM.



Arrastrar el punto georreferenciado.



Levantamiento del campamento.

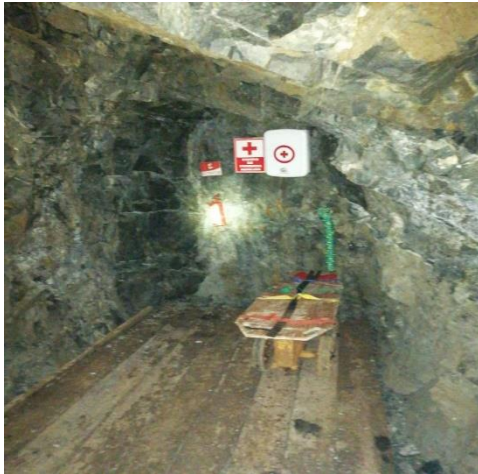


Levantamiento interior mina.



Levantamiento por poligonal Abierta

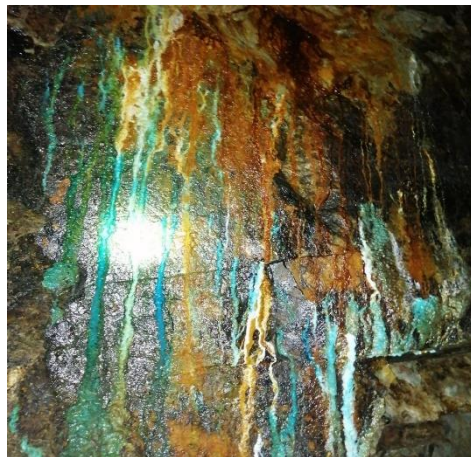




Zona de Primeros auxilios.



Zona de polvorín.



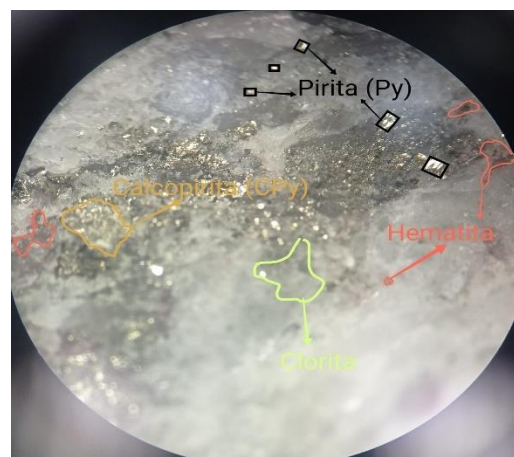
Zona de Oxidación.



Texturas de las vetas.



Análisis microscópico de minerales.



Descripción Petrográfica



Medición de estructuras.



Familia de discontinuidades.



Uso del peine de Barton.

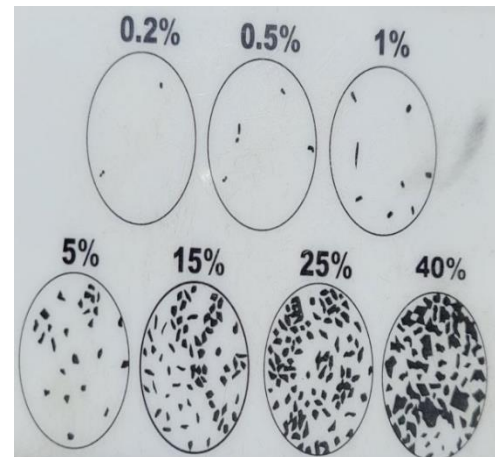


Tabla de porcentaje de minerales.



Máquina de corte para cubos de 5X5X5



Uso de martillo de Schmidt o esclerómetro.





UNL

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables



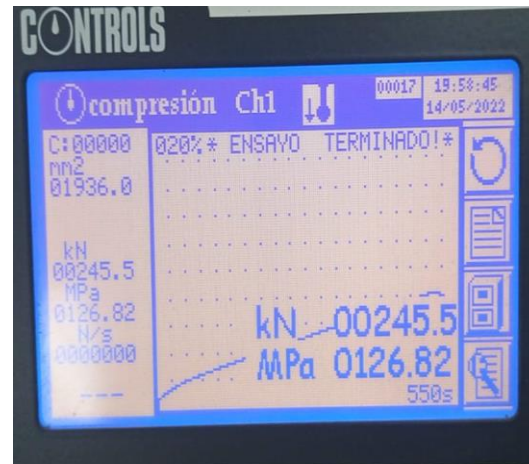
Máquina de compresión simple.



Muestras sometidas al ensayo de compresión simple.



Resultados de la muestra N°2 a la compresión simple.



Resultados de la muestra N°12 a la compresión simple.



unl

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

## Anexo 15. Certificación de traducción del resumen.

Andrea Mabel Torres Castillo

**LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN ESPECIALIZACIÓN INGLÉS**

Certifico, –

Que la traducción del documento adjunto por el señor Steven Fernando Coello Jaramillo con número de cédula de ciudadanía 0706082450, cuyo tema de investigación se titula “Estudio geológico - geotécnico de la galería principal de la mina Montesdeoca, perteneciente a la Corporación Minera Miranda Minermir S.A., Áreas de concesión minera Mimopi COD. 264 y Miranda COD. 481”, ha sido realizado por mi persona en calidad de licenciada en pedagogía del idioma inglés.

Esta es una traducción textual del documento adjunto, y el traductor es competente para realizar traducciones.

Lo certifico en honor a la verdad, facultando al portador del presente documento, hacer el uso legal pertinente.

Andrea Mabel Torres Castillo

**Licenciada en ciencias de la educación especialización inglés**

**C.I: 0704786193**

**Numero de registro: 1011-2017-1814959**