



**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
GRADO ACADÉMICO DE INGENIERO GEÓLOGO**

TEMA:

**ESTUDIO GEOMECÁNICO APLICANDO FOTOGRAMETRÍA PARA LA
DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO EN LAS
CANTERAS URUZCA, CERRO GUAYABAL, CANTÓN MONTECRISTI,
PROVINCIA DE MANABÍ, ECUADOR.**

Autor:

MIGUEL IGNACIO GARCÍA ANCHUNDIA

Tutor:

CÉSAR PATRICIO BORJA BERNAL

Guayaquil – Ecuador

2020



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERÍA GEOLÓGICA
UNIDAD DE TITULACIÓN



Título del Trabajo: ESTUDIO GEOMECÁNICO APLICANDO FOTOGRAMETRÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO EN CANTERAS URUZCA, CERRO GUAYABAL, CANTÓN MONTECRISTI, PROVINCIA DE MANABÍ, ECUADOR Autor(s): MIGUEL IGNACIO GARCIA ANCHUNDIA		
ASPECTOS EVALUADOS	PUNTAJE MÁXIMO	CALF.
ESTRUCTURA ACADÉMICA Y PEDAGÓGICA	4.5	
Propuesta integrada a Dominios, Misión y Visión de la Universidad de Guayaquil.	0.3	0.3
Relación de pertinencia con las líneas y sublíneas de investigación Universidad / Facultad/ Carrera	0.4	0.4
Base conceptual que cumple con las fases de comprensión, interpretación, explicación y sistematización en la resolución de un problema.	1	0.8
Coherencia en relación a los modelos de actuación profesional, problemática, tensiones y tendencias de la profesión, problemas a encarar, prevenir o solucionar de acuerdo al PND-BV	1	1
Evidencia el logro de capacidades cognitivas relacionadas al modelo educativo como resultados de aprendizaje que fortalecen el perfil de la profesión	1	0.7
Responde como propuesta innovadora de investigación al desarrollo social o tecnológico.	0.4	0.4
Responde a un proceso de investigación – acción, como parte de la propia experiencia educativa y de los aprendizajes adquiridos durante la carrera.	0.4	0.4
RIGOR CIENTÍFICO	4.5	
El título identifica de forma correcta los objetivos de la investigación	1	1
El trabajo expresa los antecedentes del tema, su importancia dentro del contexto general, del conocimiento y de la sociedad, así como del campo al que pertenece, aportando significativamente a la investigación.	1	1
El objetivo general, los objetivos específicos y el marco metodológico están en correspondencia.	1	1
El análisis de la información se relaciona con datos obtenidos y permite expresar las conclusiones en correspondencia a los objetivos específicos.	0.8	0.5
Actualización y correspondencia con el tema, de las citas y referencia bibliográfica	0.7	0.5
PERTINENCIA E IMPACTO SOCIAL	1	
Pertinencia de la investigación	0.5	0.5
Innovación de la propuesta proponiendo una solución a un problema relacionado con el perfil de egreso profesional	0.5	0.5
CALIFICACIÓN TOTAL *	10	9
* El resultado será promediado con la calificación del Tutor Revisor y con la calificación de obtenida en la Sustentación oral.		

Firma del Docente Tutor de Trabajo de Titulación

C.I.: 0601605918

Fecha: 7 de octubre del 2020



**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERÍA GEOLÓGICA
UNIDAD DE TITULACIÓN**



Guayaquil, 6 de octubre de 2020

Señor

Lic. Félix Sanango Pazmiño M.A.E.
VICEDECANO (E) DE LA FACULTAD
CIENCIAS NATURALES
Ciudad. -

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el Informe correspondiente a la tutoría realizada al Trabajo de Titulación **“ESTUDIO GEOMECÁNICO APLICANDO FOTOGRAMETRÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO EN CANTERAS URUZCA, CERRO GUAYABAL, CANTÓN MONTECRISTI, PROVINCIA DE MANABÍ, ECUADOR.”** de la estudiante MIGUEL IGNACIO GARCIA ANCHUNDIA, indicando que ha cumplido con todos los parámetros establecidos en la normativa vigente:

- *El trabajo es el resultado de una investigación.*
- *La estudiante demuestra conocimiento profesional integral.*
- *El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.*
- *El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.*

Adicionalmente, se adjunta el certificado de porcentaje de similitud y la valoración del Trabajo de Titulación con la respectiva calificación.

Dando por concluida esta tutoría de Trabajo de Titulación, **CERTIFICO**, para los fines pertinentes, que la estudiante está apta para continuar con el proceso de revisión final.

Atentamente,

Tutor de Trabajo de Titulación
Ing. Cesar Patricio Borja Bernal Msc.
C.I.: 0601605918

ANEXO VII.- CERTIFICADO PORCENTAJE DE SIMILITUD

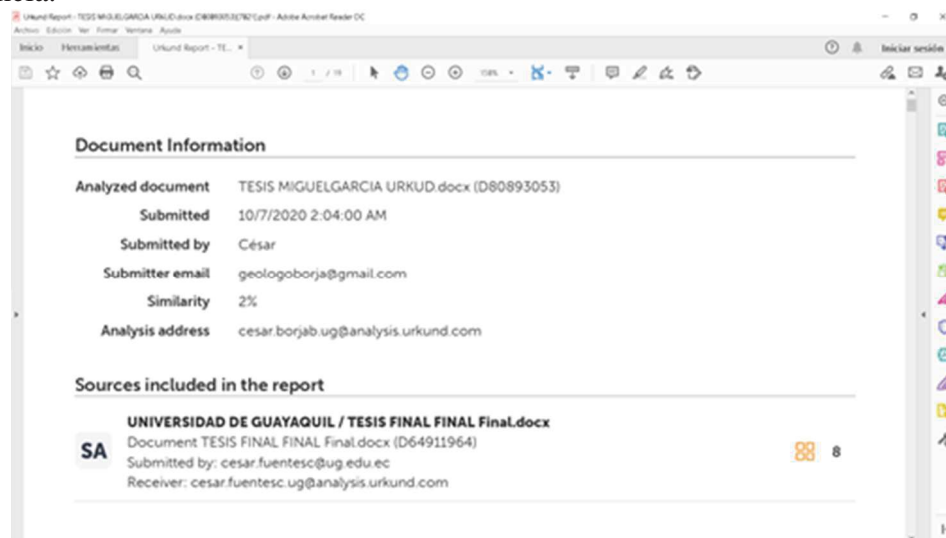


UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL FACULTAD CIENCIAS NATURALES CARRERA INGENIERÍA GEOLÓGICA UNIDAD DE TITULACIÓN



Habiendo sido nombrado CESAR PATRICIO BORJA BERNAL Msc., Tutor del Trabajo de Titulación certifico que el presente Trabajo de Titulación ha sido elaborado por MIGUEL IGNACIO GARCIA ANCHUNDIA, con mi respectiva supervisión como requerimiento parcial para la obtención del título de INGENIERO GEÓLOGO.

Se informa que el Trabajo de Titulación: ESTUDIO GEOMECÁNICO APLICANDO FOTOGRAMETRÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO EN CANTERAS URUZCA, CERRO GUAYABAL, CANTÓN MONTECRISTI, PROVINCIA DE MANABÍ, ECUADOR, ha sido orientado durante todo el periodo de ejecución en el programa antiplagio (URKUND) quedando el 2 % de coincidencia.



<https://secure.orkund.com/view/77383677-989023-449040#/details/fulltext>

CESAR PATRICIO BORJA BERNAL Msc

C.I.: 0601605918

Fecha: 7 de octubre del 2020



**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERÍA GEOLÓGICA
UNIDAD DE TITULACIÓN**



***GEOMECHANICAL STUDY APPLYING PHOTOGRAMMETRY FOR THE
DETERMINATION OF THE QUALITY OF THE ROCKY MASS IN QUARRIES URUZCA,
CERRO GUAYABAL, CANTÓN MONTECRISTI, PROVINCE OF MANABÍ, ECUADOR***

***Author: MIGUEL IGNACIO GARCÍA
ANCHUNDIA***

***Advisor: CÉSAR PATRICIO BORJA
BERNAL***

Abstract

A study was carried out to determine the quality of the rock mass and to design the Digital Elevation Model (DEM) of the outcrops of Guayabal Hill, applying geomechanical stations (GMS) and drone overflights in three mining concessions within the study area, executing a total of 4 slopes and 3 overflights.

To determine the parameters of the Bieniawski geomechanical classification or RMR (Rock Mass Rating), base maps and geological instruments were used and a Mavic Pro drone was used to take the photographs that served to generate the point cloud to elaborate the DEM design.

The result of the study showed that there is a relationship between the DEM model and the quality of the rock mass, showing that the southwestern section of Guayabal Hill is of poor quality as opposed to the rest of the hill, which is of good quality. In addition, its rapid geomorphological change is a product of constant exploitation. Therefore, it is concluded that the use of EGM and photogrammetry to determine the quality of the rocky mass provides a more global criterion of the outcrops of Guayabal Hill.

Keywords: Elevation Model (DEM), Photogrammetry,
Geomechanical stations (EGM), RMR (acronym for English rock mass rating).



**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERÍA GEOLÓGICA
UNIDAD DE TITULACIÓN**



ESTUDIO GEOMECÁNICO APLICANDO FOTOGRAMETRÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO EN CANTERAS URUZCA, CERRO GUAYABAL, CANTÓN MONTECRISTI, PROVINCIA DE MANABÍ, ECUADOR.

Autor: MIGUEL IGNACIO
GARCÍA ANCHUNDIA

Tutor: CÉSAR PATRICIO
BORJA BERNAL

Resumen

Se realizó un estudio cuyo propósito fue determinar la calidad del macizo rocoso y diseñar el Modelo Digital de Elevación (MDE) de los afloramientos del cerro Guayabal, aplicando estaciones geomecánicas (EGM) y sobrevuelos con dron en tres concesiones mineras que se encuentran dentro del área de estudio ejecutando un total de 4 taludes y 3 sobrevuelos.

Para determinar los parámetros de la clasificación geomecánica de Bieniawski o RMR (Rock Mass Rating), se utilizaron mapas base e instrumental geológico y un dron Mavic Pro para tomar las fotografías que sirvieron para generar la nube de puntos para elaborar el diseño de MDE.

El resultado del estudio evidenció que existe una relación del modelo MDE y la calidad del macizo rocoso, mostrando que la sección sur oeste del cerro Guayabal es de mala calidad a diferencia del resto del cerro que es de Buena calidad, además su rápido cambio geomorfológico es producto de la explotación constante. Por lo tanto, se concluye que la utilización de EGM y fotogrametría para determinar la calidad del macizo rocoso brinda un criterio más global de los afloramientos del cerro Guayabal.

Palabras Claves: Modelo de Elevación (MDE), Fotogrametría,
Estaciones geomecánica (EGM), RMR(acrónimo del inglés rock mass rating).



**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERÍA GEOLÓGICA
UNIDAD DE TITULACIÓN**



Guayaquil, 18 de octubre de 2020

M.A.E. Félix Sanango Pazmiño, M.Sc.
VICEDECANO (E)
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
Ciudad. -

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el Informe correspondiente a la **REVISIÓN FINAL** del Trabajo de Titulación **ESTUDIO GEOMECÁNICO APLICANDO FOTOGRAMETRÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO EN CANTERAS URUZCA, CERRO GUAYABAL, CANTÓN MONTECRISTI, PROVINCIA DE MANABÍ, ECUADOR.** del estudiante Miguel Ignacio García Anchundia. Las gestiones realizadas me permiten indicar que el trabajo fue revisado considerando todos los parámetros establecidos en las normativas vigentes, en el cumplimiento de los siguientes aspectos:

Cumplimiento de requisitos de forma:

- El título tiene un máximo de **24** palabras.
- La memoria escrita se ajusta a la estructura establecida.
- El documento se ajusta a las normas de escritura científica seleccionadas por la Facultad.
- La investigación es pertinente con la línea y sublíneas de investigación de la carrera.
- Los soportes teóricos son de máximo **10** años.
- La propuesta presentada es pertinente.

Cumplimiento con el Reglamento de Régimen Académico:

- El trabajo es el resultado de una investigación.
El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.
- El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.
- El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se indica que fue revisado, el certificado de porcentaje de similitud, la valoración del tutor, así como de las páginas preliminares solicitadas, lo cual indica el que el trabajo de investigación cumple con los requisitos exigidos.

Una vez concluida esta revisión, considero que el estudiante está apto para continuar el proceso de titulación. Particular que comunico a usted para los fines pertinentes.

Atentamente,


CÉSAR OSWALDO FEUNTES CAMPUZANO
C.I.: 0907591937

C.C: Gestora de Integración Curricular y Seguimiento a Graduados

DEDICATORIA

A mis padres y a mi abuelita, por haberme respaldado siempre en todas las etapas de mi vida.

A mis padrinos, por los consejos y el amor incondicional que siempre me brindando.

A mis familiares más cercanos, por el apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Primero gracias a Dios por darme salud, a mis padres, mis padrinos y familiares que con sus consejos y enseñanzas me permitieron superar los obstáculos durante la carrera.

A mi tutor Ing. Cesar Patricio Borja Bernal, M.Sc que con su experiencia y conocimientos fue guiando cada paso en este proceso.

A la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Guayaquil y a sus docentes que con el paso del tiempo y las experiencias de cada uno me inculcaron las ciencias geológicas.

Al M.Sc. Honorio Morán Coello, quien, con sus conocimientos, sus valiosos aportes técnicos-científicos y experiencias me ha orientado, ayudado y corregido el ordenamiento y presentación de esta Tesis.

A mi gran amigo el Ing. Ronaldo Vera, quien con su colaboración incondicional me sirvió de ayuda para la estructuración y el trabajo en campo de la Tesis.

A mis compañeros de carrera como son: Cristian Contreras, Alejandro Felix, Rogger Guillen, María Fernanda Ortiz y Jason Rosales, que con su colaboración pude culminar la presente Tesis.

Tabla de Contenido

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
INDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLA.....	XI
SIGLAS Y ABREVIATURAS	XII
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	2
1.3. OBJETIVOS.....	3
1.3.1. Objetivo General	3
1.3.2. Objetivos Específicos.....	3
1.4. LOCALIZACIÓN Y ACCESIBILIDAD A LAS ÁREA DE ESTUDIO	3
1.4.1. Localización	3
1.4.2. Accesibilidad	3
1.5. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	6
1.5.1. Recopilación de información existente.....	6
1.5.2. Levantamiento de la Geología Local.....	7
1.5.3. Investigación Climatológica del Área.....	7
1.5.4. Plan de vuelos con dron.....	7
1.5.5. Procesamiento de datos obtenidos.....	7
1.5.6. Interpretación de material proyectado.....	8
1.6. INVESTIGACIONES PREVIAS	8
CAPÍTULO II.....	9
MARCO GEOLÓGICO	9
2.1. ESTRATIGRAFIA	9
2.1.1. Formaciones Geológicas Regional del Estudio	9
Formación Piñón.....	9
Formación Cayo	9
Formación Cerro	10
Formación San Mateo	10

Formación Tosagua.....	10
2.1.2. Cuenca Manabí.....	13
2.2. GEOMORFOLOGÍA.....	15
2.3. GEOLOGÍA HISTÓRICA.....	15
2.4. MARCO LEGAL.....	16
2.2.1. Leyes y Reglamentos	16
.....	17
CAPÍTULO III.....	18
MATERIALES Y METODOS	18
3.1. GEOMECAÁNICA	18
3.1.1. Grado de Meteorización del Macizo Rocoso	18
3.1.2. Tamaño de bloques.....	19
3.1.3. Rock Quality Designation (RQD)	19
3.1.4. Orientación.....	20
3.1.5. Espaciamiento.....	20
3.1.6. Persistencia	20
3.1.7. Rugosidad	21
3.1.8. Abertura	21
3.1.9. Relleno.....	22
3.1.10. Calidad del macizo rocoso por el método de Bieniawski (RMR).....	22
3.1.11. Aplicaciones y utilidades.....	23
3.1.12. Instrumental.....	23
3.1.13. Selección de Estaciones Geomecánica del área de Estudio.....	24
3.1.14. Método RMR	25
3.1.15. Análisis de datos Geomecánico.....	27
Obtención de los parámetros para el RMR	27
3.2. FOTOGRAMETRIA	27
3.2.1. Nubes de Puntos	28
3.2.2. Técnica de la Fotogrametría	28
3.2.3. Instrumental.....	29
3.2.4. Metodología Aplicada en un Levantamiento Fotogramétrico.....	29
Planeación de Vuelo para la realizar de las fotos tomadas con el dron.	30
Toma de la fotografía aérea.....	30
Procesamiento de las Fotografías	30

CAPÍTULO IV	32
RESULTADOS.....	32
4.1. INTRODUCCION	32
4.1.1. Geomorfología.....	32
4.2. GEOLOGÍA LOCAL	34
4.3. CONCESIÓN “SAN CARLOS”	36
4.3.1. Geología a Detalle	36
4.3.2. Descripción Litológica	36
Muestra MG 1	36
4.3.3. Levantamiento Geomecánica.....	39
Estación Geomecánica 1 (EGM1)	40
Estación Geomecánica 2 (EGM 2)	45
Estación Geomecánica 3 (EGM 3)	49
4.3.4. Modelo Conceptual	53
4.4. Concesión “Inmetro 2”	56
4.4.1. Geología a Detalle	56
4.4.2. Descripción Litología	56
Muestra MG 2	56
Muestra MG 3	58
Muestra MG 4	59
4.4.3. Levantamiento Geomecánica.....	61
Estación Geomecánica 1 (EGM 1)	61
Estación Geomecánica 2 (EGM 2)	66
Estación Geomecánica 3 (EGM 3)	70
4.4.4. Modelo Conceptual	74
4.5. CONCESIÓN “RIO DE ORO”	77
4.5.1. Geología a Detalle	77
4.5.2. Descripción de Litológica.....	77
Muestra MG 5	77
4.5.3. Levantamiento Geomecánica.....	80
Talud 1; Estación Geomecánica 1 (T1 EGM 1)	80
Talud 2; Estación Geomecánica 1 (T2 EGM 1)	84
4.5.4. Modelo Conceptual	88
CAPÍTULO V	91

DISCUSIÓN	91
CONCLUSIÓN	92
RECOMENDACIÓN	93
Bibliografía	94
Anexo	96

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Ruta de Acceso al Área de Estudio desde El Terminal Terrestre de Guayaquil. Elaborado por Autor</i> -----	4
<i>Figura 2. Zona De Estudio. Elaborado por Autor</i> -----	5
<i>Figura 3 Diagrama de flujo de las fases desarrolladas en el trabajo. Elaborado por Autor. ---</i>	8
<i>Figura 4. Mapa Geológico de Montecristi donde está marcada el área de estudio. (A. Lima, P. Yopez, 2009)</i> -----	12
<i>Figura 5 Mapa geológico de la Cuenca Manabí con la ubicación del pozo</i> -----	14
<i>Figura 6. MEDIDA DE LA ORIENTACIÓN DE DISCONTINUIDADES. FUENTE: GONZÁLEZ, 2002</i> -----	20
<i>Figura 7: Los perfiles de rugosidad conjunta de roca que muestra el típico rango de JRC (Barton & Chubey 1977).</i> -----	21
<i>Figura 8. Instrumental: 1. Chaleco 2. Tablero con las hojas del formato para el RMR 3. Lápiz, Pluma y Lápiz de dureza 4. Libreta de Campo 5. Funda de tela para la recolección de muestra 6. a Brújula Brunton Axis b estuche 7. cinta métrica de 30mts 8. Lata de Pintura 9. Flexómetro de 8mts 10. Lupa 11. Piqueta para roca Ígnea 12. Navegador GPS Garmin 13. Casco.</i> -----	24
<i>Figura 9. Visión Estereoscópica desde los puntos Y' y Y'' FUENTE: Elaborado por Autor</i> -----	28
<i>Figura 10. Instrumental: 1. Chaleco 2. Libreta de campo 3. Lápiz y Pluma 4. Navegador GPS GARMIN 5. Dron DJI Mavic Pro 6. Casco</i> -----	29
<i>Figura 11: Catastro Minero del Ecuador. Fuente ARCOM, 2015</i> -----	32
<i>Figura 12: Vista desde la concesión San Carlos, se observa parte de la depresión de Montecristi- Portoviejo, una zona deprimida rodeada por cerros que superan los 400 msnm.</i> -----	33
<i>Figura 13. Mapa Geológico Fuente: Elaborado por autor</i> -----	35
<i>Figura 14. Foto Aérea de la concesión "San Carlos". Fuente: Elaborado por Autor</i> -----	36
<i>Figura 15. Foto de muestra MG1</i> -----	37
<i>Figura 16. Microfotografía en luz polarizada (fotografía izquierda): fenocristales de plagioclasas son visibles tonos grises de primer orden, maclados, los piroxenos son visibles en la parte superior izquierda, presenta dos clivajes poco desarrollados.</i> -----	39
<i>Figura 17: Estaciones Geomecánicas (EGM1-3) tomada en la concesión San Carlos. Fuente: Elaborado por autor.</i> -----	40

Figura 18: Estación Geomecánica EGM 1. Se aprecia 4 familia de diaclasa J1 a J4.	
Fuente: Elaborado por autor	41
Figura 19: Histograma de espaciado de las discontinuidades	42
Figura 20: Histograma de continuidad de las discontinuidades.	43
Figura 21. Lado izquierdo foto de la muestra de mano de EGM1 J4 y de lado derecho encontramos como quedo el peine de Barton. Fuente: Elaborado por autor.	43
Figura 22. Lado izquierdo foto de la muestra de mano de EGM1 J1 y de lado derecho encontramos como quedo el peine de Barton. Fuente: Elaborado por autor.	44
Figura 23. Otro punto de vista de las EGM 1,2 y 3. Fuente: Elaborado por autor	45
Figura 24. Histograma de espaciado de las discontinuidades	46
Figura 25: Histograma de continuidad de las discontinuidades	47
Figura 26. Lado izquierdo foto de la muestra de mano de EGM2 y de lado derecho encontramos como quedo el peine de Barton.	48
Figura 27. Fotografía de T EGM3 visto de otro angulo Fuente: Elaborado por autor	49
Figura 28. Histograma de espaciado de las discontinuidades	50
Figura 29. Histograma de Continuidad de las discontinuidades.	51
Figura 30. Lado izquierdo foto de la muestra de mano de EGM 3 y de lado derecho encontramos como quedo el peine de Barton.	52
Figura 31. Mapa Geológico a detalle de San Carlos. Fuente: Elaborado por autor	53
Figura 32. Distinto punto de vista del corte en 3D.(A-C) Fuente: Elaborado por autor.	55
Figura 33. Foto aérea de la concesión Inmetro 2. Fuente: Elaborada por autor	56
Figura 34: Sección de la Muestra MG 2	58
Figura 35: Sección de la Muestra MG 3	59
Figura 36: Sección de la Muestra MG 4	61
Figura 37: Foto de EGM 1 de Inmetro 2 tomada con Dron. Fuente: Elaborado por autor	62
Figura 38. EGM1 en concesión Inmetro 2. Fuente: Elaborado por autor	63
Figura 39. Histograma de espaciado de las discontinuidades	64
Figura 40. Histograma de Continuidad de las discontinuidades.	65
Figura 41. Lado izquierdo foto de la muestra de mano de la EGM 1 y de lado derecho encontramos como quedo el peine de Barton.	65
Figura 42: Foto de Talud EGM 5 Fuente: Elaborado por autor	67
Figura 43. Histograma de espaciado de las discontinuidades	68
Figura 44. Histograma de Continuidad de las discontinuidades	69
Figura 45. Lado izquierdo foto de la muestra de mano de la EGM 2 y de lado derecho encontramos como quedo el peine de Barton.	69
Figura 46: Foto de la EGM 3. Fuente: Elaborado por Autor	70
Figura 47: Foto de la EGM 3 Fuente: Elaborado por Autor	71
Figura 48. Histograma de espaciado de las discontinuidades	72
Figura 49. Histograma de Continuidad de las discontinuidades.	73
Figura 50. Lado izquierdo foto de la muestra de mano de la EGM 3 y de lado derecho encontramos como quedo el peine de Barton.	73
Figura 51. Mapa Geológico a detalle de Inmetro 2. Fuente: Elaborado por autor	75
Figura 52. Vista de la concesión mediante el diseño 3D. Fuente: Elaborado por autor	76
Figura 53. Ortomosaico de la concesión "Rio de Oro". Fuente: Elaborado por autor	77
Figura 54. Foto de muestra MG 5	78
Figura 55: Microfotografía en luz polarizada LPP (fotografía izquierda): fenocristales de olivino ligeramente alterados de formas subhedrales, junto a pocos cristales de piroxenos (augitas) tonalidad azul y rojiza en su gran mayoría característicos de rocas básico	80

Figura 56: Foto de T1 EGM 1. Fuente: Elaborado por autor	81
Figura 57. Histograma de espaciado de las discontinuidades	82
Figura 58. Histograma de Continuidad de las discontinuidades	83
Figura 59. Lado izquierdo foto de la muestra de mano del T1 EGM 1 y de lado derecho encontramos como quedo el peine de Barton.	83
Figura 60: Foto de Talud 2 EGM 1	85
Figura 61. Histograma de espaciado de las discontinuidades	86
Figura 62. Histograma de Continuidad de las discontinuidades.	87
Figura 63. Lado izquierdo foto de la muestra de mano de la T2 EGM 1 y de lado derecho encontramos como quedo el peine de Barton.	87
Figura 64. Mapa Geológico a detalle de Rio de Oro. Fuente: Elaborado por autor	89
Figura 65. Vista de distintos ángulos del diseño 3D de la concesión Rio de Oro. Fuente: Elaborado por autor	90

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1. Coordenadas de los vértices de las áreas de estudio.....	6
Tabla 2. Leyes elaboradas por el DAC ecuador. FUENTE (DAC, 2015).....	17
Tabla 3. Descripción de la meteorización de la roca intacta.....	18
Tabla 4. Grado de fracturación y descripción del tamaño de bloques.....	19
Tabla 5. Terminología para el Espaciamiento de discontinuidades.....	20
Tabla 6. Terminología para Persistencia o Continuidad de discontinuidades Fuente: (González, L. 2002).....	21
Tabla 7. Terminología para Abertura de discontinuidades	22
Tabla 8. Tipo de Relleno	22
Tabla 9. Tabla referencial del método RMR. (Bieniawski , 1973)	23
Tabla 10. Tabla de Clasificación RMR.....	25
Tabla 11. Guía especial para valorar el parámetro 4.....	26
Tabla 12. Clasificación y Valoración Geomecánica RMR de Bieniawski y Características....	26
Tabla 13. Ficha para obtener datos para RMR.....	27
Tabla 14 : Dirección de buzamiento(DIP DIR)y buzamiento(DIP)por familias de discontinuidades, EGM 1.....	41
Tabla 15 :Perfiles de RQD de la estación geomecánica, EGM1	42
Tabla 16.Dirección de buzamiento(DIP DIR)y buzamiento(DIP)por familias de discontinuidades, EGM 2.....	46
Tabla 17 :Perfiles de RQD de la estación geomecánica, EGM2	46
Tabla 18.Dirección de buzamiento(DIP DIR)y buzamiento(DIP)por familias de discontinuidades, EGM3.....	49
Tabla 19 :Perfiles de RQD de la estación geomecánica, T1 EGM3.....	50
Tabla 20.Dirección de buzamiento(DIP DIR)y buzamiento(DIP)por familias de discontinuidades, EGM 1.	63
Tabla 21 :Perfiles de RQD de la estación geomecánica, EGM 1	64
Tabla 22.Dirección de buzamiento(DIP DIR)y buzamiento(DIP)por familias de discontinuidades, EGM 2.....	67
Tabla 23 :Perfiles de RQD de la estación geomecánica, EGM 2	68
Tabla 24.Dirección de buzamiento(DIP DIR)y buzamiento(DIP)por familias de discontinuidades, EGM 3.	71
Tabla 25 :Perfiles de RQD de la estación geomecánica, EGM 3	72
Tabla 26.Dirección de buzamiento(DIP DIR)y buzamiento(DIP)por familias de discontinuidades, T1 EGM 1.....	81
Tabla 27 :Perfiles de RQD de la estación geomecánica, T1 EGM1.....	82
Tabla 28.Dirección de buzamiento(DIP DIR)y buzamiento(DIP)por familias de discontinuidades, T2 EGM 1.....	85
Tabla 29 :Perfiles de RQD de la estación geomecánica, T2 EGM1.....	86

SIGLAS Y ABREVIATURAS

MDT	Modelo digital de elevación
RQD	Designación de la Calidad de la Roca
RMR	Calificación del macizo rocoso
JCR	Coeficiente de rugosidad de discontinuidad
MDE	Modelado de Elevación del Terreno

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Las concesiones mineras San Carlos, Inmetro 2 y Rio de Oro, pertenecientes a la empresa Canteras Uruzca S.A, con una superficie aproximada de 1'189.100 m², se encuentran ubicadas en las faldas del Cerro Guayabal, al este de la ciudad de Montecristi y oeste de la ciudad de Portoviejo, de estas canteras se extrae material de áridos y pétreos aproximadamente cinco décadas, en esta localidad afloran Formaciones como: Cayo, Piñón, Cerro, San Mateo y Dos bocas.

La tecnología hoy en día se ha desarrollado exitosamente, en diferentes ciencias, tales como: Arquitectura, Física, Geotecnia, Agricultura, Topografía, Geología, etc. En geociencias, ha sido de gran ayuda para obtener información geológica global en los lugares poco accesibles, optimizando el tiempo en la adquisición de datos en campo y resguardando la seguridad del ser humano, tecnología conocida mundialmente como la fotogrametría con drones.

Según Hernández (2014), para el diagnóstico de estabilidad de un talud rocoso, a parte de los datos relativos de la matriz sana de la roca, es primordial estudiar las discontinuidades, debido a que, en la mayoría de los casos, el origen de la inestabilidad del macizo rocoso se debe a su configuración. Por lo cual, es importante la descripción geomecánica de las discontinuidades y su disposición geométrica a lo largo del talud.

La utilización de la fotogrametría con dron en la mecánica de rocas, permite caracterizar medidas estructurales en macizos rocosos, evaluando las discontinuidades sobre planos expuestos, especialmente en lugares de difícil acceso.

Esta investigación busca determinar la calidad del macizo rocoso en las tres de concesiones mineras, a fin de tener una mejor perspectiva de lo que ocurre en el Cerro Guayabal por la geodinámica presente.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El creciente desarrollo en obras civiles y la construcción de urbanizaciones en la provincia de Manabí, después del sismo del 16 de abril de 2016, hizo que se incrementara la extracción de material en las minas San Carlos, Inmetro 2 y Río de Oro, concesiones pertenecientes a la empresa Canteras Uruzca S.A para la construcción de obras principalmente en los cantones de Manta, Montecristi y Portoviejo. Esto conllevó a una sobre explotación del Cerro Guayabal, ya que en las canteras se puede tomar en consideración los taludes totalmente verticales, estructuras geológicas como la presencia de diaclasas y fallas.

Estas concesiones mineras, no poseen información actualizada de topografía, geomecánica, geología y geodinámica que se encuentra en dicho lugar.

Se observaron varios problemas como derrumbes de tierra, caída y desprendimientos de rocas; problemas que tienen severas repercusiones ya que podrían causar hasta accidentes mortales en el personal que labora en dichas canteras, en la geología ambiental por afectación de la reserva que se encuentra en la parte alta de la cantera, comercio y economía de los accionistas de Canteras Uruzca, por lo que fue necesario realizar un Estudio Geomecánico Aplicando Fotogrametría para determinar la calidad del macizo rocoso.

1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Las canteras San Carlos, Inmetro 2 y Río de Oro, pertenecientes a la empresa Canteras Uruzca S.A, desarrollan sus labores en el cerro Guayabal, brindan trabajo a la ciudadanía manabita y son las principales fuentes de extracción de material para construcción en los cantones Manta, Montecristi y Portoviejo en la provincia de Manabí.

La importancia debe ser primero para las empresas públicas, en segundo lugar, las privadas. Y debe también ser aporte al conocimiento para nuestra UG o Facultad.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

Determinar la calidad del macizo rocoso de las canteras San Carlos, Inmetro 2 y Rio de Oro, mediante estudio geomecánico, aplicando métodos clásicos y fotogrametría para conocer más a detalle los afloramientos del cerro Guayabal, cantón Montecristi, provincia de Manabí, Ecuador.

1.3.2. Objetivos Específicos

- ✓ Describir de las características Geológicas del área de estudio.
- ✓ Realizar el levantamiento geomecánico mediante el método RMR.
- ✓ Ejecutar un levantamiento fotogramétrico con dron.
- ✓ Elaborar un modelo conceptual del área de estudio.

1.4. LOCALIZACIÓN Y ACCESIBILIDAD A LAS ÁREA DE ESTUDIO

1.4.1. Localización

Las áreas de estudio de las concesiones mineras, pertenecientes a la empresa Canteras Uruzca S.A, con una superficie aproximada de 118,91 ha, se encuentra ubicada en las laderas del Cerro Guayabal (Figura 2), el cual está localizado entre los cantones Montecristi y Portoviejo. Se encuentran limitadas por los polígonos, cuyas coordenadas se muestran en la Tabla 1.1. Está a una distancia de 15 km de Portoviejo y a 176 km desde el Terminal Terrestre de Guayaquil “Dr. Jaime Roldós Aguilera”.

1.4.2. Accesibilidad

Para llegar a las áreas de estudio de las tres concesiones mineras, partiendo de Guayaquil, es a través de la carretera Guayaquil-Portoviejo (Figura 1), si sale desde Portoviejo que se toma la carretera Portoviejo-Manta, hasta el cruce de las carreteras Portoviejo-Manta y Guayaquil-Portoviejo, se avanza entrando por un camino de tierra.

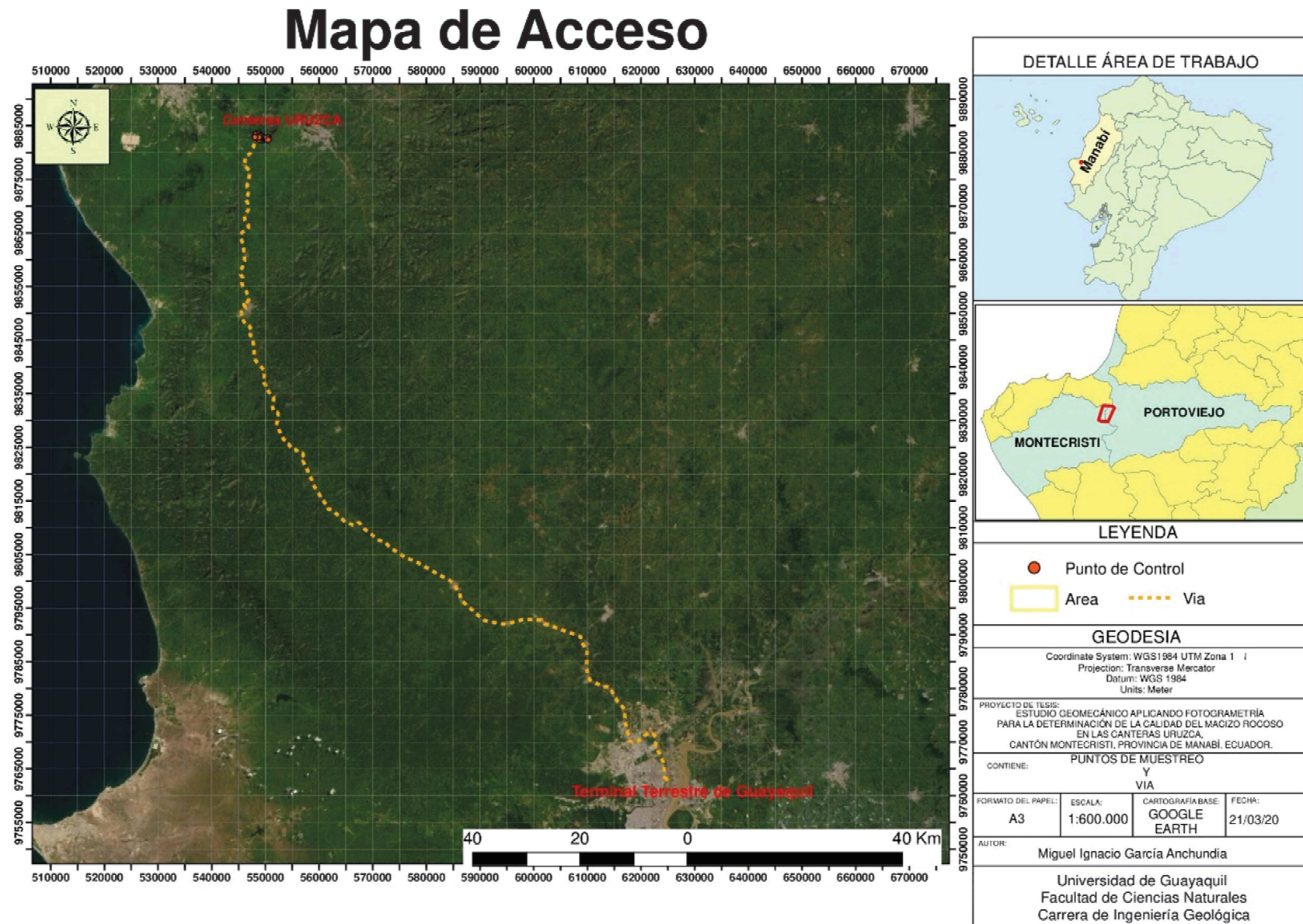


Figura 1. Ruta de Acceso al Área de Estudio desde El Terminal Terrestre de Guayaquil. Elaborado por Autor

Mapa de Ubicación

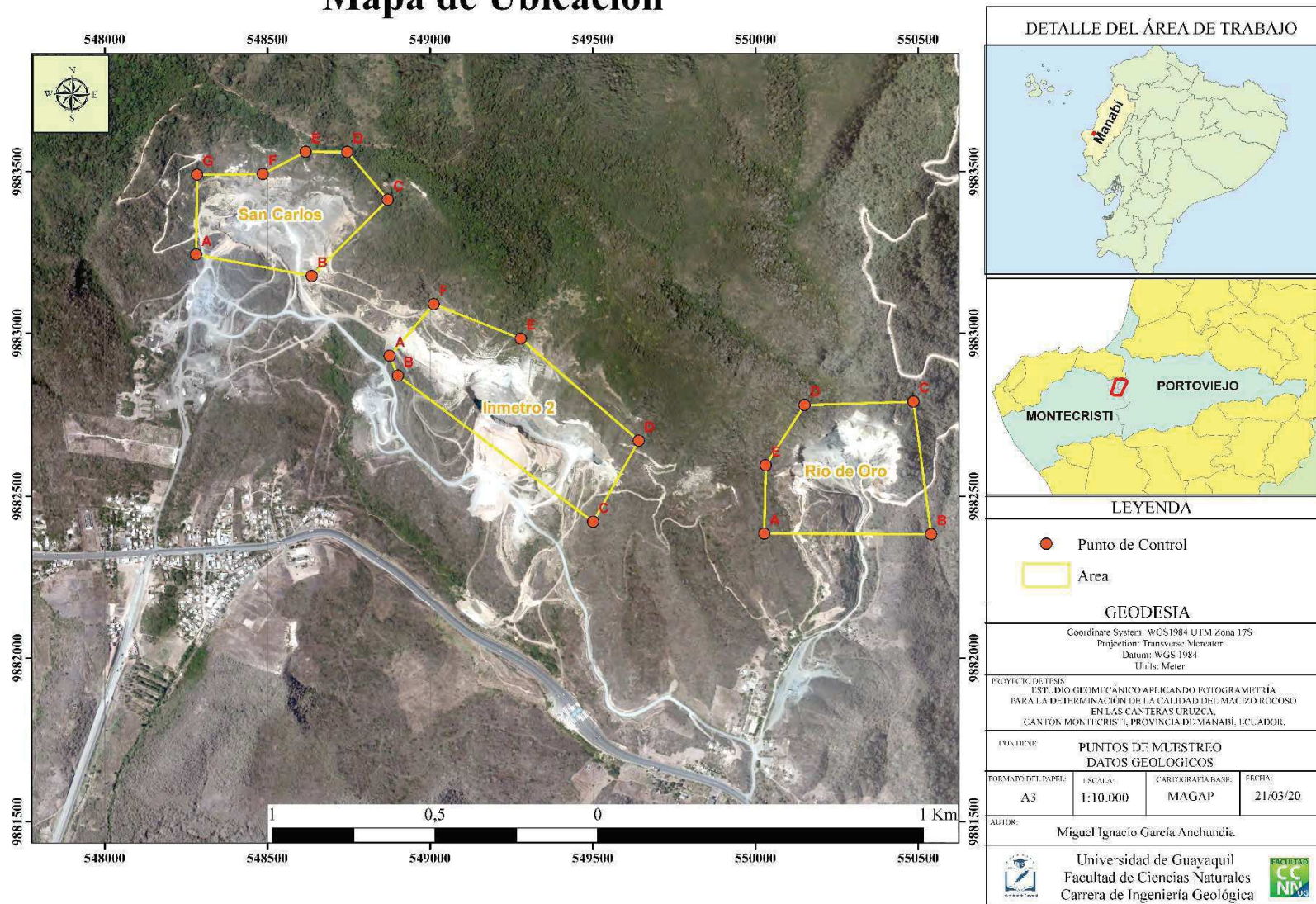


Figura 2. Zona De Estudio. Elaborado por Autor

Tabla 1. Coordenadas de los vértices de las áreas de estudio.

Concesiones	Puntos	Coordenadas UTM. Datum: WGS 84, Zona 17	
		X	Y
San Carlos	A	548281	9883246
	B	548636	9883180
	C	548870	9883414
	D	548745	9883560
	E	548617	9883561
	F	548486	9883492
	G	548284	9883490
Inmetro 2	A	548876	9882930
	B	548901	9882870
	C	549501	9882422
	D	549641	9882670
	E	549279	9882983
	F	549011	9883089
Rio de Oro	A	550027	9882386
	B	550540	9882384
	C	550486	9882791
	D	550151	9882779
	E	550032	9882595

Fuente: Datos tomados por autor, julio 2020

1.5. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

La metodología aplicada en el desarrollo de un estudio geomecánico aplicando fotogrametría para la determinación de la calidad del macizo rocoso se sintetiza en la figura.

1.5.1. Recopilación de información existente.

Se acudió a obtener información de fuentes primarias o directas, secundarias y generales, tales como:

- **Trabajo de gabinete previo al trabajo de campo**

- Publicación de trabajos geológico de la provincia de Manabí
- Tesis
- Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cantonales
- Páginas Web
- Análisis de mapas e imágenes satelitales del lugar

- **Reconocimiento global del área de estudio** donde se definirá los puntos y taludes de interés para el muestreo.

1.5.2. Levantamiento de la Geología Local.

Se concretó con un recorrido a lo largo del área de estudio, en el cual se reconoció y caracterizó la geología presente a partir de bibliografía seleccionada y cartografía temática consultable; se identificaron y calificaron estructuras, y se tomaron datos de rumbo y buzamiento.

1.5.3. Investigación Climatológica del Área.

Se investigó el clima del lugar, ya que la zona suele estar nublada la mayor parte del año y la velocidad del viento es fuerte. Las condiciones óptimas para realizar un sobre vuelo con dron, es una nubosidad máxima del 30% y una velocidad del 15 km/h, pero mucho mejor es que no exista nubosidad.

Se indagó en la plataforma Ventusky, la cual brinda datos meteorológicos fiables, obteniéndose las fechas exactas para realizar los vuelos de las 3 concesiones mineras pertenecientes a la empresa Canteras Uruzca S.A.

La página web de Ventusky estimó del 10 al 22 de julio de 2020 como fecha de posibles vuelos.

1.5.4. Plan de vuelos con dron.

Para determinar las rutas más idóneas para realizar los vuelos con dron en las concesiones mineras San Carlos, Inmetro 2 y Rio de Oro, pertenecientes a la empresa Canteras Uruzca S.A, se procedió a crear una nueva cartografía con datos del año 2015, utilizando el DEM para generar curvas de nivel otorgado por la página web del MAGAP. La carta topográfica Montecristi otorgada por el INGEM, tiene fecha de creación del año 2013.

1.5.5. Procesamiento de datos obtenidos.

Se necesitó de software especializado en geología y fotogramétrico (Argisoft y Argis 10.6), hojas de cálculo (Microsoft Excel) y registro de datos para la creación de mapas, perfiles, diagramas de secciones, modelos sólidos y gráficos de

interpretación, donde quedaron plasmadas las diferentes propiedades geomecánica del macizo rocoso y la geología.

1.5.6. Interpretación de material proyectado.

Representó la última fase del estudio, donde ya se contaba con todos los resultados de los datos geomecánico y fotogramétrico, por lo que se cumplió con un análisis minucioso de éstos, con el fin de identificar la calidad de macizo rocoso para aquellos estratos geológicos que se encontraron en las áreas de estudios.

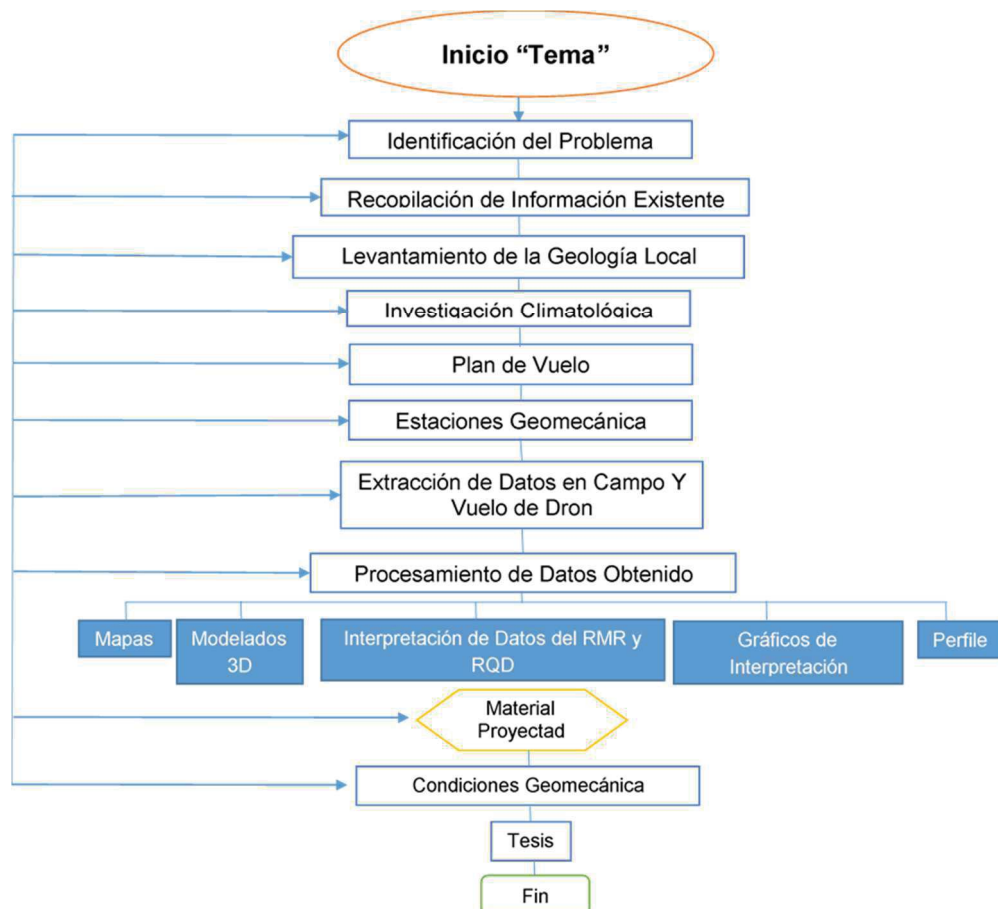


Figura 3 Diagrama de flujo de las fases desarrolladas en el trabajo. Elaborado por Autor.

1.6. INVESTIGACIONES PREVIAS

Son pocos los trabajos que se han desarrollado en la zona, siendo estos de tipo regional. Entre los proyectos efectuados anteriormente destacan:

- ✓ Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cantón Montecristi 2012-2020.
- ✓ Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cantón Portoviejo 2012-2020.

CAPÍTULO II

MARCO GEOLÓGICO

2.1. ESTRATIGRAFIA

2.1.1. Formaciones Geológicas Regional del Estudio

Formación Piñón

Está constituida principalmente por rocas de origen oceánica (las litologías que predominan son gabros, basaltos, volcano-sedimentos y pillow - lavas), aflora de manera masiva a lo largo de la cordillera Chongón-Colonche y existe también afloramientos en al occidente de la falla Jipijapa, anteriormente conocida como falla Portoviejo (Gossens et al, 1973)

Los afloramientos más extensos ocurren en la Cordillera Chongón Colonche. A lo largo de la Costa central del Ecuador aflora como un cinturón discontinuo. Desde Guayaquil es delineable a través de la Cordillera Chongón Colonche hasta Manta. (Bristow y Hoffstetter, 1977).

Exposiciones esporádicas en la Península de Santa Elena son consideradas olistolitos (Feininger, 1980), hacia el N una serie de afloramientos discontinuos se presentan cerca de la costa al W de Portoviejo; otro segmento se encuentra al NE de Bahía.

Formación Cayo

La localidad tipo está en la orilla sur de la Bahía de Puerto Cayo (Bristow, 1975). Está expuesta ampliamente en la Cordillera Chongón Colonche y muy esporádicamente al norte de Jama (Baldock, 1982). Pequeños afloramientos en la Península de Santa Elena son olistolitos (Feininger, 1980). Tiene un espesor de 3000m en el sur y se adelgaza progresivamente al norte. La simiente de la formación está compuesta por brecha volcánica de improvisación intermedia a básica y toda la parte inferior está oprimida por arenisca verde tobácea y wacke. Más arriba en la sección se presenta menos volcánica y en el tope de la formación las rocas dominantes son argilitas y pedernal (Feininger, 1980). Subyace a la litología terciaria que rellena las Cuencas Progreso y Manabí, descansando con una superficial discordancia sobre la Formación Piñón.

Formación Cerro

Está compuesta principalmente por rocas clásticas, constituida de tobas, lutitas y volcanosedimentarias, al norte de la falla Canandé (Landes 1944 y Sheppard 1946). Es considerada como parte inferior de la Formación Punta Blanca establecida en al norte de Manabí (Cushman y Stainforh 1951); comprende tres partes:

1. en la base, arenisca y microbrechas oscuras localmente con cemento calcáreo (20 m) similar adyacente de la caliza de San Eduardo
2. luego lutitas silíceas grises y cherts con radiolarios y
3. en la parte superior margas tobáceas cremas. La microfauna pertenece a la parte superior del Eoceno medio.

Formación San Mateo

Definida por Olsson, A.A. en 1942, su localidad tipo se encuentra a 10 km de la ciudad de Manta, en un pueblo homónimo a la Formación. Está constituida principalmente por areniscas de grano fino a medio y conglomerados. En dichos conglomerados se pueden observar fragmentos de las Formaciones infrayacentes como la Formación Cayo y Piñón, también se han reportado ripplemarks (rizaduras), marcas de fucoides y rastros de gusanos.

Se considera que la parte basal de la Formación San Mateo es de ambiente marino somero, pero la parte superior se vuelve más marina y no parece presentar variaciones de nivel estático (Ordoñez et al, 2006). Está sobrepuesta por la Formación Tosagua y descansa sobre la Formación San Eduardo, sobre la Piñón o sobre Cerro. Su potencia varía de 100 a 1700 m. Se encuentra ampliamente distribuida por la extremidad de la Península San Mateo – Cabo San Lorenzo y se extiende tierra adentro en los alrededores de los cerros de Montecristi, Hoja y Bravo.

Formación Tosagua

Descrita por Stainforth (1948). Según Whittaker (1988) la Formación Tosagua tiene una potencia de 1000 m. Está compuesta por los miembros Zapotal, Dos Bocas y Villingota. El miembro Zapotal solamente aflora en la Cuenca Progreso, los miembros Dos Bocas y Villingota afloran principalmente en el flanco

occidental de la Cuenca. Consiste en lutitas grises que se meteorizan con color chocolate y contienen una fauna nerítica bien preservada.

En la cuenca Manabí descansa sobre la Formación San Mateo. Los datos micropaleontológicos indican que la edad de la Formación va del Mioceno temprano a medio, su paleoambiente es marino de plataforma externa (Ordoñez et al, 2004).

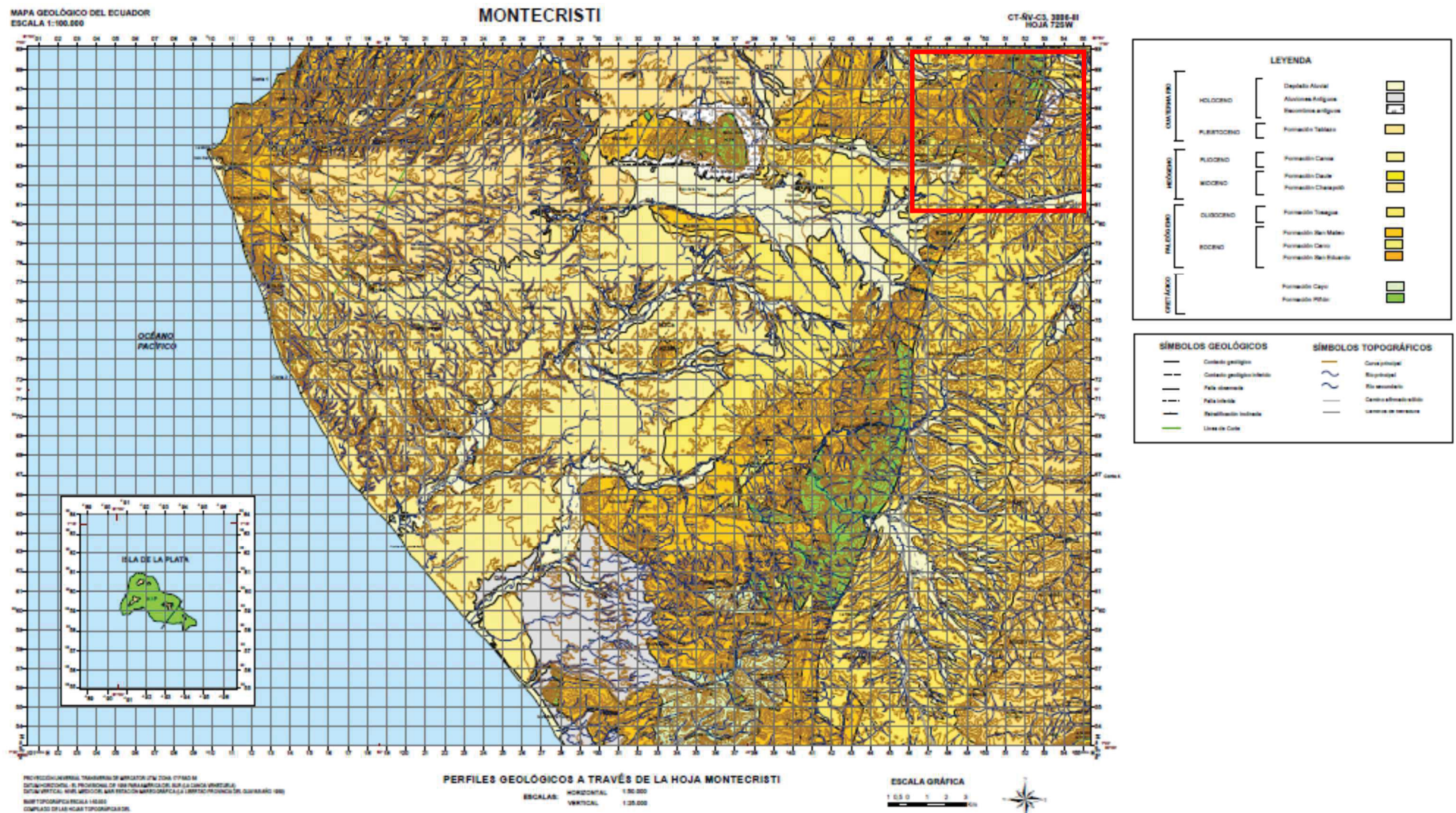


Figura 4. Mapa Geológico de Montecristi donde está marcada el área de estudio. (A. Lima, P. Yepez, 2009)

2.1.2. Cuenca Manabí

La Cuenca Manabí se localiza al NO de la región costanera ecuatoriana. Según Whittaker (1988) es la más grande de las cuencas costeras del Ecuador, extendiéndose 250 Km en dirección NNE. Berrones (1995) la define como una cuenca de antearco, formada por la subducción de la Placa Nazca por debajo del continente sudamericano. Limita al norte con las montañas de Jama, Cojimíes y con la Falla Esmeraldas, al sur con la Cordillera Chongón Colonche, al este con la Cordillera de los Andes, y al oeste con la Cordillera Costera (Figura 5). Whittaker opina que la Cordillera Chongón Colonche actuó como una barrera efectiva entre las cuencas Manabí y Progreso durante el Neógeno, siendo el límite norte menos distintivo, según lo evidencian los foraminíferos bentónicos de las cuencas Manabí y Borbón, ya que estas cuencas parecen haber estado conectadas particularmente en el Mioceno Temprano y Medio.

La estratigrafía de la Cuenca Manabí fue propuesta por Bristow (1975, 1976, 1976a) usando nombres formacionales tomados de las cuencas Borbón y Progreso. Esta terminología es la que ha sido empleada en el mapa geológico de escala 1:100000, antes de su confirmación con datos bioestratigráficos. Sin embargo, tal como lo manifiesta el Dr. Benítez esto fue un error. La Cuenca Manabí es una unidad geológica individualizada como lo demuestra su evolución estratigráfica y sedimentológica. Está constituida en su basamento por rocas cretácicas de la Formación Piñón, sobre las que yacen rocas volcano-terrágenas de la Formación Cayo, y clásticas neríticas de las formaciones Cerro, San Mateo, Playa Rica, Tosagua, Angostura, Onzole y Borbón, alcanzando un espesor de sedimentos que sobre pasa los 7.000 m en la parte más profunda de la cuenca.

Las formaciones pre - miocénicas no afloran en la Cuenca Manabí, han sido encontradas en los pozos Ricaurte - 1, Chone - 1 y Calceta - 1, perforados por Texaco - Pecten en los años 1987 - 1988. Con el fin de efectuar una zonación bioestratigráfica completa, se ha utilizado como base los análisis micropaleontológicos de foraminíferos, nanofósiles calcáreos y radiolarios efectuados al pozo Ricaurte - 1, localizado en el centro de la cuenca (Estudios efectuados por el desaparecido

CENTRO DE INVESTIGACIONES GEOLOGICAS DE PETROPRODUCCION-GUAYAQUIL).

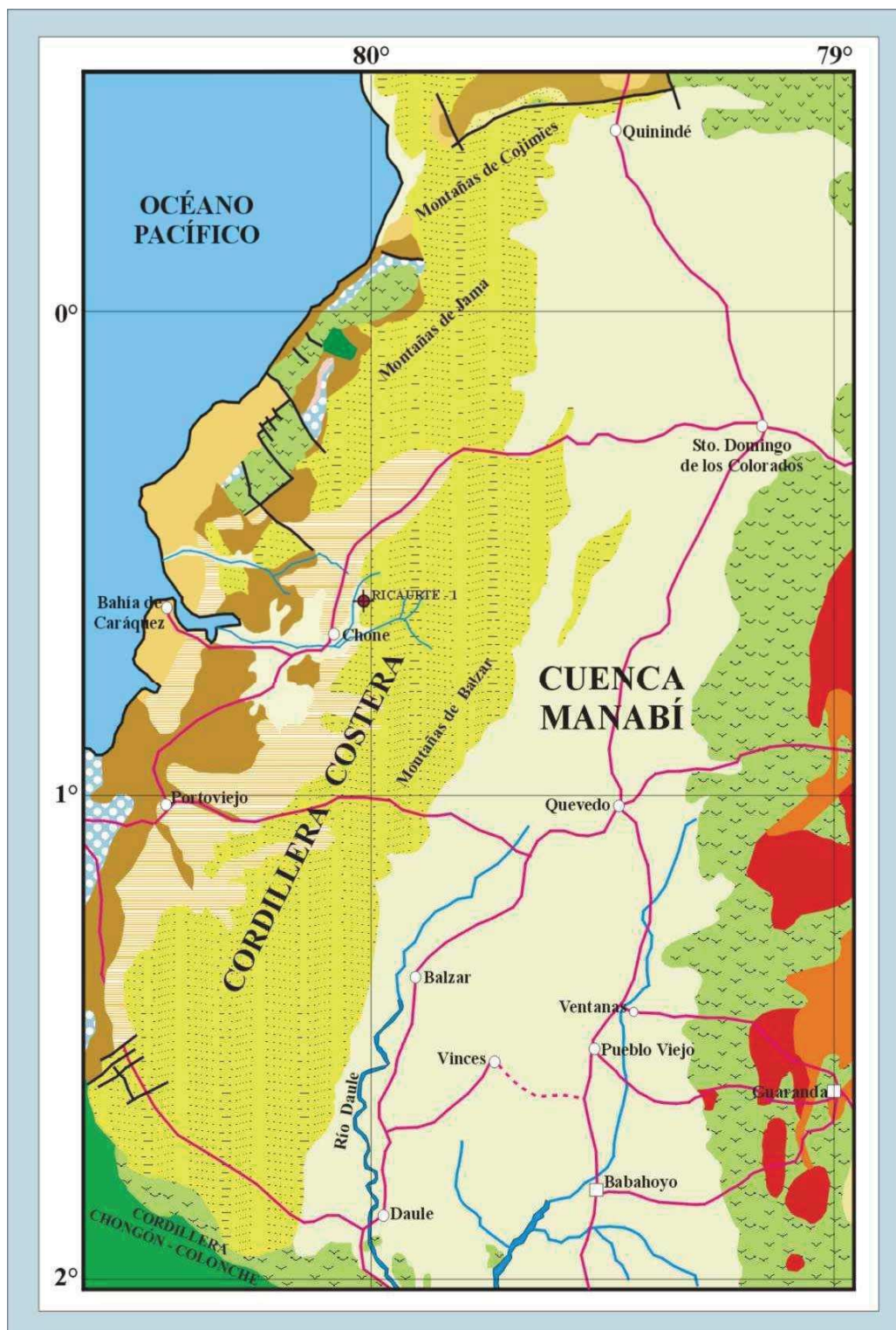


Figura 5 Mapa geológico de la Cuenca Manabí con la ubicación del pozo

2.2. GEOMORFOLOGÍA

Winkel, (1997) considera que el límite oriental de la Península de Manta son los cerros de Portoviejo, Montecristi y el tramo sur de la cordillera costanera. En toda la región, solo Manta y Jaramijó poseen una topografía muy simétrica con altitudes no mayores a los 50 m. Al oeste de la carretera Manta Montecristi toda la zona presenta un relieve bastante accidentado y elevaciones de hasta 300-320 m de altitud a lo largo de una dirección este-oeste que atraviesa el cabo San Lorenzo y el Aromo, lugar donde está ubicado el punto culminante y de máxima altura a 365 m.

Aquí comienza un amplio, suave y monótono plano inclinado, entallado únicamente por pequeños valles que bajan hacia el sur con suaves pendientes regulares hasta Puerto Cayo al pie del Mar. (Coronel, 2001).

2.3. GEOLOGÍA HISTÓRICA

Después del Volcanismo principal (Jurásico-Cretácico Medio), la sedimentación marina de la Formación Cayo se establece durante el Cretáceo Superior, evento sincrónico con el Flysch de la Sierra; se sedimentan grauvacas y arcillas localmente silicificadas alternadas con materiales provenientes de la erosión de los relieves volcánicos emergidos. Además, una actividad volcánica tardía deposita coladas de basalto durante la sedimentación de esta formación. (Granja *et al*, 2009).

Una fase de erosión se sitúa durante todo el Eoceno Inferior y una transgresión generalizada invade la región en el Eoceno Medio con caliza arrecifal de San Eduardo en la zona oeste, mientras que en la zona este se sedimentan las capas detríticas silíceas de la Formación Cerro. Una fase de erosión con posibles movimientos tectónicos y emisiones volcánicas fisurales tiene lugar a la base del Eoceno Superior y explica la fase transgresiva detrítica deltaica de la Formación San Mateo durante el Eoceno Superior sobre las formaciones anteriores.

El estudio sedimentológico demuestra la existencia de una zona emergida al oeste. La sedimentación prosigue y se vuelve más fina durante el Oligoceno hasta el Mioceno Inferior con las arcillas de la Formación Tosagua. Este ciclo sedimentario se

termina en el Mioceno Superior, se deposita la Formación Daule en ligera discordancia sobre la Charapotó, con areniscas y arcillas siltosas. Durante el Plioceno y el Cuaternario, las dos últimas transgresiones (Canoa y Tablazo) no invadieron nada más que la zona de la línea de Costa, rodeando los cerros costaneros (Granja, 1971).

2.4. MARCO LEGAL

2.2.1. Leyes y Reglamentos

A fin de precautelar la seguridad operacional, con el Art. 6, numeral 3, literal a) de la Ley de Aviación Civil, publicada en el Registro Oficial N°S435, se determina: “Dictar, reformar, derogar regulaciones técnicas, órdenes, reglamentos internos y disposiciones complementarias de la Aviación Civil Internacional y las que sean necesarias para la seguridad de vuelo, y la protección de la seguridad del transporte aéreo” (DAC, 2015).

A continuación, se presentará el reglamento elaborado por el DAC Ecuador el año 2015.

Tabla 2. Leyes elaboradas por el DAC ecuador. FUENTE (DAC, 2015)

Art. 1	Operaciones en las cercanías de un aeródromo
Se prohíbe la operación de las RPAS/UAS en espacios aéreos controlados.	
La operación de las RPAS/UAS se mantendrá durante toda la duración del vuelo, a una distancia igual o mayor a 9 kilómetros (5 NM) de las proximidades de cualquier aeródromo o base aérea militar.	
Art. 2	Altura máxima de vuelo
La operación de las RPAS/UAS no excederá en ningún momento una altura de vuelo de 400 pies (122 metros) sobre el terreno (AGL).	
Art. 3	Horas de operación
Las RPAS/UAS serán operadas solamente en las horas comprendidas entre la salida y la puesta del sol; y en condiciones meteorológicas de vuelo visual (VMC), libre de nubes, neblina, precipitación o cualquier otra condición que obstruya o pueda obstruir el contacto visual permanente con la RPAS/UAS.	
Art. 4	Responsabilidad por la operación
(a) La persona que opera los controles de las RPAS/UAS será responsable por la operación general de la misma durante todo el vuelo, en forma solidaria con el explotador o propietario de la aeronave.	
Art. 5	Integridad fisiológica del operador de una RPA
Ninguna persona operará los controles de una RPAS/UAS si:	
(a) Se encuentra fatigado, o si considera que pudiera sufrir los efectos de la fatiga durante la operación; (b) Se encuentra bajo el efecto del consumo de bebidas alcohólicas, o de cualquier droga que pudiera afectar sus facultades para operar los controles de manera segura.	
Art. 6	Funciones de automatización
Si las RPAS/UAS tienen la capacidad de realizar vuelo automático, esta función podrá ser utilizada solamente si le permite al operador de los controles intervenir en cualquier momento para tomar el control inmediato de la aeronave.	
Art. 7	Limitaciones
La persona que opera los controles de una RPAS/UAS es responsable por asegurarse que la misma sea operada de acuerdo con las limitaciones operacionales establecidas por el fabricante.	
Art. 8	Seguros
El propietario o explotador de las RPAS/UAS están en la obligación de responder por los daños causados a terceros, como resultado de sus actividades de vuelo, para lo cual debe contratar la póliza de seguros de responsabilidad civil legal a terceros en los montos mínimos establecidos en la tabla que consta a continuación:	
De 02 a 25 Kg. de masa máxima de despegue (MTOW)	
USD 3.000,00	
De más de 25Kg. masa máxima de despegue (MTOW)	
USD 5.000,00	

CAPÍTULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1. GEOMECAÁNICA

Es la ciencia que estudia el comportamiento mecánico de los materiales de origen geológico. Es el caso de macizos rocosos, conformados por un conjunto de bloques de matriz rocosa que presenta un comportamiento heterogéneo y anisótropo ligado a su fábrica y a la microestructura mineral (González, 2002).

Además, se distingue la presencia de discontinuidades, definidas como superficies de debilidad que imparten a la roca una condición de resistencia anisotrópica que afecta al medio rocoso (diaclasas, planos de estratificación, falla, etc). (Gavilanes & Andrade, 2004). Mecánicamente el macizo rocoso se caracteriza por el peso específico, resistencia y deformabilidad. (González, L.2002).

3.1.1. Grado de Meteorización del Macizo Rcoso

“El grado de meteorización de la roca condiciona de forma definitiva sus propiedades mecánicas” (Tabla 3). “Según avanza el proceso de meteorización aumentan la porosidad, permeabilidad y deformabilidad del material rocoso” (González, 2002), por lo tanto, es importante evaluar al macizo rocoso como un solo elemento (Gavilanes & Andrade, 2004)

Tabla 3. Descripción de la meteorización de la roca intacta.

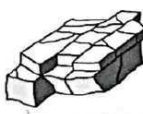
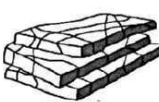
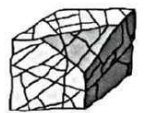
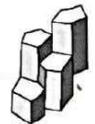
Término	Descripción
Fresco	No aparecen signos de meteorización
Ligeramente meteorizada	La decoloración indica alteración del material rocoso y de las superficies de las discontinuidades.
Moderadamente meteorizada	Decoloración evidente. Superficie moteada y alterada, llegando incluso a presentarse por debajo de la superficie de la roca
Altamente meteorizada	Decoloración total. La alteración de la roca se extiende por casi todo el bloque o pieza considerada
Desintegrada	La roca se ha meteorizado a la condición de un suelo

Fuente: González, 2002

3.1.2. Tamaño de bloques

“El tamaño de los bloques que forman el macizo rocoso condiciona de forma definitiva su comportamiento, propiedades resistentes y deformación”; (Tabla 4.) “La dimensión y la forma de los bloques están definidas por el número de familias de discontinuidades, orientación, espaciado y continuidad” (Palmström, 1995).

Tabla 4. Grado de fracturación y descripción del tamaño de bloques

Descripción	J_v (discontinuidades/m ³)	Forma de bloques		
Bloques considerablemente grandes	< 0.3			
Bloques muy grandes	0.3 - 1	BLOQUES POLIÉDRICOS	BLOQUES EQUIDIMENSIONALES	BLOQUES PRISMÁTICOS
Bloques grandes	1 - 3			
Bloques de tamaño medio	3 - 10			
Bloques pequeños	10 - 30	BLOQUES TABULARES	BLOQUES ROMBOÉDRICOS	BLOQUES COLUMNARES
Bloques muy pequeños	30 - 100			
Bloques considerablemente pequeños	>100			

Fuente: Palmstrom, 1995

3.1.3. Rock Quality Designation (RQD)

La calidad de la roca (RQD), se determina a partir del porcentaje de trozos de testigos mayores a 10 cm recuperados en un sondeo (Deere, 1967). Pero también se puede estimar en afloramientos mediante relaciones establecidas por Palmström (1995).

$$RQD = 115 - 3.3 J_v ; \text{ si } J_v > 4.5 \quad (\text{Ec. 1})$$

$$RQD = 100 \text{ si } J_v \leq 4.5 \quad (\text{Ec. 2})$$

$$J_v = \frac{n^\circ \text{ de discontinuidades}}{\text{Longitud medida}} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

J_v = Índice volumétrico de juntas o número de juntas por metro cúbico

3.1.4. Orientación

“La orientación de una discontinuidad en el espacio queda definida por la dirección de buzamiento y por su buzamiento” (Fig.5). “Su medida se realiza mediante la brújula” (González, 2002).

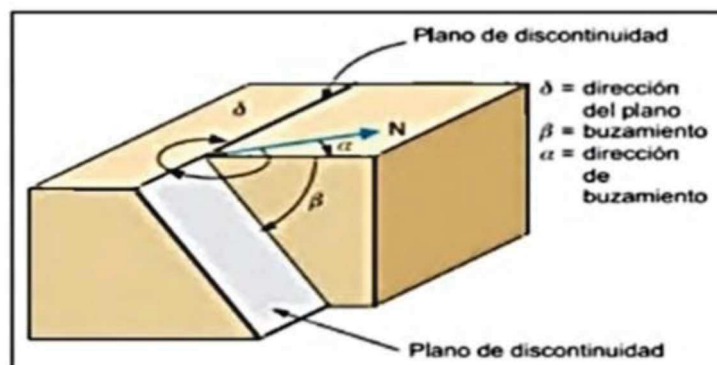


Figura 6. MEDIDA DE LA ORIENTACIÓN DE DISCONTINUIDADES. FUENTE: GONZÁLEZ, 2002

3.1.5. Espaciamiento

Constituye la distancia perpendicular entre discontinuidades de un mismo set o familia. Además, el espaciado de discontinuidades adyacentes controla el tamaño de los bloques individuales del macizo rocoso. (Merino ,2017).

Tabla 5.Terminología para el Espaciamiento de discontinuidades

Descripción	Espaciado (mm)
Extremadamente cerrado	<20
Muy cerrado	20-60
Cerrado	60-200
Moderado	200-600
Espaciado	600-2000
Muy espaciado	2000-6000
Extremadamente espaciado	>6000

Fuente: Gavilanes & Andrade, 2004

3.1.6. Persistencia

Es la extensión o tamaño de las discontinuidades, se puede cuantificar observando la longitud de la traza en la superficie expuesta. (González, 2002)

Tabla 6. Terminología para Persistencia o Continuidad de discontinuidades Fuente: (González, L. 2002)

Persistencia	Longitud (m)	Diagrama
Muy baja persistencia	<1	
Baja persistencia	1-3	
Persistencia media	3-10	
Alta persistencia	10-20	
Muy alta persistencia	>20	

3.1.7. Rugosidad

Este parámetro hace referencia a la ondulación e irregularidades de las superficies de las discontinuidades (González, L. 2002).

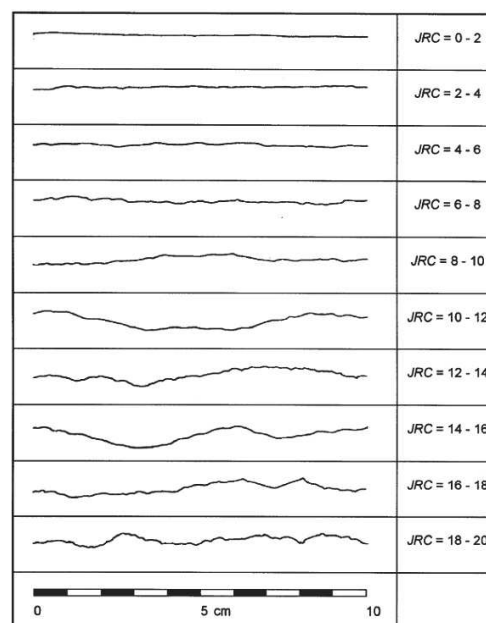


Figura 7: Los perfiles de rugosidad conjunta de roca que muestra el típico rango de JRC (Barton & Chubey 1977).

3.1.8. Abertura

Es la distancia perpendicular que se aleja a las paredes de la discontinuidad cuando no posee relleno. Este parámetro puede ser muy variable en diferentes zonas

de un mismo macizo rocoso, es así que, en superficie la abertura puede ser muy ancha y conforme se incrementa la profundidad puede llegar a cerrarse.

Tabla 7. Terminología para Abertura de discontinuidades

Descripción	Abertura
Muy cerrada	< 0.1 mm
Cerrada	0.10 a 0.25 mm
Parcialmente abierta	0.25 a 0.50 mm
Abierta	0.50 a 2.50 mm
Moderadamente ancha	2.50 a 10 mm
Ancha	10 mm
Muy ancha	1 a 10 cm
Extremadamente ancha	10 a 100 cm
Cavernosa	>1 m

Fuente: Gavilanes & Andrade, 2004.

3.1.9. Relleno

Existe gran variedad de materiales de relleno con propiedades físicas y mecánicas muy variables. “Las discontinuidades pueden estar rellenas del mismo material de las paredes del macizo rocoso o de materiales de distinta naturaleza” (González, 2002).

Tabla 8. Tipo de Relleno

Tipo de relleno	Tamaño
Ninguno	-
Duro	< 5 mm
Duro	> 5 mm
Blando	< 5 mm
Blando	> 5 mm

Fuente: Gavilanes Jiménez & Andrade Haro, 2004.

3.1.10. Calidad del macizo rocoso por el método de Bieniawski (RMR)

El Rock Mass Rating (RMR) desarrollado por Bieniawski (1973), constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos, que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos, tales como: resistencia uniaxial de la matriz rocosa, RQD, espaciamiento, persistencia, condiciones hidrogeológicas y orientación de las discontinuidades. Desde entonces ha sufrido diferentes cambios la clasificación ha tenido importantes modificaciones en siguientes años:

- 1974 - Suprimió de 8 a 6 parámetros
- 1975 – De las calificaciones y la disminución de los requerimientos de soporte.

- 1976 – Reforma de límites de género de macizo rocoso en múltiplos pares de 20.
- 1979 –Admisión de ISRM (1978) para delineación de macizo rocoso
- 1989 –Reforma en las condiciones de discontinuidades y de agua.

Tabla 9. Tabla referencial del método RMR. (Bieniawski, 1973)

Modificaciones Del RMR	1973	1974	1975	1976	1989
Resistencia de la roca	10	10	15	15	15
RQD	16	20	20	20	20
Espaciado de la discontinuidades	30	30	30	30	20
Separación de las discontinuidades	5				
Continuidad de las discontinuidades	5				
Condición de agua subterránea	10	10	10	10	15
Meteorización	9				
Condición de la discontinuidades		15	30	25	30
Rumbo y orientación		15			

3.1.11. Aplicaciones y utilidades.

El RMR, es utilizado en proyectos y diseños de excavaciones, permite determinar la calidad del macizo rocoso, introduce varios aspectos en la elaboración del índice RMR.

Es aplicado en las disciplinas de la ingeniería como la geología, minería, ingeniera civil, topografía y disciplinas que tenga en cuenta la estructura de un macizo rocoso, en afloramientos o taludes y túneles o minería subterránea.

3.1.12. Instrumental

Los equipos y materiales que se utilizaron en la ejecución del levantamiento geomecánico se los observa en la figura 8 y son:

1. Chaleco
2. Tablero con las hojas del formato para el RMR
3. Lápiz, Pluma y Lápiz de dureza
4. Libreta de Campo
5. Funda de tela para la recolección de muestra
6. **a** Brújula Brunton Axis **b** estuche
7. cinta métrica de 30mts
8. Spray de Pintura



Figura 8. Instrumental: 1. Chaleco 2. Tablero con las hojas del formato para el RMR 3. Lápiz, Pluma y Lápiz de dureza 4. Libreta de Campo 5. Funda de tela para la recolección de muestra 6. a Brújula Brunton Axis b estuche 7. cinta métrica de 30mts 8. Lata de Pintura 9. Flexómetro de 8mts 10. Lupa 11. Piqueta para roca ígnea 12. Navegador GPS Garmin 13. Casco.

3.1.13. Selección de Estaciones Geomecánica del área de Estudio

Utilizando los datos obtenidos de la investigación de documentos, las ortofotografía, el DEM que sirvió para generar nueva cartografía con curvas de nivel más reciente del lugar, además de visitas de campo en diferentes fechas.

Se ubicaron los sitios más idóneos para hacer las EGM (Estaciones Geomecánica), utilizando la información indicada anteriormente se realizó un análisis multicriterio puntualizado para las zonas a estudiar, seleccionándose 5 EGM, con posibilidad de ser incrementadas, pero en la salida de campo, ya que estas canteras son muy activas y por ende sufren constantes cambios en su geomorfología. Finalmente se incrementaron 3 EGM más.

3.1.14. Método RMR

La técnica se basa en la recopilación de los siguientes parámetros en campo para determinar la calidad de un macizo rocoso:

- ✓ Resistencia de la roca sana usando los golpes de la piqueta.
- ✓ El índice RQD
- ✓ Separación de discontinuidades o Espaciado
- ✓ Estado de las discontinuidades que consiste en continuidad, apertura, rugosidad, relleno y alteración.
- ✓ Presencia de agua

Cada uno de los parámetros citados anteriormente tendrán valorización de acuerdo con la tabla de clasificación RMR geomecánica de Bieniawski 1989.

Tabla 10. Tabla de Clasificación RMR

PARAMETRO			ESTIMACION Y ESCALA DE VALORES						
1	Resistencia de la roca sana	Carga puntual MPa⇔ Kg/cm ² (aprox)⇔	> 10 100	4 – 10 40 – 100	2 – 4 20 – 40	1 – 2 10 – 20	Únicamente Compresión Simple		
		Compr. Simple MPa⇔ Kg/cm ² (aprox)⇔	> 250 >2 500	100 – 250 1 000-2 500	50 – 100 500 – 1 000	25 –50 250 – 500	5-25 50-250	1-5 10-50	< 1 <10
		Valoración	15	12	7	4	2	1	0
	RQD %		90 – 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
2	Valoración		20	17	13	8	3		
3	Separación de discontinuidades		> 2 m	0,6 – 2 m	0,2 – 0,6 m	0,06 – 0,2 m	< 0,06 m		
	Valoración		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades (ver guía especial)		Muy rugosas. Discontinuas. Sin separaciones. Borde sano y duro.	Ligeramente rugosas. Abertura <1 mm. Bordes duros.	Ligeramente rugosas. Abertura<1mm Bordes blandos	Espejo de falla o con relleno < 5 mm o abiertas 1 – 5 mm. Diaclasas continuas	Relleno blando > 5 mm o abertura > 5 mm Diaclasa Continua		
	Valoración		30	25	20	10	0		
5	Presencia de agua	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 L/min	10 – 25 L/min	25 – 125 L/min	>125 L/min		
		Relación entre la presión de agua y la mayor del terreno σ_w / σ_1	0	0 – 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,5	> 0,5		
		Estado general	Seco	Ligeramente Húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo		
	Valoración		15	10	7	4	0		

Tabla 11. Guía especial para valorar el parámetro 4.

Parámetro	Valoración				
Longitud de la discontinuidad (Persistencia)	< 1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	> 20 m
	6	4	2	1	0
Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1 – 1,0 mm	1 – 5 mm	> 5 mm
	6	5	3	1	0
Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave
	6	5	3	1	0
Relleno	Ninguno	Relleno duro	Relleno duro	Relleno blando	Relleno blando
		< 5 mm	> 5 mm	< 5 mm	> 5 mm
	6	4	2	2	0
Alteración	Inalterado	Ligeramente alterado	Moderadamente alterado	Muy alterado	Descompuesto
	6	5	3	1	0

De acuerdo con cada valor que se otorga a los parámetros, se sumaran todos estos valores para obtener el valor de RMR, arrojará la clase y la calidad del macizo rocoso (Tabla12).

Tabla 12. Clasificación y Valoración Geomecánica RMR de Bieniawski y Características.

Valoración RMR⇒	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20
Clase⇒	I	II	III	IV	V
Calidad⇒	Muy Buena	Buena	Media o regular	Mala	Muy mala
Tiempo de sostenimiento y longitud de claro (inicial 1979)	10 años con 15 m de claro	6 meses con 8 m de claro	1 semana con 5 m de claro	10 horas con 2,5 m de claro	30 min con 1 m de claro
Tiempo de sostenimiento y longitud de claro (Bieniawski, 1989)	20 años con 15 m de claro	1 año con 10 m de claro	igual	igual	igual
Cohesión de la roca MPa kg/cm ²	>0,4 > 4	0,3 – 0,4 3 - 4	0,2 – 0,3 2 - 3	0,1 – 0,2 1 - 2	< 0,1 < 1
Ángulo de rozamiento interno	> 45°	35 – 45°	25 – 35°	15 – 25°	< 15°

3.1.15. Análisis de datos Geomecánico

Obtención de los parámetros para el RMR

Se procedió al ingreso datos de campo utilizando el fichero (Tabla.13) para procesar la información usando la metodología RMR.

Tabla 13. Ficha para obtener datos para RMR

LUGAR:		COORDENADAS:										PROSPECTOR:																
ESTACIÓN:		FECHA:										OBSERVACIONES:																
MEDIDAS		T1	T2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
TIPO DE PLANO																												
DIP DIR																												
DIP-																												
CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES																												
ESPACIADO																												
> 2000 mm																												
600 - 2000 mm																												
200 - 600 mm																												
80 - 200 mm																												
< 80 mm																												
CONTINUIDAD																												
< 1 m																												
1-3 m																												
3-10 m																												
10-20 m																												
> 20 m																												
APERTURA																												
Nada																												
< 0.1 mm																												
0.1-1.0 mm																												
1-5 mm																												
> 5 mm																												
RUGOSIDAD																												
Ondulación																												
JRC																												
AGUA																												
Seco																												
Lia. húmedo																												
Húmedo																												
Goteando																												
Fluyendo																												
RELLENO																												
Naturalaleza																												
Espesor																												
METEORIZACION																												
Fresco o inalterado																												
Ligeramente alt.																												
Moderadamente alt.																												
Muy alterada																												
Descompuesta																												
RESIST DISC																												
RQD - TAL																												
PERFIL 1																												
PERFIL 2																												
PERFIL 3																												
PERFIL 4																												
PERFIL 5																												

Fuente: Elaborada por Autor

3.2. FOTOGRAMETRIA

Es un método de estudio, el cual consiste en determinar las características de campo con el objetivo de permitir medir con mayor precisión el área a estudiar ya que existen sitios poco accesibles.

En esencia es una técnica de medición de coordenadas 3D la cual utiliza fotografías aéreas. Si usa dos imágenes de una misma zona en común, puede llegar a visualizar en 3D. Existen 5 tipos de fotogrametría: Analógica, Analítica, Digital, Aérea y Terrestre.

Para esta técnica es imprescindible la visión estereoscópica (Figura 9), debido a que permite la percepción de profundidad a través del cruce de dos fotográficos es decir observar dos imágenes enfocadas desde distintos ángulos de un mismo punto.

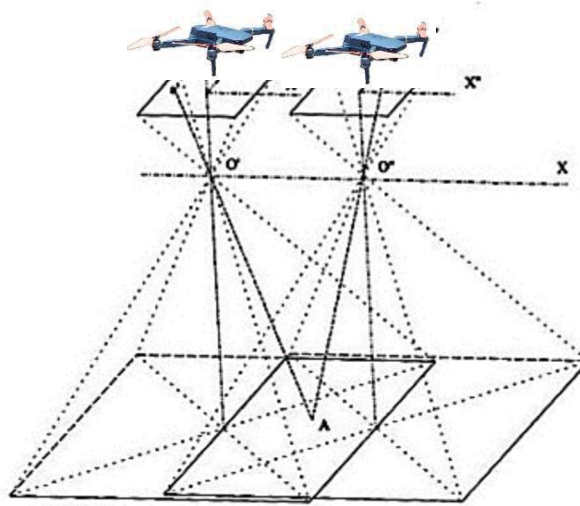


Figura 9. Visión Estereoscópica desde los puntos Y' y Y'' FUENTE: Elaborado por Autor

3.2.1. Nubes de Puntos

La nube de puntos densa de las fotografías se emplea para reconstruir una posición en el espacio, permitiendo estimar las posiciones iniciales de la cámara. En la mayoría de los casos, la transformación de la imagen SFM (Structure from motion) a coordenadas espaciales se puede lograr utilizando una similitud tridimensional, basada en un mínimo número de puntos de control (GCP) con coordenadas espaciales conocidas del objeto.

En la creación de la nube de puntos densa su tiempo de procesamiento variará, dependiendo de la calidad de las fotos y los recursos de la computadora que se está utilizando.

3.2.2. Técnica de la Fotogrametría

El objetivo de esta técnica es definir con precisión la forma, dimensiones y ubicación de objetos en el espacio, a través de medidas a partir de la intersección de dos o más imágenes. Esta técnica es básicamente la elaboración de diseños 3D, topografía, cálculos volumétricos, entre otras.

3.2.3. Instrumental

Los equipos y materiales que se utilizaron en la ejecución del levantamiento fotogramétrico se los observa en la figura 10 y son los siguientes:

1. Chaleco
2. Libreta de campo
3. Lapiz y Pluma
4. Navegador GPS GARMIN
5. Dron DJI Mavic Pro
6. Casco



Figura 10. Instrumental: 1. Chaleco 2. Libreta de campo 3. Lapiz y Pluma 4. Navegador GPS GARMIN 5. Dron DJI Mavic Pro 6. Casco

3.2.4. Metodología Aplicada en un Levantamiento Fotogramétrico

En la ejecución de este estudio se utilizó una variante de la fotografía digital tomadas con dron.

La metodología aplicada consistió en:

1. Planeación de Vuelo
2. Tomas de las fotografías aérea
3. Procesamiento de las fotografías (Importar las fotografías a Agisoft, Nubes de Punto densas, Mallado, Textura, Ortomosaico).

Planeación de Vuelo para la realizar de las fotos tomadas con el dron.

Se investigó el clima del lugar, ya que la zona suele estar nublada la mayor parte del año y la velocidad del viento es fuerte. Las condiciones óptimas para realizar un sobre vuelo con dron, es una nubosidad máxima del 30% y una velocidad del 15 km/h, pero mucho mejor es que no exista nubosidad.

Se indagó en la plataforma Ventusky, la cual brinda datos meteorológicos fiables, obteniéndose las fechas exactas para realizar los vuelos de las 3 concesiones mineras pertenecientes a la empresa Canteras Uruzca S.A.

La página web de Ventusky estimó del 10 al 22 de julio de 2020 como fecha de posibles vuelos.

Toma de la fotografía aérea

Se procedió hacer un reconocimiento de las áreas de estudio para poder determinar de qué puntos pueda despegar el dron, ya que éste toma como referencia 0 en altura, por lo que altitud es una de las variantes que afecta el sobrevuelo y por ende la realización de la fotogrametría.

Para tener una mejor resolución de las fotos, se las realizó con un bajo GSD de 2.5, con lo que se logró un mejor trabajo fotogramétrico.

Lo cual se pudo realizar cuando la nubosidad de las áreas de estudio fue menor al 40% y una altura constante en la línea de vuelo de unos 70 m.

Procesamiento de las Fotografías

Para realizar el procesamiento de las fotografías tomadas con dron se utilizó el programa agisoft photoscan, dividiéndose en las siguientes etapas:

- ✓ Se procedió a orientar las fotografías tomadas de cada una de las áreas de estudios.
- ✓ Se creó la nube de puntos densa
- ✓ Se procedió a realizar el mallado,
- ✓ Se creó el modelo de elevaciones
- ✓ Se realizó el ortomosaico

Este procesamiento ayudó a comprender de una mejor manera la evolución de la geomorfología, la geología y la geomecánica del afloramiento de acuerdo con la fotogrametría de la zona de estudio.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. INTRODUCCION

Las áreas investigadas correspondiente a las concesiones mineras San Carlos, Inmetro 2 y Rio de Oro, pertenecientes a la empresa Canteras Uruzca S.A, las cuales se observan en la Figura 11, son minas a cielo abierto, ubicadas en la provincia de Manabí, es en este lugar donde mejor se observa el contacto de las formaciones Cayo y Piñón.

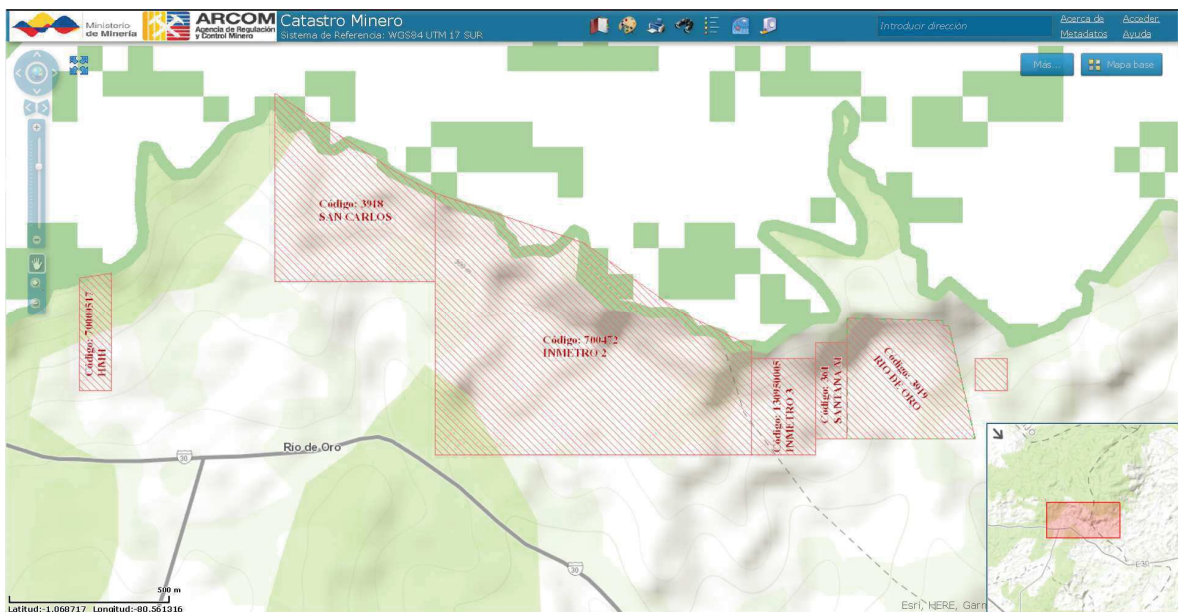


Figura 11: Catastro Minero del Ecuador. Fuente ARCOM, 2015

4.1.1. Geomorfología

El área de estudio se encuentra ubicada en el valle que comparte Portoviejo y Montecristi, la tendencia de las estructuras dan una idea de la repartición de las formas de los relieves de la zona. Presenta un relieve característico de esta zona descrita por Winckell et al (1997).

En la Figura 12, fotografía tomada desde la concesión San Carlos, se observa la geomorfología de las canteras Uruzca que se encuentran en la falda del cerro

Guayabal, la cual nos indica una rápida explotación de las canteras lo cual modifica su morfología.



Figura 12: Vista desde la concesión San Carlos, se observa parte de la depresión de Montecristi- Portoviejo, una zona deprimida rodeada por cerros que superan los 400 msnm.

4.2. GEOLOGÍA LOCAL

Introducción

Las canteras investigadas se localizan en una zona tectónicamente activa, sobre litologías de las formaciones geológicas Piñón (edad Cretácica), Cayo (edad Eoceno), Cerro (edad Eoceno), San Mateo (edad Mioceno), Dos Bocas (edad Mioceno temprano a Mioceno medio) y Terrazas Antiguas- Miembro Tablazos (edad Cuaternaria). El área está dominada e influenciada por varias estructuras.

Una etapa de desgaste se sitúa durante el Eoceno inferior y una trasgresión generalizada invade la región en el Eoceno medio con calla arrecifal de San Eduardo en la zona oeste, mientras que en la zona este se sedimentan las capas detríticas y síliceas de la Cerro. Una fase de erosión con posibles movimientos tectónicos (y emisiones volcánicas fisúrales) tiene lugar a la base del Eoceno superior y explica la fase transgresiva detrítica deltaica de la San Mateo durante el Eoceno superior sobre las formaciones anteriores.

El estudio sedimentológico demuestra la existencia de una zona emergida al Oeste. La sedimentación prosigue y se vuelve más fina durante el Oligoceno hasta el Mioceno inferior con las arcillas de la Tosagua.

Durante el Mioceno superior, se deposita la formación Daule en ligera discordancia sobre la Charapotó, con areniscas y arcillas siltosas. La zona de aportes se cambia de Oeste a Este (Cordillera Andina). Durante el Plioceno y el Cuaternario, las dos últimas transgresiones (Canoa y Tablazo) no invadieron nada más que la zona de bordura de la Costa, rodeando los cerros costaneros.

Los trabajos geomecánico, geológico y fotogramétrico realizados en las tres concesiones mineras, comprendiendo un sobrevuelo para la obtención de la nube de punto densa, además un total de 8 estaciones geomecánicas y 10 afloramiento o taludes.

El mapa geológico local (Figura13), se lo elaboro teniendo como referencia el mapa de geología regional, hoja Montecristi, Esc:1:100 000, se pudo comprobar en observaciones de los afloramientos las formaciones que se describen a continuación.

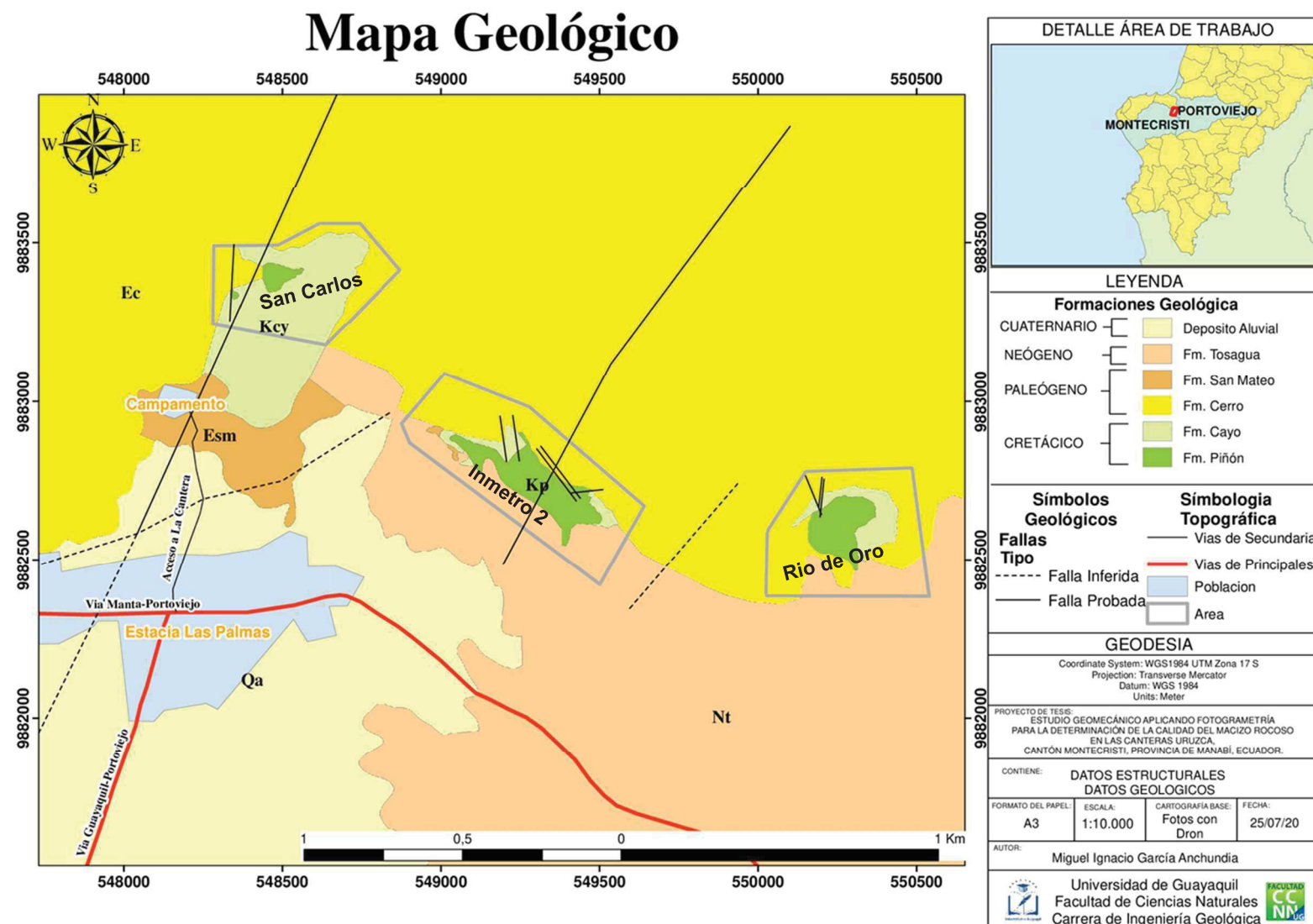


Figura 13. Mapa Geológico Fuente: Elaborado por autor

4.3. CONCESIÓN “SAN CARLOS”



Figura 14. Foto Aérea de la concesión "San Carlos". Fuente: Elaborado por Autor

4.3.1. Geología a Detalle

Con la ayuda del mapa geológico de la zona elaborado en el 2009, en conjunto de la bibliografía de la zona se pudo comprobar la geología en cada una de las concesiones.

En esta concesión se logró observar formaciones: Piñón, Cayo, Cerro y Depósitos aluvial.

4.3.2. Descripción Litológica

Muestra MG 1

Coordenadas UTM X:548337 Y:9883321 Z:326.

Datum: WGS84, Zona 17S

Análisis Macroscópico

Roca gris oscura verdosa de grano fino, rasgos de alteración en la parte externa, los microcristales de color blanco son de plagioclasas, se observa vesículas, contiene minerales magnéticos, algunas venillas rellenas de minerales epigenéticos óxidos de hierro y calcáreos.



Figura 15. Foto de muestra MG1

LÁMINA DELGADA

Se elaboró la lámina delgada MG 1 de la muestra MG 1

Lámina MG 1

Análisis Microscópico

Textura porfirítica intergranular, con cristales de diferente tamaño, en zonas se observa concentraciones de plagioclasas y ferro magnesianos (anfíboles) alterados a clorita y epidota.

- **Porcentaje Aproximado de Mineral**

Fenoscristales	100%
Plagioclasas	40-45
Piroxenos	10-20
Anfíboles	2-6
Minerales de Alteración	10-20
Opacos	2-10

- **Características de los Minerales**

Plagioclasas Gran parte de estos microcristales están ligeramente alterados y alargados, dispersos, incoloros en luz natural y relieve moderado, se observa maclados polisintéticos dobles, son de formas bien desarrolladas, en algunos se observa sus bordes corroídos con zonas de minerales fino-granulares. Tiene un clivaje bien desarrollado en una dirección, algunos cristales presentan un ángulo extinción inclinada.

Ferro magnesianos (silicatos de hierro y magnesio) Se identifican principalmente microcristales de piroxenos y pocos anfíboles (hornblendas) se han identificado por su clivaje característico, bajo el microscopio son de colores fuertes de birrefringencia, color café claro y tinte verdoso en luz natural, presentan relieve moderado - alto, la mayoría de los cristales tienen su clivaje poco desarrollado, son de formas subhedrales, la gran mayoría presenta sus bordes alterados en clorita y colores falsos de birrefringencia, se observa adicionalmente microcristales de piroxenos (augitas) con relieve alto y clivaje perpendiculares, los piroxenos tienen características de augitas y son los minerales que se observa como microcristales y en la matriz, por sus propiedades ópticas, colores de birrefringencia de segundo orden, por su relieve alto.

Como minerales de alteración se observa clorita asociados a ferro magnesianos (hornblenda). En zonas de vetillas se observa sílice secundaria, clorita y calcita, en secciones se encuentran rellenando espacios en la matriz. Tiene minerales opacos (metálicos) que pueden ser sulfuros.

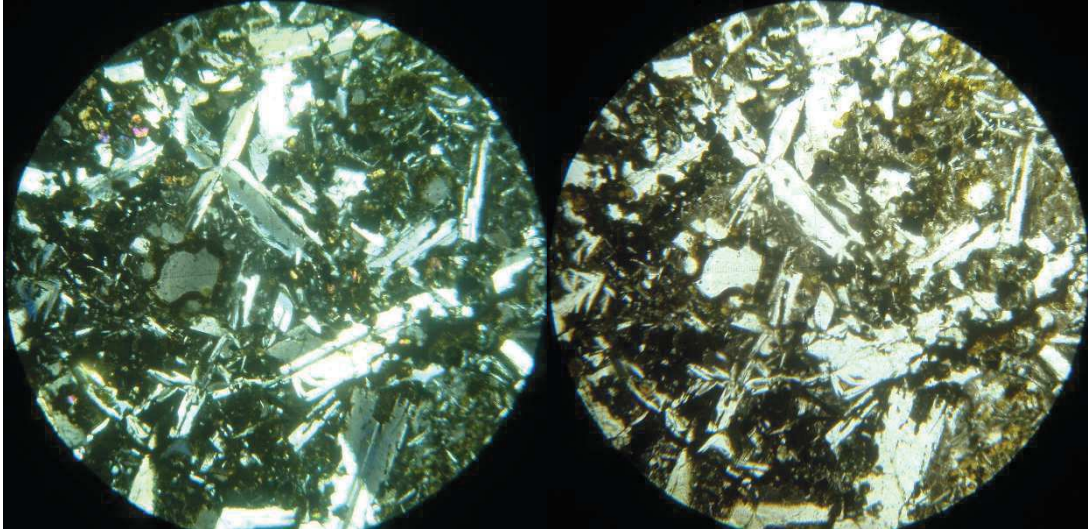
Conclusiones

La roca tiene componentes menores a 2mm de ferro-magnesianos (augitas y trazas de hornblendas) característicos de una roca basáltica, gran parte de estos minerales están cloritizados y poco silicificados.

Presenta la roca trazas de minerales metálicos (sulfuros de hierro), que han sido incluidos por hidrotermalismo, estos minerales son inestables en procesos de meteorización y alteración.

La roca contiene minerales de alteración, en valores importantes, estos minerales secundarios son producto de ascenso de fluidos hidrotermales.

Nombre de la roca: Diabasa / Dolerita



1 mm ←→

Figura 16. Microfotografía en luz polarizada (fotografía izquierda): fenocristales de plagioclasas son visibles tonos grises de primer orden, maclados, los piroxenos son visibles en la parte superior izquierda, presenta dos clivajes poco desarrollados.

4.3.3. Levantamiento Geomecánica

La zona de interés se encontró en la concesión “San Carlos”, parte oeste del área de la concesión.

Se dividió el talud en tres zonas, que se las denomino estaciones geomecánica. (EGM1, EGM2 y EGM 3). (Figura17)

Coordenada UTM, X:548337 Y:9883321 Z:326.

Datum: WGS 84, Zona 17S

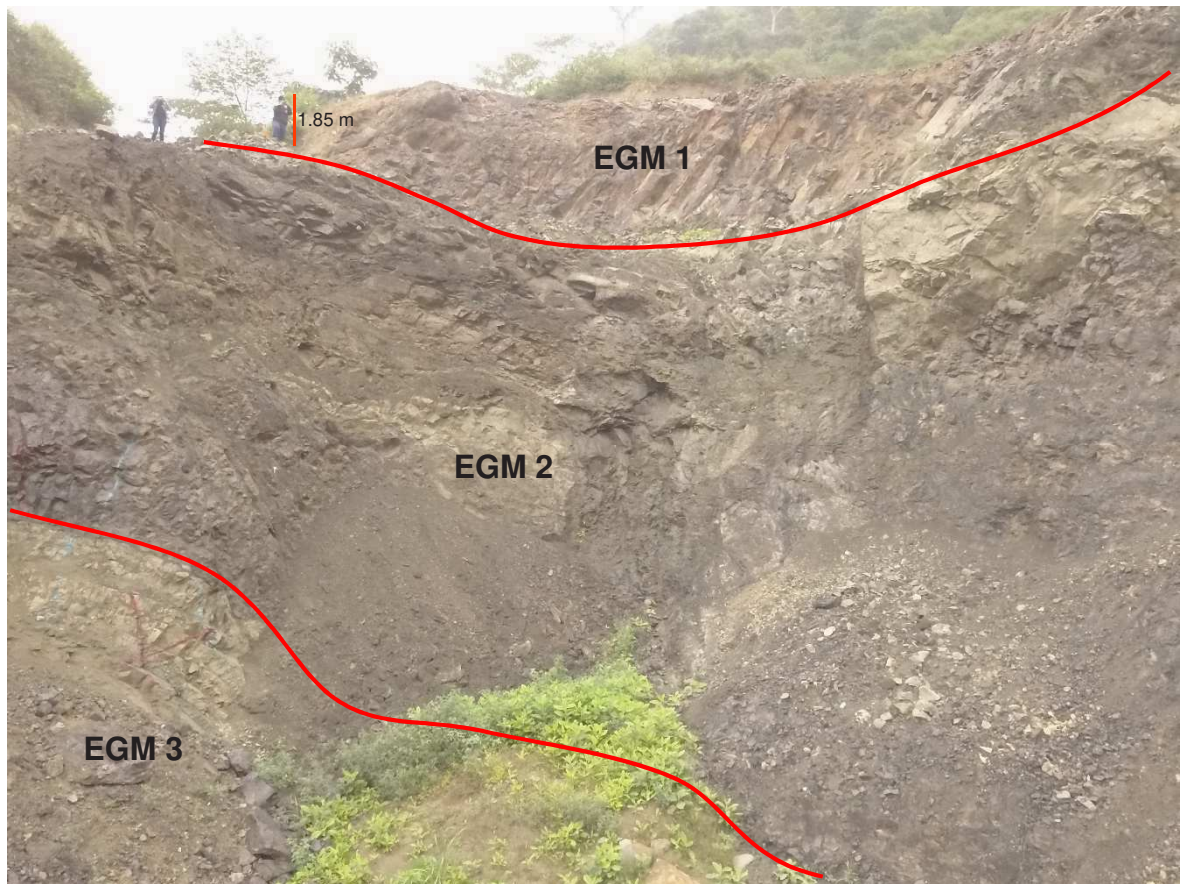


Figura 17: Estaciones Geomecánicas (EGM1-3) tomada en la concesión San Carlos.
Fuente: Elaborado por autor.

Estación Geomecánica 1 (EGM1)

En esta estación se observó un corte por las labores mineras, existe indicio de una falla por la milonita en el lugar, tiene 22,2 m de ancho y una altura de 19 m con presencia de roca homogénea y con dirección azimutal de **180°/90°**.

En la EGM 1 se procedió a obtener la información de las discontinuidades presentes en la roca en donde se determinaron cuatro familias de diaclasas (J1, J2, J3, J4). (Figura 18, tablas 14).



Figura 18: Estación Geomecánica EGM 1. Se aprecia 4 familia de diaclasa J1 a J4.
Fuente: Elaborado por autor

Tabla 14 : Dirección de buzamiento(DIP DIR)y buzamiento(DIP)por familias de discontinuidades, EGM 1

Tipo de Plano	J1	J2	J3	J3	J3	J2	J1	J4	J3	J4	J3	J1	J3	J4	J1	J2	J3
DIP DIR	143	63	60	65	66	54	135	105	55	355	35	105	55	5	115	70	40
DIP	50	62	20	52	62	50	52	10	70	40	65	65	70	35	60	70	70

Fuente: Elaborado por autor

RQD

El nivel de fracturación de la roca fue establecer in situ por medio de una variación del método de recuperación de testigos creada por Deere en 1963, de esta manera se seleccionó perfiles en varias direcciones que ocupen la mayor cantidad de diaclasas en un tramo de 2m cada uno.

Los valores obtenidos de los 5 perfiles de RQD fueron tipiado en Excel para facilitar el cálculo del nivel de fracturación que tiene el macizo rocoso. (Tabla 15).

Tabla 15 :Perfiles de RQD de la estación geomecánica, EGM1

Perfiles	Fragmentos (cm)						Long Total (cm)	Σ	RQD (%)
	1	2	3	4	5	6			
Perfil 1	50	34	68	40			200	192	96
Perfil 2	50	18	40	22	27			157	78,5
Perfil 3	40	13	90					143	71,5
Perfil 4	14	11	15	25	12	90		167	83,5
Perfil 5	35	43	19	59				156	78
Promedio									81,5

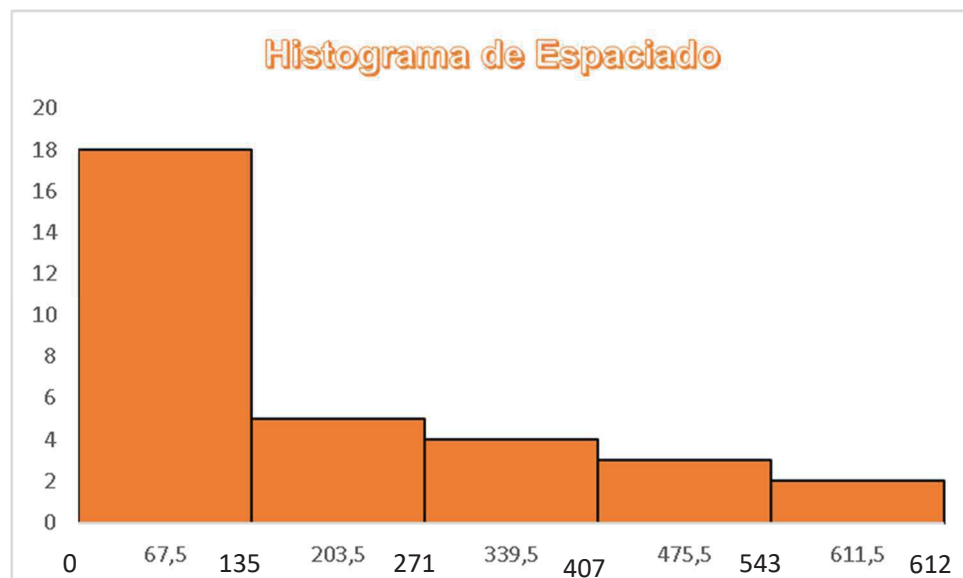
Fuente: Elaborado por autor

El resultado final de los datos del EGM 1 se promediaron obteniéndose un valor de RQD 81,5 %, el cual indica la calidad del macizo rocoso según el porcentaje del promedio del RQD, de acuerdo con Deere es Buena de 75 – 90 %.

Espaciado

Es el espacio entre planos de diaclasas o juntas, de acuerdo con la frecuencia del histograma, dio resultados que van entre 0 a 135mm. (Figura 19).

Figura 19: Histograma de espaciado de las discontinuidades

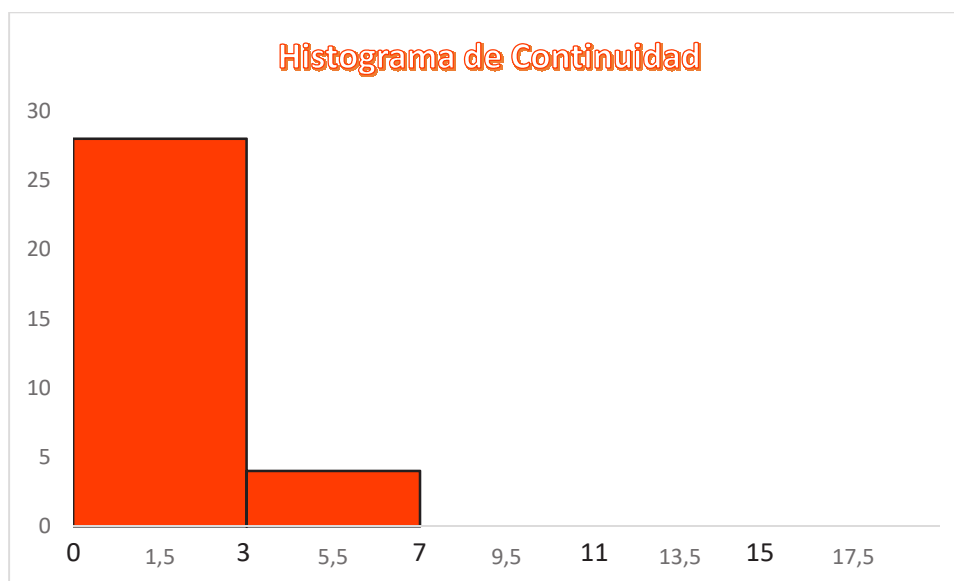


Fuente: Elaborado por autor.

Continuidad

La continuidad que presenta las diaclasas de acuerdo con la frecuencia del histograma, dio resultados que van entre 0 a 3 m. (Figura 20)

Figura 20: Histograma de continuidad de las discontinuidades.



Fuente: Elaborado por autor.

Apertura

La apertura en las cuatro familias de diaclasas de la EGM 1, varia 0 mm a 1 mm.

Rugosidad

El nivel de rugosidad de los planos presente en las diaclasas encontradas en el macizo rocoso, consiste en tomar la medida usando el Peine de Barton, éste da valores que al ser ploteados en un diagrama arroja el valor de JRC, en la EGM 1 dio valores de 8 a 12 de JRC, lo que indica que posee un nivel Ligeramente Rugosa.



Figura 21. Lado izquierdo foto de la muestra de mano de EGM1 J4 y de lado derecho encontramos como quedo el peine de Barton. Fuente: Elaborado por autor.



Figura 22. Lado izquierdo foto de la muestra de mano de EGM1 J1 y de lado derecho encontramos como quedo el peine de Barton. Fuente: Elaborado por autor.

Agua

A lo largo de la EGM 1 se observa una ligera humedad, debido a que es una zona de nubosidad y humedad ambiente alto, por lo que esto afecta a la roca expuesta provocando una ligera humedad a seca en la misma.

Relleno

En esta estación presenta muy poco o ningún relleno entre las juntas con valores $> 5\text{mm}$.

Meteorización

Se observó a lo largo de los dos taludes de la EGM1, que la roca se encontraba modernamente alterada a ligeramente alterada.

Resistencia

La resistencia de la roca in situ, se realizó aplicando golpes a la roca con la piqueta, de acuerdo con el parámetro dio como resultado que la mitad de EGM1 es R5.

R5 indica que es una roca dura con una resistencia entre 100-250 Mpa, entonces se puede decir que la resistencia de la EGM 1 fluctúa aproximadamente entre 150 Mpa, con una valoración de RMR de 12.

RMR

El RMR indica la calidad del macizo rocoso que encontrado en EGM 1, los resultados se obtuvieron de los parámetros usados por Bieniawski.

En la EGM 1 se distinguieron 4 familias de diaclasas, cada una de las diaclasas se midieron para obtener el valor de RMR de cada una de las familias dando valores diferentes. La variación de RMR se debe a los aspectos de separación de discontinuidades, abertura y rugosidad, dando un promedio entre las familias de 60 RMR, indica que el valor esta entre los valores 60-41 de RMR, clase III, dando una calidad de Media o Regular.

Estación Geomecánica 2 (EGM 2)

En esta estación se observó un corte, tiene 22,2 m de ancho y una altura aproximadamente de 34 m.

En la EGM 2 se procedió a obtener la información de las discontinuidades presentes en la roca en donde se determinaron cuatro familias de diaclasas (J1, J2, J3, J4). (Figuras 23, tabla 16)



Figura 23. Otro punto de vista de las EGM 1,2 y 3. Fuente: Elaborado por autor

Tabla 16. Dirección de buzamiento(DIP DIR)y buzamiento(DIP)por familias de discontinuidades, EGM 2

Tipo de Plano	J1	J3	J1	J2	J2	J4	J4	J2	J2	J2	J3	J2	J4	J4	J3	J3
DIP DIR	50	10	40	285	270	315	305	280	280	278	5	315	305	355	5	5
DIP	80	80	80	80	80	78	88	85	90	89	70	65	70	80	15	13

Fuente: Elaborado por autor.

RQD

El resultado final de los datos del EGM 2 se promediaron los 5 perfiles obteniendo un valor de RQD 71,3 %(Tabla 17) que indica la calidad del macizo rocoso según el nivel de acuerdo con Deere es Regular de 50 – 75 % dando un valor de 13 en RMR.

Tabla 17 :Perfiles de RQD de la estación geomecánica, EGM2

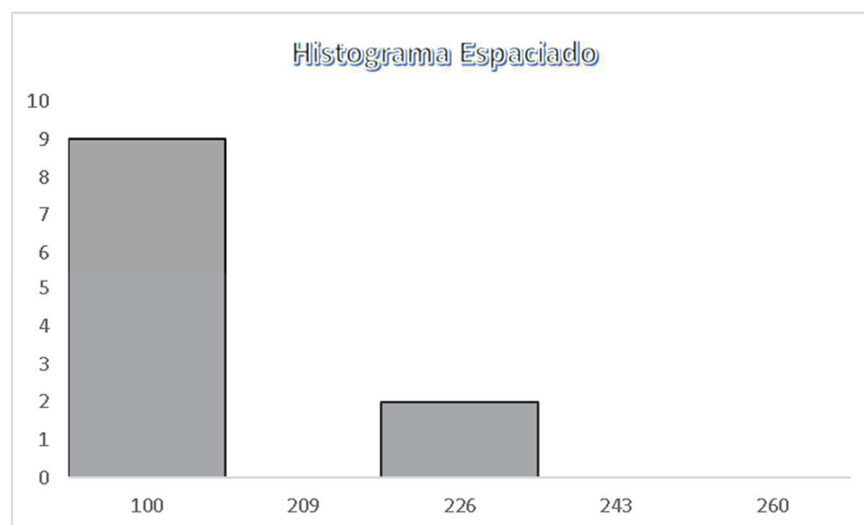
Perfiles	Fragmentos (cm)									Long Total (cm)	Σ	RQD (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Perfil 1	80	20	10	30						200	140	70
Perfil 2	13	33	38	12	28	10	10	12			156	78
Perfil 3	30	40	24	60							154	77
Perfil 4	10	15	24	11	12	30	20	10	20		152	76
Perfil 5	30	19	15	10	15	12	10				111	55,5
Promedio												71,3

Fuente: Elaborado por autor.

Espaciado

Es el espacio entre planos de diaclasas o juntas, de acuerdo con la frecuencia del histograma, dio resultados que van entre 0 a 200 mm. (Figura 24).

Figura 24. Histograma de espaciado de las discontinuidades

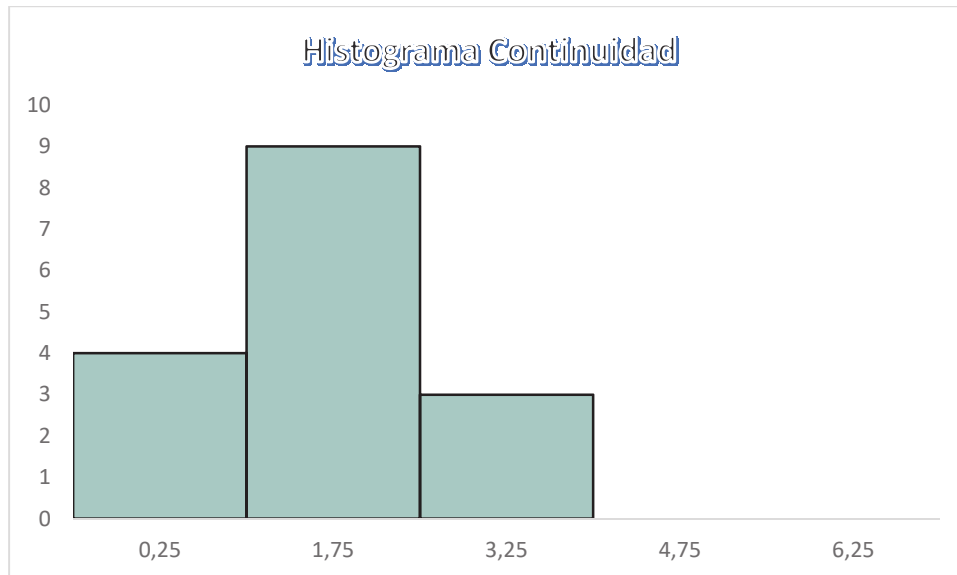


Fuente: Elaborado por autor.

Continuidad

La continuidad que presenta las diaclasas de acuerdo con la frecuencia del histograma, dio resultados que van entre 1 a 2 m. (Figura 25)

Figura 25: Histograma de continuidad de las discontinuidades



Fuente: Elaborado por autor.

Apertura

La apertura en las cuatro familias de diaclasas de la EGM 2, varía 1 mm a 3 mm.

Rugosidad

El nivel de rugosidad de los planos presente en las diaclasas encontradas en el macizo rocoso, en la EGM 2 dio valores entre 10 a 12, lo que indica que posee un nivel Ligeramente Rugosa y un valor de 3 en RMR.

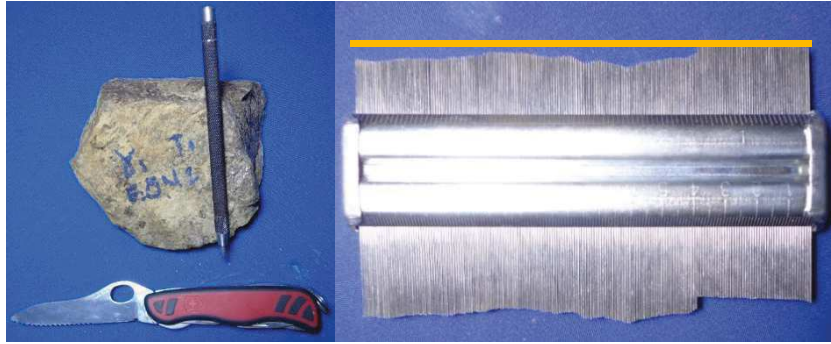


Figura 26. Lado izquierdo foto de la muestra de mano de EGM2 y de lado derecho encontramos como quedo el peine de Barton.

Agua

A lo largo de la EGM2 se observa una ligera humedad, debido a que es una zona de nubosidad y humedad ambiente alto, por lo que esto afecta a la roca expuesta provocando una ligera humedad en la misma, dando un valor 10 de RMR.

Relleno

Esta estación presenta relleno entre las juntas tipo MC (material carbonatico), otorgando un valor 0 de RMR.

Meteorización

La EGM 2, presente una roca modernamente alterada dando un valor 3 de RMR.

Resistencia

La resistencia de la roca in situ, se realizó aplicando golpes a la roca con la piqueta, de acuerdo con el parámetro lo que nos salió como resultado de R4.

R4 indica que es una roca dura con una resistencia entre 100-50 Mpa, entonces se puede decir que la resistencia de la EGM 2, con una valoración de RMR de 7.

RMR

El RMR indica la calidad del macizo rocoso encontrado en la EGM 2, los resultados se obtuvieron de los parámetros usados por Bieniawski.

En la EGM 2 se distinguieron 4 familias de diaclasas, cada una de las diaclasas se midieron para obtener el valor de RMR de cada uno de las familias, dando valores diferentes.

La variación de RMR se debe a los aspectos de separación de discontinuidades, abertura y rugosidad, dando un promedio entre las familias de 53 RMR, indica que el valor está entre los valores 60-41 de RMR, clase III, dando una calidad de Media o Regular.

Estación Geomecánica 3 (EGM 3)

En esta estación se observó un corte por las labores mineras, teniendo 8 m de ancho con una altura aprox. de 15 m con un azimuth de la EGM 3 de **33°/75°**.

Se procedió a obtener la información de las discontinuidades presente en los dos taludes que conforma la EGM3 presentes en la roca en donde se determinaron cuatro familias de diaclasas (J1, J2, J3, J4). (Figura 27 y Tabla 18)

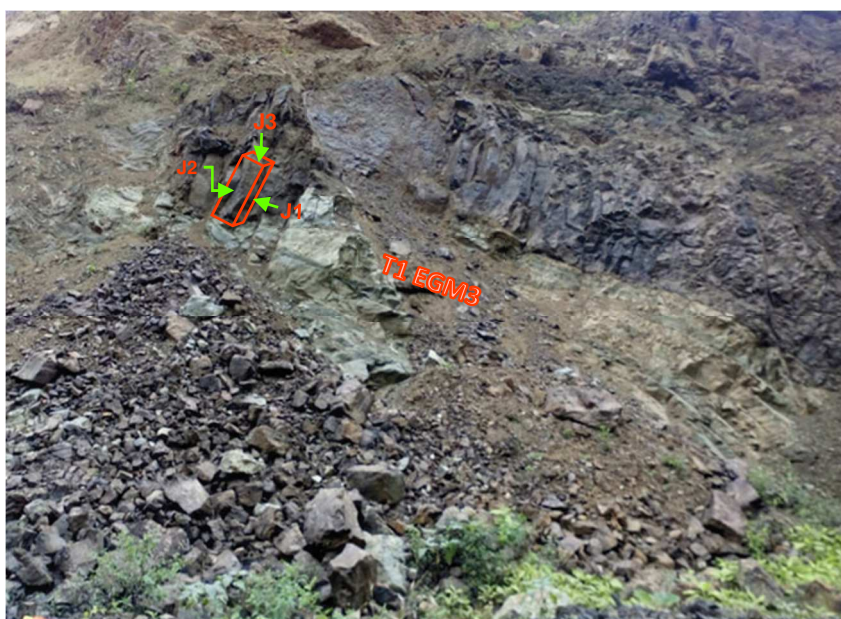


Figura 27. Fotografía de T EGM3 visto de otro ángulo Fuente: Elaborado por autor

Tabla 18. Dirección de buzamiento(DIP DIR)y buzamiento(DIP)por familias de discontinuidades, EGM3

Tipo de Plano	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J3	J3	J4	J4	J4	J4
DIP DIR	28	265	265	29	245	30	300	271	293	299	280	305	285
DIP	75	89	70	63	40	70	60	75	88	80	80	89	83

Fuente: Elaborado por autor

Resistencia

R4 indica que es una roca muy dura con una resistencia entre 50-100 entonces se puede decir que la resistencia de la EGM 3 tiene un valor 7 de RMR.

RQD

El resultado final de los datos del EGM 3 se promediaron los cuatro perfiles obteniendo un valor de RQD 35 % que indica la calidad del macizo rocoso según el nivel de acuerdo con Deere es Mala de 25 – 50 % dando un valor 8 de RMR. (Tabla 19)

Tabla 19 :Perfiles de RQD de la estación geomecánica, T1 EGM3

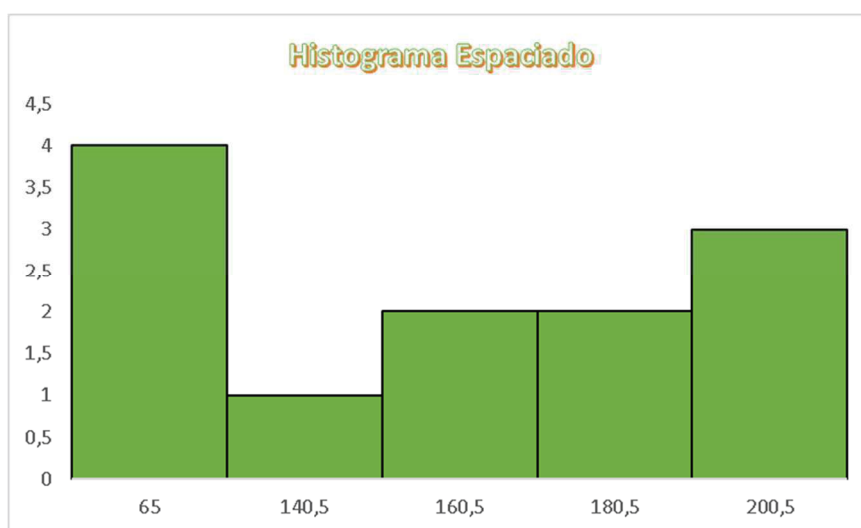
Perfiles	Fragmentos (cm)							Long Total (cm)	Σ	RQD (%)
	1	2	3	4	5	6	7			
Perfil 1	10	23	11	13				200	57	28,5
Perfil 2	14	15	20	13	23	15	10		110	55
Perfil 3	10	11	12	20					53	26,5
Perfil 4	12	13	10	10	15				60	30
Promedio										35

Fuente: Elaborado por autor

Espaciado

Es el espacio entre planos de diaclasas o juntas, de acuerdo a la frecuencia del histograma, dio resultados que van entre 0 a 130 mm, dando un valor de RMR. (Figura 28).

Figura 28. Histograma de espaciado de las discontinuidades

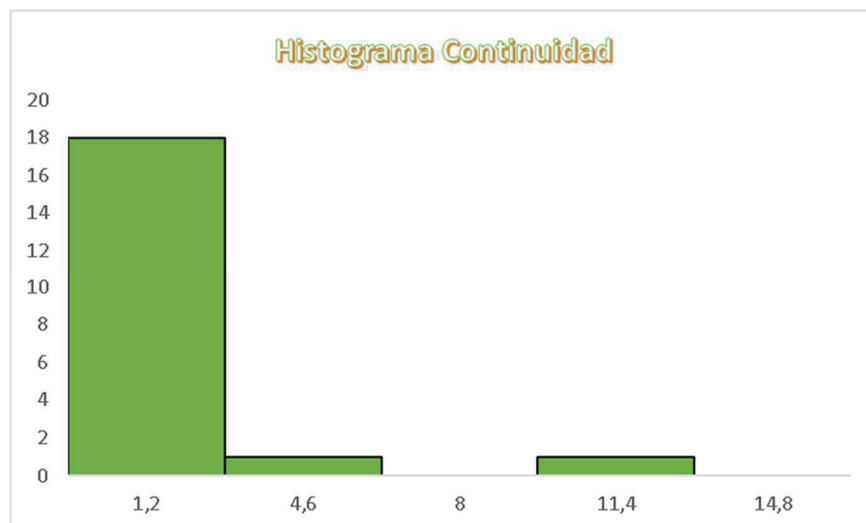


Fuente: Elaborado por autor

Continuidad

La continuidad que presenta las diaclasas de acuerdo con la frecuencia del histograma, dio resultados que van entre 0 a 2 m. (Figura 29).

Figura 29. Histograma de Continuidad de las discontinuidades.



Fuente: Elaborado por autor

Apertura

La apertura en las cuatro familias de diaclasas de la EGM 3, varía 1 mm a 2 mm, dando un valor 1 de RMR.

Rugosidad

Es la toma del nivel de rugosidad de los planos presente en las diaclasas encontradas en el macizo rocoso, en la EGM 3 dio un valor de 11, ese valor indica que posee un nivel Ligeramente Rugosa mediante las tablas y con un valor 3 de RMR. (Figura 30)

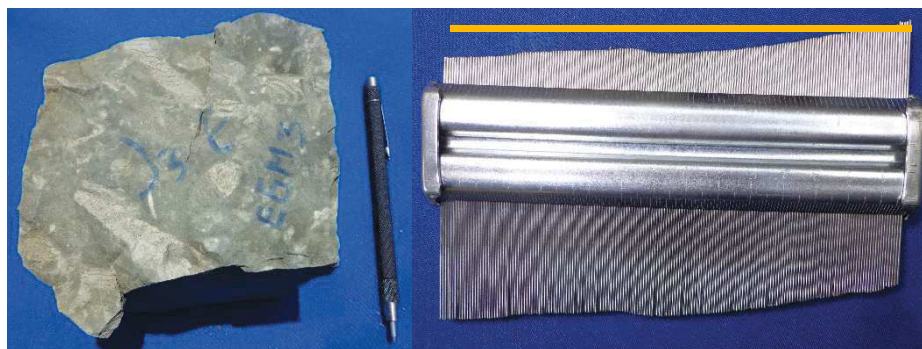


Figura 30. Lado izquierdo foto de la muestra de mano de EGM 3 y de lado derecho encontramos como quedo el peine de Barton.

Relleno

Esta estación presenta muy poco o ningún relleno entre las juntas, otorgándole un valor 6 de RMR.

Meteorización

La EGM3, presenta una roca moderadamente alterada dando un valor RMR de 3.

Agua

A lo largo de la EGM3 se observa una ligera humedad, debido a que es una zona de nubosidad y humedad ambiente alto, por lo que esto afecta a la roca expuesta provocando una ligera humedad en la misma, dando un valor 15 de RMR.

RMR

En la EGM 3 se distinguieron cuatro familias de diaclasas, cada una de las diaclasas se midieron para obtener el valor de RMR de cada una de las familias.

La variación de RMR se debe a los aspectos de separación de discontinuidades, abertura y rugosidad, dando un promedio entre las familias de 55 RMR, indica que el valor esta entre 60-41 de RMR, clase III, dando una calidad de Media a Regular.

4.3.4. Modelo Conceptual

El modelo elaborado para la concesión “San Carlos”, consta de tres unidades bien diferenciadas (Figura 31).

La primera es la Formación Piñón constituye la base de las unidades, compuesta de diabasas y doleritas.

La segunda unidad es la Formación Cayo constituida por alteración de arenisca y grauvacas grano medio a grueso, con abundancia de elementos volcánicos.

La tercera unidad es la Formación Cerro constituida por areniscas y microbrechas.

Se elaboró un corte geológico con las curvas de nivel extraída del modelo tridimensional de la concesión representar la intersección del cuerpo geológico con un plano vertical de una orientación determinada en las labores mineras.

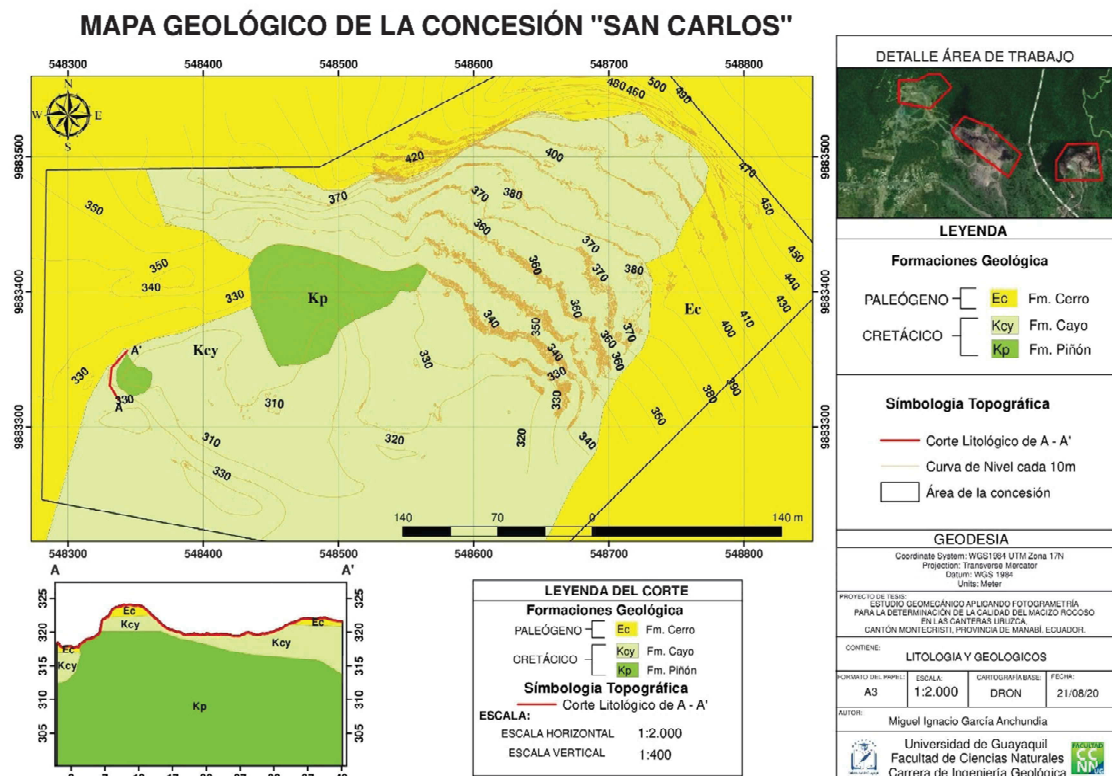


Figura 31. Mapa Geológico a detalle de San Carlos. Fuente: Elaborado por autor

Una vez realizada la integración del resultado obtenido en el campo se infiere un modelo tridimensional usando la fotogrametría, dando un apoyo a la comprensión geomorfológica, geológica, geomecánica y estructural de la concesión minera “San Carlos”. (Figura 32)

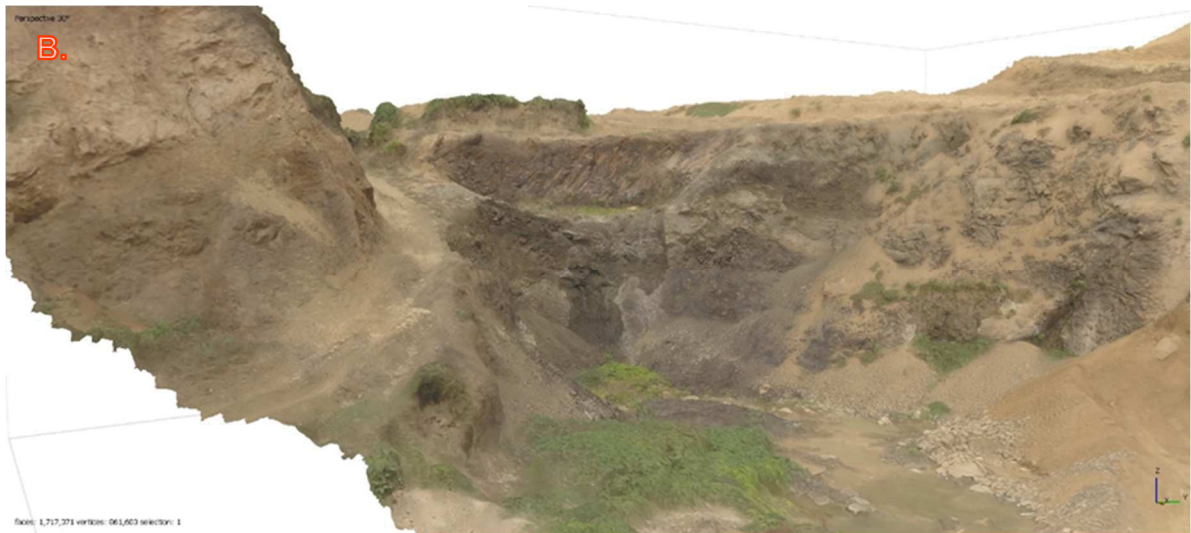




Figura 32. Distinto punto de vista del corte en 3D.(A-C) Fuente: Elaborado por autor.

4.4. Concesión “Inmetro 2”



Figura 33. Foto aérea de la concesión Inmetro 2. Fuente: Elaborada por autor

4.4.1. Geología a Detalle

En esta concesión se logró observar las siguientes formaciones: Piñón, Cayo, Cerro y Depósitos aluvial.

4.4.2. Descripción Litología

Muestra MG 2

Coordenadas UTM X:549363 Y:9882679 Z:208.

Datum: WGS 84 Zona 17S

Análisis Macroscópico

Roca gris oscura azulado de grano fino, rasgos de alteración en la parte externa, los microcristales de color blanco son de plagioclasas, se observa vesículas, contiene minerales magnéticos, algunas venillas rellenas de minerales epigenéticos óxidos de hierro y calcáreos.

LÁMINA DELGADA

Se elaboró la lámina delgada MG 2 de la muestra MG 2

Lámina MG 2

Análisis Microscópico

Textura porfirítica – intergranular, con cristales de diferente tamaño, en zonas se observa concentraciones de plagioclasas y ferro magnesianos (anfíboles) alterados a clorita y epidota.

- **Porcentaje Aproximado de Mineral**

Fenocristales	100%
Plagioclasas	70
Piroxenos	10
Anfíboles	5
Minerales de Alteración	10
Opacos	5

Observaciones

Presenta una 35% de matriz soportada con fragmentos de lodolita, con un grado de selección malo, grado de esfericidad anguloso.

Nombre de la roca: Brecha Arcillosa

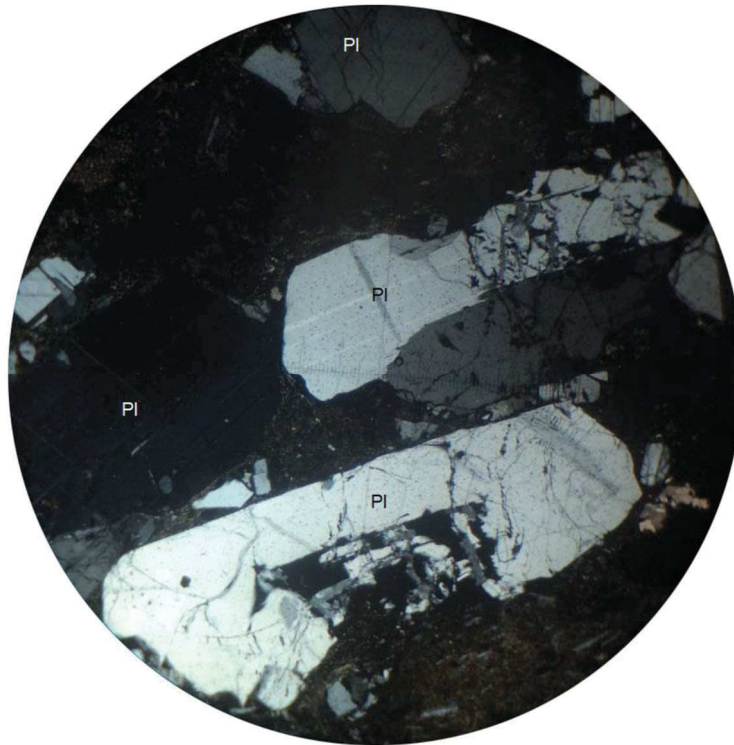


Figura 34: Sección de la Muestra MG 2

Muestra MG 3

Coordenadas UTM X:548980 Y:9882897 Z:271.

Datum: WGS 84 17 S

Análisis Macroscópico

Roca gris claro de grano fino, rasgos de alteración en la parte externa, los microcristales de color blanco son de plagioclasas.

LÁMINA DELGADA

Se elaboró la lámina delgada MG 3 de la muestra MG 3

Lámina MG 3

Análisis Microscópico

Textura porfiritica – intergranular, con cristales de diferente tamaño, en zonas se observa concentraciones de plagioclasas y ferro magnesianos (anfíboles) alterados a clorita y epidota.

- **Porcentaje Aproximado de Mineral**

Fenocristales	100%
Plagioclasas	50
Piroxenos	20
Anfíboles	10
Minerales de Alteración	10
Opacos	10

Observaciones

Presenta una 30% de matriz soportada con fragmentos de lodolita, con un grado de selección regular y un grado de esfericidad sub anguloso.

Nombre de la roca: Brecha Arcillosa

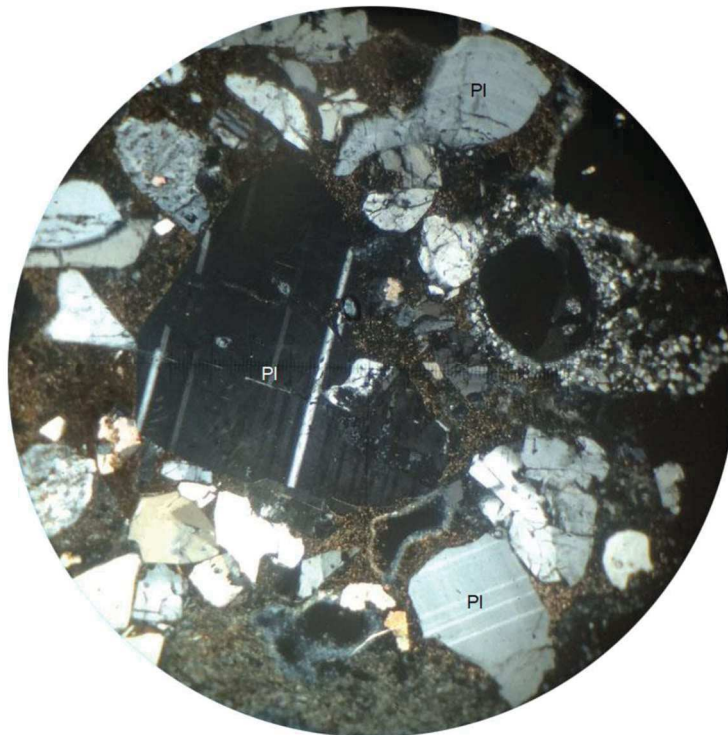


Figura 35: Sección de la Muestra MG 3

Muestra MG 4

Coordenadas UTM X:549106 Y:9882876 Z:217.

Datum: WGS 84 17S

Análisis Macroscópico

Roca gris oscura azulado de grano fino, rasgos de alteración en la parte externa, los microcristales de color blanco son de plagioclasas.

LÁMINA DELGADA

Se elaboró la lámina delgada MG 4 de la muestra MG 4

Lámina MG 4

Análisis Microscópico

Textura porfírica – intergranular, con cristales de diferente tamaño, en zonas se observa concentraciones de plagioclasas y ferro magnesianos (anfíboles) alterados a clorita y epidota.

- **Porcentaje Aproximado de Mineral**

Fenocristales	100%
Plagioclasas	50
Piroxenos	10
Anfíboles	5
Minerales de Alteración	30
Opacos	5

Observaciones

Presenta una 35% de matriz soportada con fragmentos de lodolita, con grado de selección malo y esfericidad angulosa.

Nombre de la roca: Brecha Arcillosa

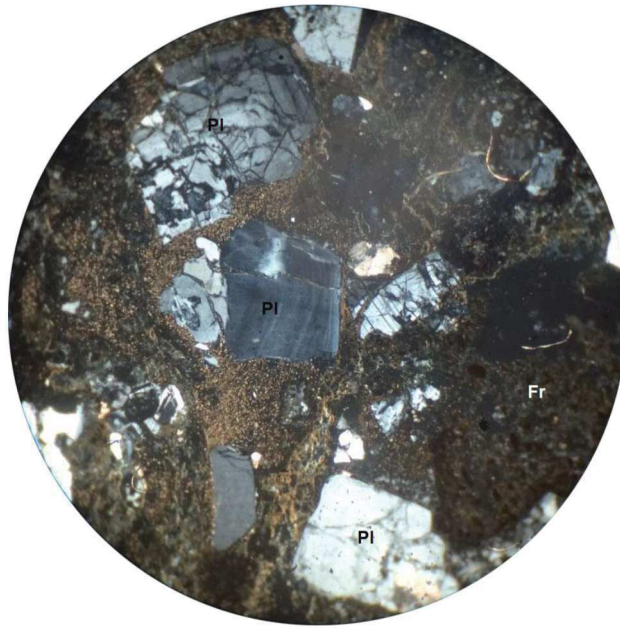


Figura 36: Sección de la Muestra MG 4

4.4.3. Levantamiento Geomecánica

Se localiza en la cantera Uruzca, concesión “Inmetro 2”, parte centro del área de la concesión.

Se dividió el talud en tres zonas, que se las denominó estaciones geomecánica.

Estación Geomecánica 1 (EGM 1)

En esta estación se observó un corte por los trabajos mineros, tiene 33 m de ancho con una altura aproximadamente de 30 m con un azimuth de **180°/70°**.

En la EGM 1 se procedió a obtener la información de las discontinuidades presentes en la roca en donde se determinaron cinco familias de diaclasas (J1, J2, J3 y J4). (Figuras 37-38 y tabla 20).



Figura 37: Foto de EGM 1 de Inmetro 2 tomada con Dron. Fuente: Elaborado por autor



Figura 38. EGM1 en concesión Inmetro 2. Fuente: Elaborado por autor

Tabla 20. Dirección de buzamiento (DIP DIR) y buzamiento (DIP) por familias de discontinuidades, EGM 1.

Tipo de Plano	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J3	J3	J4	J5	J5
DIP DIR	163	104	150	160	186	205	175	252	100	293	205	275	275
DIP	78	70	40	60	70	64	60	76	62	88	80	88	89

Fuente: Elaborado por autor

Resistencia

La resistencia de la roca in situ, se realizó aplicando golpes a la roca con la piqueta, de acuerdo con el parámetro dio como resultado que la mitad de EGM1 era R4 y la otra mitad R5.

R4 indica que es una roca dura con una resistencia entre 50-100 Mpa, R5 es una roca muy dura con una resistencia entre 100-250 Mpa, entonces se puede decir que la resistencia de la EGM 1 fluctúa aproximadamente entre 150 Mpa, con una valoración de RMR de 12.

RQD

El resultado final de los datos del EGM 1 se promediaron los cinco perfiles obteniendo un valor definitivo de RQD 31 % que indica la calidad del macizo rocoso según el nivel de acuerdo con Deere es Mala de 25 – 50 % dando un valor 8 de RMR. (Tabla 21)

Tabla 21 :Perfiles de RQD de la estación geomecánica, EGM 1

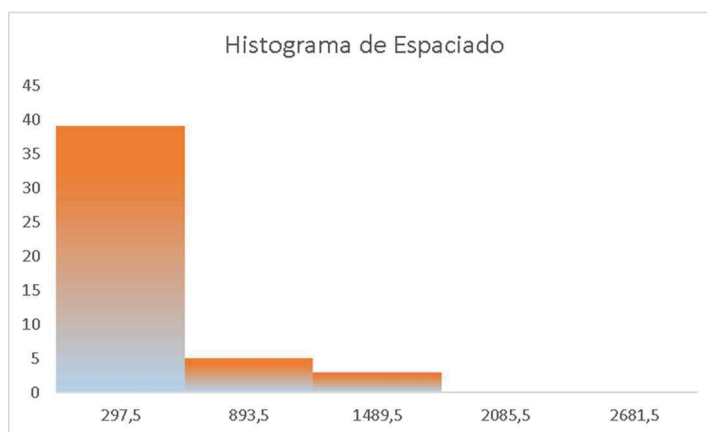
Perfiles	Fragmentos (cm)					Long Total (cm)	Σ	RQD (%)
	1	2	3	4	5			
Perfil 1	35	12				200	47	23,5
Perfil 2	10	13	15	12	15		65	32,5
Perfil 3	14	36	15				65	32,5
Perfil 4	19	12	14	14	12		71	35,5
Perfil 5	19	10	10	22			61	30,5
Promedio								31

Fuente: Elaborado por autor

Espaciado

Es el espacio que presenta las diaclasas de acuerdo a la frecuencia del histograma, dio resultados que van entre 0 a 595 mm. Resultado es 297.5 un valor de 10 RMR. (Figura 39).

Figura 39. Histograma de espaciado de las discontinuidades

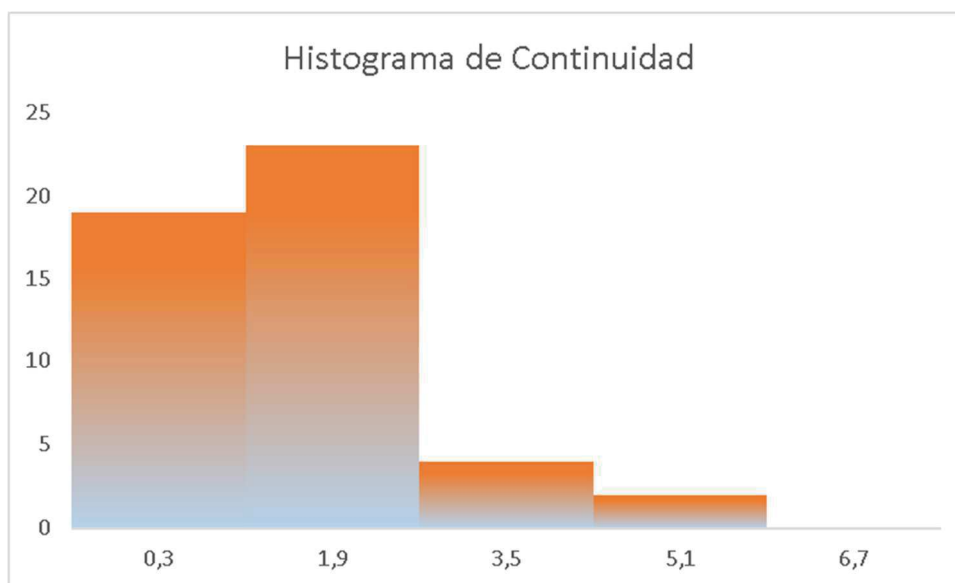


Fuente: Elaborado por autor

Continuidad

La continuidad que presenta las diaclasas de acuerdo a la frecuencia del histograma, dio resultados que van entre 0.6 a 2.2 m. (Figura 40)

Figura 40. Histograma de Continuidad de las discontinuidades.



Fuente: Elaborado por autor

Apertura

Las cinco familias de diaclasas de la EGM 1, varía 0 mm a 0.3 mm dando un valor de 3 RMR.

Rugosidad

El nivel de rugosidad de los planos presente en las diaclasas encontradas en el macizo rocoso, en la EGM 1 dio valor entre 8 a 12 JRC, indica que posee un nivel Ligeramente Rugoso mediante las tablas y con un valor 3 de RMR.



Figura 41. Lado izquierdo foto de la muestra de mano de la EGM 1 y de lado derecho encontramos como quedo el peine de Barton.

Relleno

Este apartado presenta muy poco o ninguno relleno entre las cinco juntas, otorgándole un valor 6 en RMR.

Meteorización

La EGM 1, presenta que las juntas tienen una meteorización categorizada de ligeramente alterada dando un valor 3 de RMR.

Agua

A lo largo de la EGM 1 se observa una roca seca, dando como resultado un valor 15 de RMR.

RMR

En la EGM 1, se distinguieron cinco familias de diaclasas, cada una de las diaclasas se midieron para obtener el valor de RMR de cada una de las familias.

Los valores de RMR se debe a los aspectos de separación de discontinuidades, abertura y rugosidad, dando con un promedio entre las familias cuyo valor es 66 RMR, indica que el valor está entre los valores 80-61 de RMR, clase II, dando una calidad de Buena.

Estación Geomecánica 2 (EGM 2)

En esta estación se observó que la roca es de grado medio a fino con una coloración de gris claro, teniendo 50 m de ancho con una altura aproximadamente de 15 m, en la base del afloramiento se apreció roca de grano fino posible limos y con rasgos estructurales visible, con un azimut de **230°/85°**.

En el talud que conforma la EGM 2 se procedió a obtener la información de las discontinuidades presente en el talud en donde se determinaron cuatro familias de diaclasas (J1, J2, J3 y J4). (Figura 42 y tabla 22).



Figura 42: Foto de Talud EGM 5 Fuente: Elaborado por autor

Tabla 22. Dirección de buzamiento (DIP DIR) y buzamiento (DIP) por familias de discontinuidades, EGM 2.

Tipo de Plano	J1	J2	J3	J1	J3	J1	J4	J1	J1	J3
DIP DIR	163	58	75	154	65	160	185	175	188	35
DIP	60	85	80	39	80	40	40	60	60	70

Fuente: Elaborado por autor

Resistencia

R5 indica que es una roca dura con un valor de resistencia entre 100-250 Mpa, entonces puede decir que la resistencia de la EGM 2 fluctúa aproximadamente en valoración 12 de RMR.

RQD

El resultado final de los datos del EGM 2 se promediaron los 5 perfiles obteniendo un valor de RQD 84,2 % que indica la calidad del macizo rocoso según el nivel de acuerdo con Deere es Buena de 75 – 90 % dando un valor 12 de RMR. (Tabla 23)

Tabla 23 :Perfiles de RQD de la estación geomecánica, EGM 2

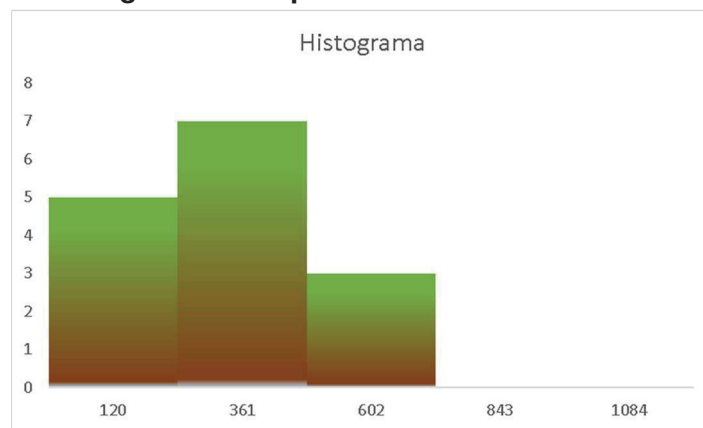
Perfiles	Fragmentos (cm)					Long Total (cm)	Σ	RQD (%)
	1	2	3	4	5			
Perfil 1	44	30	80			200	154	77
Perfil 2	50	18	26	31	18		163	81,5
Perfil 3	35	80	22	10			147	73,5
Perfil 4	50	24	38	29	40		181	90,5
Perfil 5	70	11 3	14				197	98,5
Promedio								84,2

Fuente: Elaborado por autor

Espaciado

Es el espacio que presenta las diaclasas de acuerdo con la frecuencia del histograma, dio resultados que van entre 0 a 595 mm. Resultado es 297.5 un valor de 10 RMR. (Fig 43).

Figura 43. Histograma de espaciado de las discontinuidades

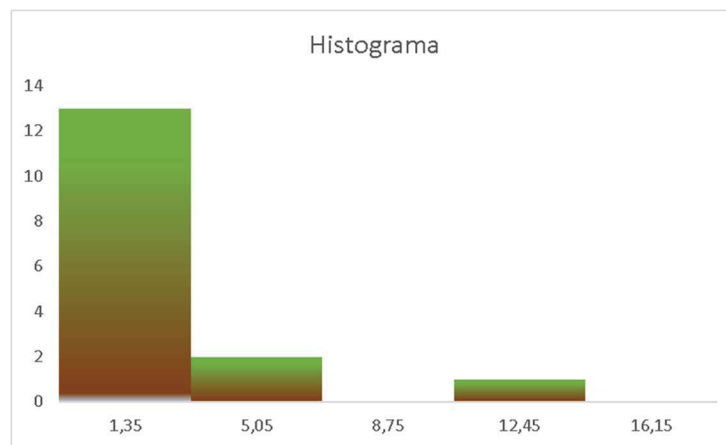


Fuente: Elaborado por autor

Continuidad

La continuidad que presenta las diaclasas de la EGM 2 tiene una variación de 0 a 2,7 m entre las cuatro familias de diaclasa, con un resultado de RMR de 3. (Figura 44)

Figura 44. Histograma de Continuidad de las discontinuidades



Fuente: Elaborado por autor

Apertura

La apertura en las cuatro familias de diaclasas de la EGM 2, varía de 0 mm a 2 mm, dando un valor 1 de RMR.

Rugosidad

Es la toma del nivel de rugosidad de los planos presente en las diaclasas encontradas en el macizo rocoso, en la EGM 2 dio valores alrededor de 13 a 16 JRC, al dar esos valores indica que posee un nivel Rugoso mediante las tablas y con un valor 5 de RMR.



Figura 45. Lado izquierdo foto de la muestra de mano de la EGM 2 y de lado derecho encontramos como quedó el peine de Barton.

Relleno

Esta estación presentaba muy poco o ninguno relleno entre las cinco juntas, otorgándole un valor 6 de RMR.

Meteorización

La EGM 2, presenta una roca ligeramente alterada dando un valor de 5 en RMR.

Agua

A lo largo de la EGM 2 se observa una roca seca dando un valor 15 de RMR.

RMR

En la EGM 2, se observaron cuatro familias de diaclasas, cada una de las diaclasas se midieron para obtener el valor de RMR de cada una de las familias.

La variación de RMR se debe a los aspectos de separación de discontinuidades, abertura y rugosidad, dando con un promedio entre las familias de 77 RMR, indica que el valor está entre los valores 80-61 de RMR, clase II, dando una calidad de Buena.

Estación Geomecánica 3 (EGM 3)

En esta estación se observó que la roca dura con una coloración de gris oscuro a un azul marino, teniendo 30 m de ancho con una altura aproximadamente de 60 m, con un azimut de **185°/70°**.

Se procedió a obtener la información de las discontinuidades presente en el talud que conforma la EGM 3 presentes en la roca en donde se determinaron cuatro familias de diaclasas (J1 y J2). (Figuras 46 y 47, Tabla 24).



Figura 46: Foto de la EGM 3. Fuente: Elaborado por Autor



Figura 47: Foto de la EGM 3 Fuente: Elaborado por Autor

Tabla 24. Dirección de buzamiento(DIP DIR)y buzamiento(DIP)por familias de discontinuidades, EGM 3.

Tipo de Plano	J1	J2	J1	J2	J1	J1	J2	J1	J2	J2	J1
DIP DIR	186	240	164	218	141	142	229	179	192	183	156
DIP	72	80	68	90	76	72	80	62	64	84	74

Fuente: Elaborado por autor

Resistencia

El resultado es R4, una roca dura con un Mpa con un margen entre 50-100, entonces podremos decir que la resistencia de la EGM 3 es 7 de valoración RMR.

RQD

El resultado final de los datos para EGM 3 se promediaron los 5 perfiles obteniendo un valor definitivo de RQD 78,95 % que nos indica la calidad del macizo rocoso según el nivel de acuerdo con Deere es Buena de 75 – 90 % dando un valor 17 de RMR. (Tabla 25)

Tabla 25 :Perfiles de RQD de la estación geomecánica, EGM 3

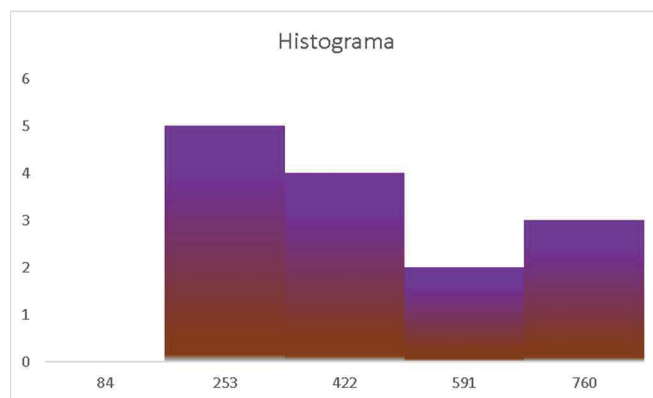
Perfiles	Fragmentos (cm)					Long Total (cm)	Σ	RQD (%)
	1	2	3	4	5			
Perfil 1	11	25,5	39	67		200	142,5	71,25
Perfil 2	30	102	28				160	80
Perfil 3	119	20	15	11			165	82,5
Perfil 4	70	40	23	30			163	81,5
Perfil 5	119	40					159	79,5
Promedio								78,95

Fuente: Elaborado por autor

Espaciado

Es el espacio que presenta las diaclasas de acuerdo con la frecuencia del histograma, dio resultados que van entre 168 a 337 mm. Resultado es 253 un valor de 10 RMR. (Tabla 48).

Figura 48. Histograma de espaciado de las discontinuidades

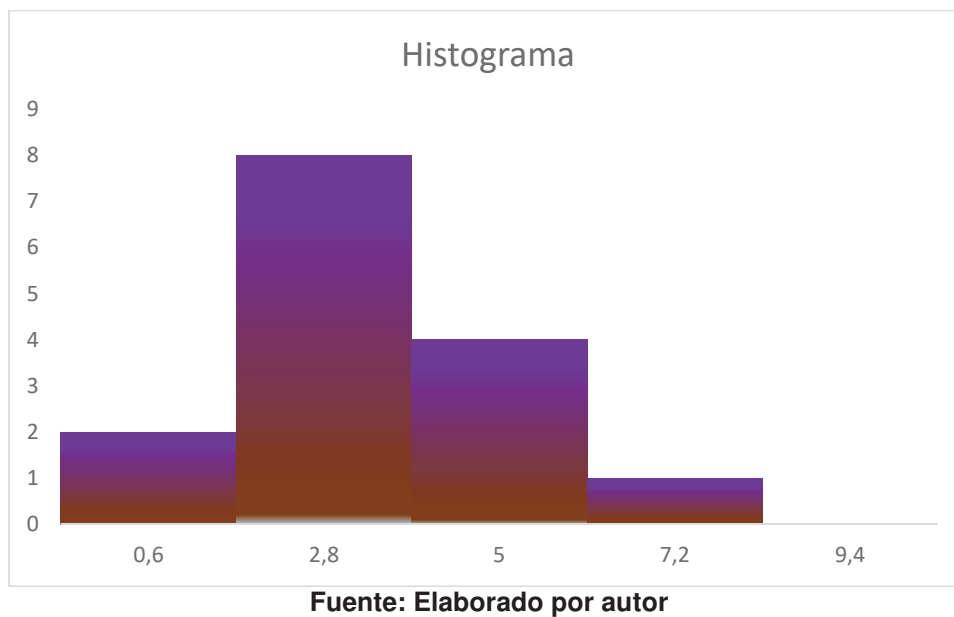


Fuente: Elaborado por autor

Continuidad

La continuidad que presenta las diaclasas de la EGM 3 tiene una variación de 0 a 3.4 m entre las cuatro familias de diaclasa, con un resultado de 2.8 dando un valor 3 de RMR. (Figura 49)

Figura 49. Histograma de Continuidad de las discontinuidades.



Apertura

Esta sección presente en las diaclasas de la EGM 3, varía 0,1 mm a 0,4 mm su apertura en las cinco familias de diaclasa dando un valor de 3 RMR.

Rugosidad

Es la toma del nivel de rugosidad de los planos presente en las diaclasas encontradas en el macizo rocoso, en este caso en particular de EGM 3 nos dio valores alrededor de 9 a 12 JRC, al darnos ese resultado nos indica que posee un nivel Ligeramente Rugoso mediante las tablas y con un valor de 3 en RMR.



Figura 50. Lado izquierdo foto de la muestra de mano de la EGM 3 y de lado derecho encontramos como quedo el peine de Barton.

Relleno

En este apartado no presentaba ninguno o muy poco relleno entre las cinco juntas, otorgándole un valor 6 en RMR.

Meteorización

La EGM 3, presenta que las juntas tienen una meteorización categorizada de moderadamente alterada dando un valor de 3 en RMR.

Agua

A lo largo de la EGM 3 se pudo palpar a la roca y se dio un resultado de ligeramente húmedo dándonos un valor de 10 en RMR.

RMR

Los valores de RMR resultante de cada una de las familias de diaclasas, se cuantificaron tomando en cuenta los siguientes aspectos como lo es: separación de discontinuidades, la abertura y la rugosidad, dando un promedio entre las familias de 63 RMR, indica que el valor esta entre 80-61 de RMR, clase II, dando una calidad de Bueno.

4.4.4. Modelo Conceptual

El modelo elaborado para la concesión “Inmetro 2”, consta de cuatro unidades bien diferenciadas (Figura 51).

La primera es la Formación Piñón constituye la base de las unidades, compuesta de diabasas y doleritas.

La segunda unidad es la Formación Cayo constituida por alteración de arenisca y grauvacas de grano medio a grano grueso, con abundancia de elementos volcánicos.

La tercera unidad es la Formación San Mateo constituida por una sucesión de conglomerados y areniscas de grano fino a grano grueso.

La cuarta unidad es la Formación Cerro constituida por areniscas y microbrechas.

Se elaboró un corte geológico con las curvas de nivel extraída del modelo tridimensional de la concesión representa la intersección del cuerpo geológico con un plano vertical de una orientación determinada en las labores mineras.

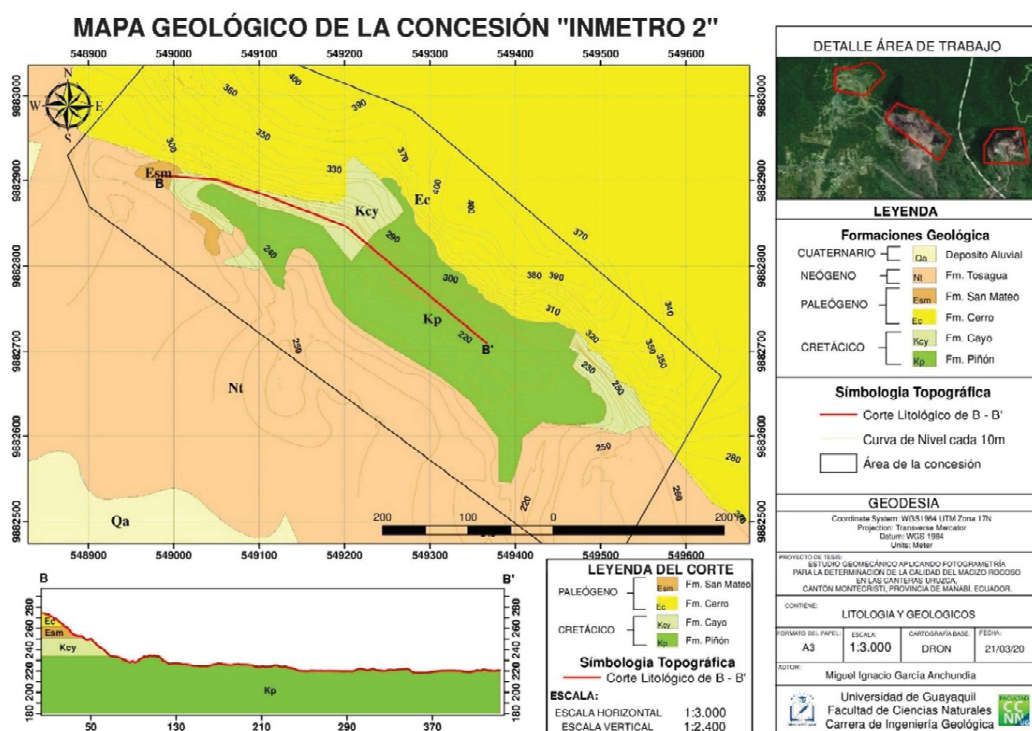


Figura 51. Mapa Geológico a detalle de Inmetro 2. Fuente: Elaborado por autor

Una vez realizada la integración del resultado obtenido en el campo se infiere un modelo tridimensional usando la fotogrametría, dando un apoyo a la comprensión geomorfológica, geológica, geomecánica y estructural de la concesión minera "Inmetro 2". Figura 52

Perspective 30°



Facies: 7,801,099 vertices: 3,000,479



Perspective 30°



Facies: 7,801,099 vertices: 3,000,479



Figura 52. Vista de la concesión mediante el diseño 3D. Fuente: Elaborado por autor

4.5. CONCESIÓN “RIO DE ORO”



Figura 53. Ortomosaico de la concesión "Rio de Oro". Fuente: Elaborado por autor

4.5.1. Geología a Detalle

En esta concesión la geología que se observa, resulta en cuatro formaciones de acuerdo con la bibliografía y lo que se obtuvo durante el trabajo de campo, posee las siguientes formaciones: Piñón, Cayo, Cerro y Depósitos aluvial

4.5.2. Descripción de Litológica

Muestra MG 5

Coordenadas UTM X:550364 Y:9882606 Z:217.

Datum: WGS 84, Zona 17S

Análisis Macroscópico

Roca gris oscura verdosa de grano fino, cristalina, con sulfuros diseminados, presenta minerales magnéticos, la roca contiene pocos poros por meteorización, en los bordes ligeramente Serpentinizada.



Figura 54. Foto de muestra MG 5

LÁMINA DELGADA

Se elaboró la lámina delgada MG 5 de la muestra MG 5

Lámina MG 5

Análisis Microscópico

Textura porfídica – inequigranular, cristalina con cristales de diferente tamaño, en zonas se observa concentraciones de plagioclasas, y ferromagnesianos (piroxenos y pocos olivinos) alterados a clorita, presenta minerales magnéticos.

- **Porcentaje Aproximado de Mineral**

Fenocristales	100%
Plagioclasas	45-50
Piroxenos	10-15
Anfíboles	1-5
Minerales de Alteración	15-20
Opacos	5-10

- **Características de los Minerales**

Plagioclasas. - Gran parte de estos minerales están ligeramente alterados, pocos fracturados y bien desarrollados, se observa maclados polisintéticos, son de formas euhédricos a subhédricos, en algunos minerales se observa sus bordes estas corroídos con zonas de minerales fino-granulares. Por sus características ópticas se considera plagioclasas cálcicas. Tiene un relieve moderado en algunos cristales presentan un ángulo extinción inclinada.

Ferro magnesianos (silicatos de hierro y magnesio): Piroxenos(augitas) por su doble clivaje característico bajo el microscopio son maclados de color marrón

claro y tinte verdoso en luz natural, presentan relieve moderado - alto, y la mayoría de los cristales tienen su clivaje poco definido, son de formas euhédricos a subhédricos, presenta sus bordes alterados. Estos piroxenos tienen características de augitas y en menor porcentaje se identifica olivino, por sus propiedades ópticas, colores de birrefringencia de segundo orden (colores fuertes, naranja y azul), por su relieve alto. El anfíbol presenta un clivaje bien definido.

Como minerales de alteración se observa clorita en secciones trazas de epidota asociados a ferro magnesianos (piroxenos), junto a opacos (sulfuros de hierro),

Conclusiones

Las plagioclasas dominan en la roca y presentan un maclado bien desarrollado, con dimensiones de hasta 3 mm, sus bordes corroídos, en algunas se puede identificar inclusiones de opacos cuadráticos (sulfuros).

La roca tiene componentes ferro-magnesianos (piroxenos en mayor porcentaje de tamaños de hasta 0.5 mm. y olivinos hasta de 0.2mm), característicos de una roca básica, gran parte de estos minerales están cloritizados.

Los minerales opacos-metálicos (sulfuros de hierro), son de hasta 0.2mm, con formas cuadráticas característico de sulfuros y otros de magnetitas, estos minerales son inestables en procesos de meteorización y alteración.

La roca se visualiza compacta y con minerales de dureza alta, su grado de alteración es moderado, se observa minerales de alteración como y algunas con características de serpentina.

Nombre de la roca: Pórfido gábrico con augita

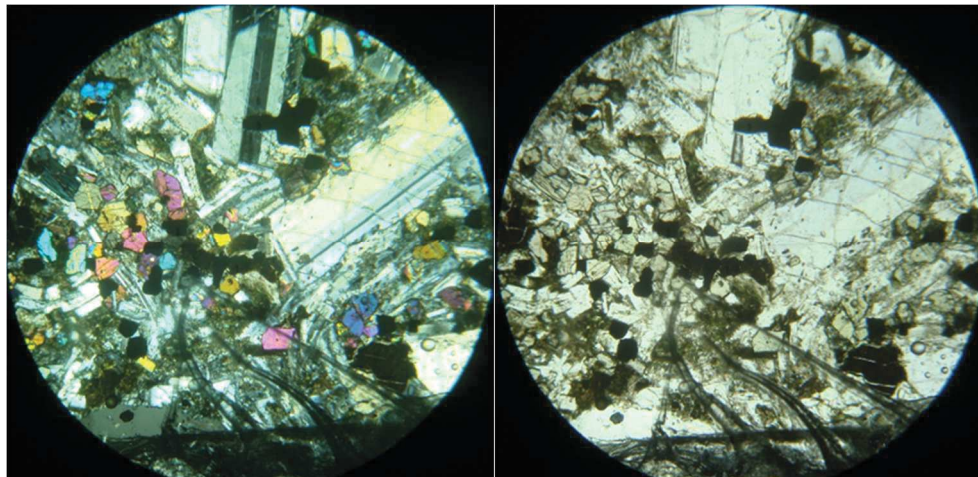


Figura 55: Microfotografía en luz polarizada LPP (fotografía izquierda): fenocristales de olivino ligeramente alterados de formas subhedrales, junto a pocos cristales de piroxenos (augitas) tonalidad azul y rojiza en su gran mayoría característicos de rocas básico

4.5.3. Levantamiento Geomecánica

La zona de interés se localiza en la concesión “Rio de Oro”, parte oeste del área de la concesión.

Se dividió en dos taludes en cada una se zonifico una zona, que se las denomino estaciones geomecánica (T1EGM1 y T2 EGM1)

Coordenadas UTM X: 550360, Y: 9882605, Z: 218.

Datum: WGS 84, zona 17S

Talud 1; Estación Geomecánica 1 (T1 EGM 1)

En esta estación se observó un corte por los trabajos mineras, tiene 18 m de ancho y una altura aproximadamente de 7 m con presencia de roca homogénea de la formación Piñón y con un azimuth de **270°/80°**.

En el talud uno que conforma la EGM 1 se procedió a obtener la información de las discontinuidades presentes en la roca en donde se determinaron cuatro familias de diaclasas (J1, J2 y J3). (Figura 56 y tabla 26).



Figura 56: Foto de T1 EGM 1. Fuente: Elaborado por autor

Tabla 26. Dirección de buzamiento (DIP DIR) y buzamiento (DIP) por familias de discontinuidades, T1 EGM 1.

Tipo de Plano	J2	J1	J1	J1	J2	J3
DIP DIR	145	200	210	205	105	164
DIP	68	78	76	90	62	68

Fuente: Elaborado por autor

Resistencia

La resistencia de la roca in situ, se realizó aplicando golpes a la roca con la piqueta, de acuerdo con el parámetro dio como resultado lo siguiente que la J1 y J3 tiene un índice R4 y J2 presenta un índice de R5.

R4 indica que es una roca dura con una resistencia entre 50-100 Mpa, el R5 es una roca muy dura con una resistencia entre 100-250 Mpa, entonces se puede decir que la resistencia de la T1 EGM1 fluctúa aproximadamente entre 150 Mpa, con una valoración que fluctúa entre 7 a 12 de RMR.

RQD

El resultado del T1 EGM 1 se promedió, obteniendo un valor definitivo de RQD 71,4 % que nos indica la calidad del macizo rocoso según el nivel de acuerdo con Deere es Mala de 25 – 50 % dando un valor 8 de RMR. (Tabla 27)

Tabla 27 :Perfiles de RQD de la estación geomecánica, T1 EGM1

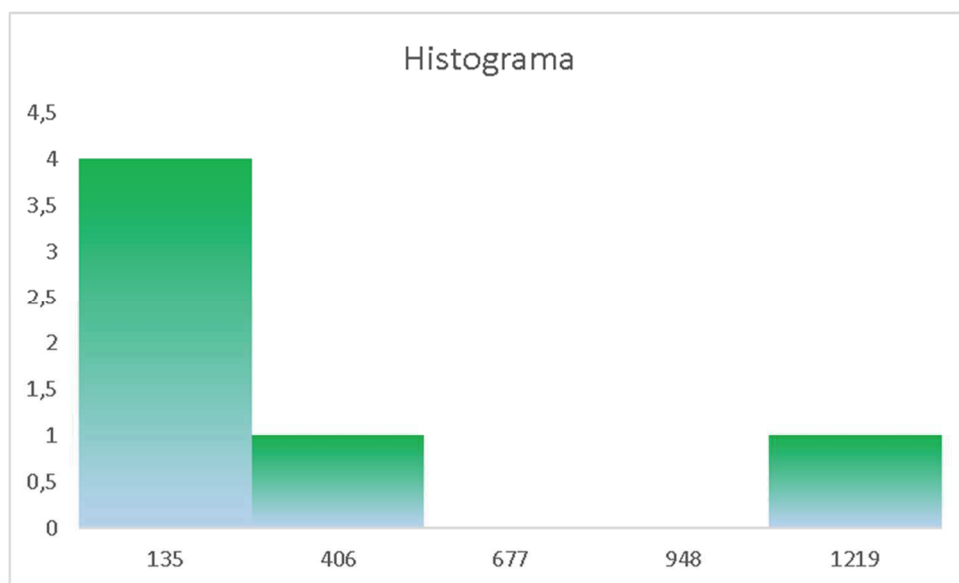
Perfiles	Fragmentos (cm)					Long Total (cm)	Σ	RQD (%)
	1	2	3	4	5			
Perfil 1	40	20	50	14		200	124	62
Perfil 2	20	60	26	50			156	78
Perfil 3	20	20	110				150	75
Perfil 4	16	125	20				161	80,5
Perfil 5	13	95	15				123	61,5
Promedio								71,4

Fuente: Elaborado por autor

Espaciado

Es el espacio que presenta las diaclasas de acuerdo con la frecuencia del histograma, dio resultados que van entre 0 a 270 mm. Resultado es 135 un valor de 8 RMR. (Figura 57).

Figura 57. Histograma de espaciado de las discontinuidades

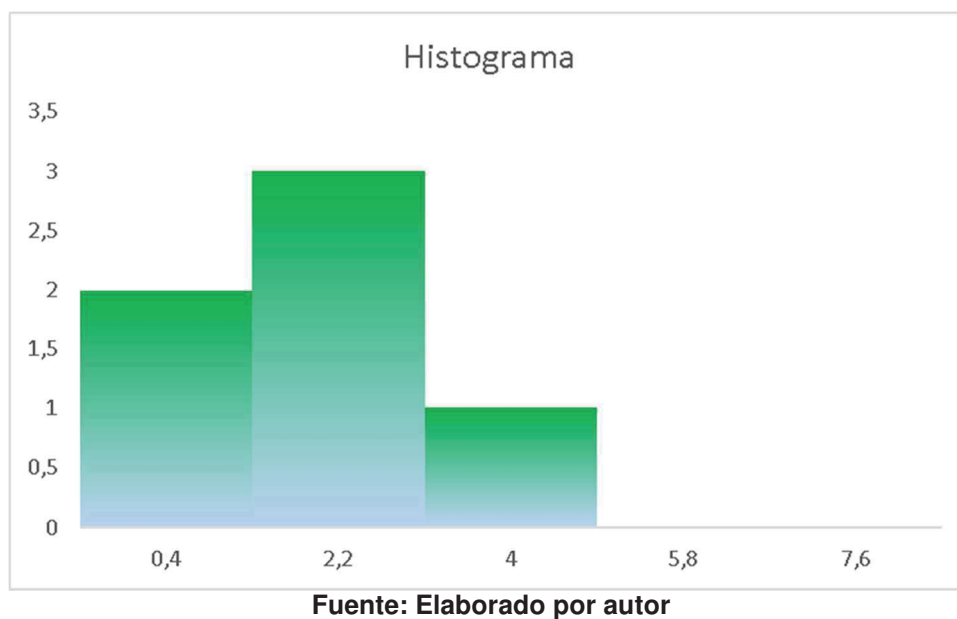


Fuente: Elaborado por autor

Continuidad

La continuidad que presenta las diaclasas de la T1 EGM 1 tiene una variación de 0,8 a 2.6 m entre las cuatro familias de diaclasa, con un resultado de RMR de 4. (Figura 58)

Figura 58. Histograma de Continuidad de las discontinuidades



Apertura

La apertura en las tres familias de diaclasas de la T1 EGM 1, varia 0 mm a 0.8 mm su apertura dando un valor de 3 RMR.

Rugosidad

Es la toma del nivel de rugosidad de los planos presente en las diaclasas encontradas en el macizo rocoso, en este caso en particular de T1 EGM 1 nos dio valores alrededor de 8 a 12 JRC, al darnos ese resultado nos indica que posee un nivel Ligeramente Rugoso mediante las tablas y con un valor 3 de RMR.



Figura 59. Lado izquierdo foto de la muestra de mano del T1 EGM 1 y de lado derecho encontramos como quedo el peine de Barton.

Relleno

Esta estación presentaba muy poco o ninguno relleno entre las cinco juntas, otorgándole un valor 6 en RMR.

Meteorización

La T1 EGM 1, presenta que las juntas tienen una meteorización categorizada de moderadamente alterada dando un valor de 3 en RMR.

Agua

A lo largo de la T1 EGM 1 se pudo palpar a la roca y se dio un resultado de seco dándonos un valor de 15 en RMR.

RMR

En la T1 EGM 1, se observaron tres familias de diaclasas, cada una de las diaclasas se midieron para obtener el valor de RMR de cada una de las familias.

El valor de RMR se debe separación de discontinuidades, abertura y rugosidad, dando con un promedio entre las familias de 60 RMR, resulta que ese valor entre 60-41 de RMR, clase II, dando una calidad de Media o Regular.

Talud 2; Estación Geomecánica 1 (T2 EGM 1)

En esta estación se observó que la roca dura con una coloración de gris oscuro a un azul marino, teniendo 30 m de ancho con una altura aproximadamente de 60 m, con un azimut de **180°/85°**.

Se procedió a obtener la información de las discontinuidades presente en el talud dos que conforma la T2 EGM 1 presentes en la roca en donde se determinaron tres familias de diaclasas (J1, J2 y J3). (Figura 60 y tabla 28)



Figura 60: Foto de Talud 2 EGM 1

Tabla 28. Dirección de buzamiento (DIP DIR) y buzamiento (DIP) por familias de discontinuidades, T2 EGM 1.

Tipo de Plano	J1	J3	J1	J2	J2	J2	J2	J2	J3	J2	J3
DIP DIR	50	10	40	285	270	280	280	278	5	315	5
DIP	80	80	80	80	80	85	90	89	70	65	15

Fuente: Elaborado por autor

Resistencia

El resultado es R5, una roca dura con un Mpa con un margen entre 100-250, entonces podremos decir que la resistencia de la T2 EGM 1 es 12 de valoración RMR.

RQD

El resultado final de los datos para T2 EGM1 se promediaron los 5 perfiles obteniendo un valor definitivo de RQD 87,4 % que nos indica la calidad del macizo rocoso según el nivel de acuerdo con Deere es Buena de 75 – 90 % dando un valor 17 de RMR. (Tabla 29)

Tabla 29 :Perfiles de RQD de la estación geomecánica, T2 EGM1

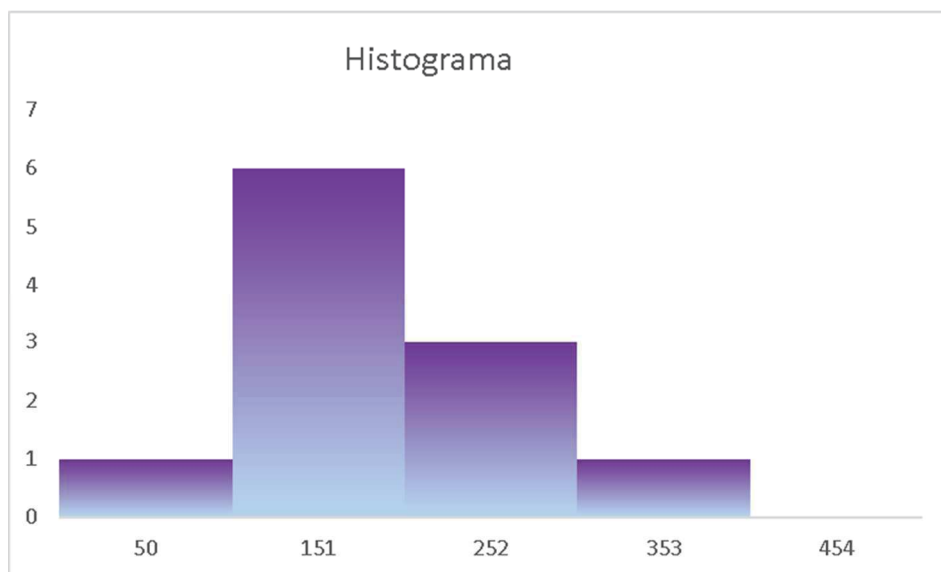
Perfiles	Fragmentos (cm)					Long Total (cm)	Σ	RQD (%)
	1	2	3	4	5			
Perfil 1	80	90	11	13		200	194	97
Perfil 2	70	60	38	12			180	90
Perfil 3	60	40	24	60			184	92
Perfil 4	90	20	24	21			155	77,5
Perfil 5	100	20	30	11			161	80,5
Promedio								87,4

Fuente: Elaborado por autor

Espaciado

Es el espacio que presenta las diaclasas de acuerdo a la frecuencia del histograma, dio resultados que van entre 100 a 200 mm. Resultado es 151 un valor de 8 RMR. (Figura 61).

Figura 61. Histograma de espaciado de las discontinuidades

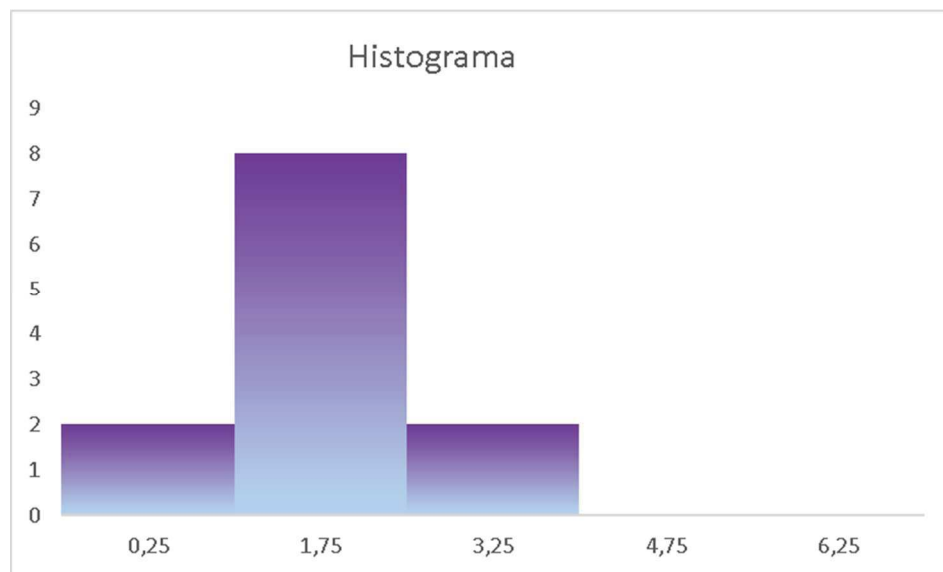


Fuente: Elaborado por autor

Continuidad

La continuidad que presenta las diaclasas de la T2 EGM 1 tiene una variación de 0.5 a 2 metros entre las tres familias de diaclasa, con un resultado 4 de RMR. (Figura 62)

Figura 62. Histograma de Continuidad de las discontinuidades.



Fuente: Elaborado por autor

Apertura

Esta sección presente en las diaclasas de la T2 EGM 1, varía 0.8 mm a 2.6 mm su apertura en las cinco familias de diaclasa dando un valor de 1 RMR.

Rugosidad

Es la toma del nivel de rugosidad de los planos presente en las diaclasas encontradas en el macizo rocoso, en este caso en particular de T2 EGM 1 nos dio valores alrededor de 12 a 16 JRC, al darnos ese resultado nos indica que posee un nivel Rugoso mediante las tablas y con un valor 5 de RMR.



Figura 63. Lado izquierdo foto de la muestra de mano de la T2 EGM 1 y de lado derecho encontramos como quedo el peine de Barton.

Relleno

En este apartado presentaba muy poco relleno de MC entre las tres juntas, otorgándole un valor 0 en RMR.

Meteorización

La T2 EGM 1, presenta que las juntas tienen una meteorización categorizada de moderadamente alterada dando un valor de 3 en RMR.

Agua

A lo largo de la T2 EGM 1 se pudo palpar a la roca y se dio un resultado de ligeramente húmedo dándonos un valor de 15 en RMR.

RMR

Los valores de RMR resultante de cada una de las familias de diaclasas, se cuantificaron tomando en cuenta los siguientes aspectos como lo es: separación de discontinuidades, la abertura y la rugosidad, dando un promedio entre las familias de 65 RMR, indica que el valor esta entre 61-80 de RMR, clase II, dando una calidad de Bueno.

4.5.4. Modelo Conceptual

El modelo elaborado para la concesión “Rio de Oro”, consta de tres unidades bien diferenciadas (Figura 64).

La primera es la Formación Piñón constituye la base de las unidades, compuesta de diabasas y doleritas.

La segunda unidad es la Formación Cayo constituida por alteración de arenisca y grauvacas de grano medio a grueso, con abundancia de elementos volcánicos.

La tercera unidad es la Formación Cerro constituida por areniscas y microbrechas.

Se elaboró un corte geológico con las curvas de nivel extraída del modelo tridimensional de la concesión representa la intersección del cuerpo geológico con un plano vertical de una orientación determinada en las labores mineras.

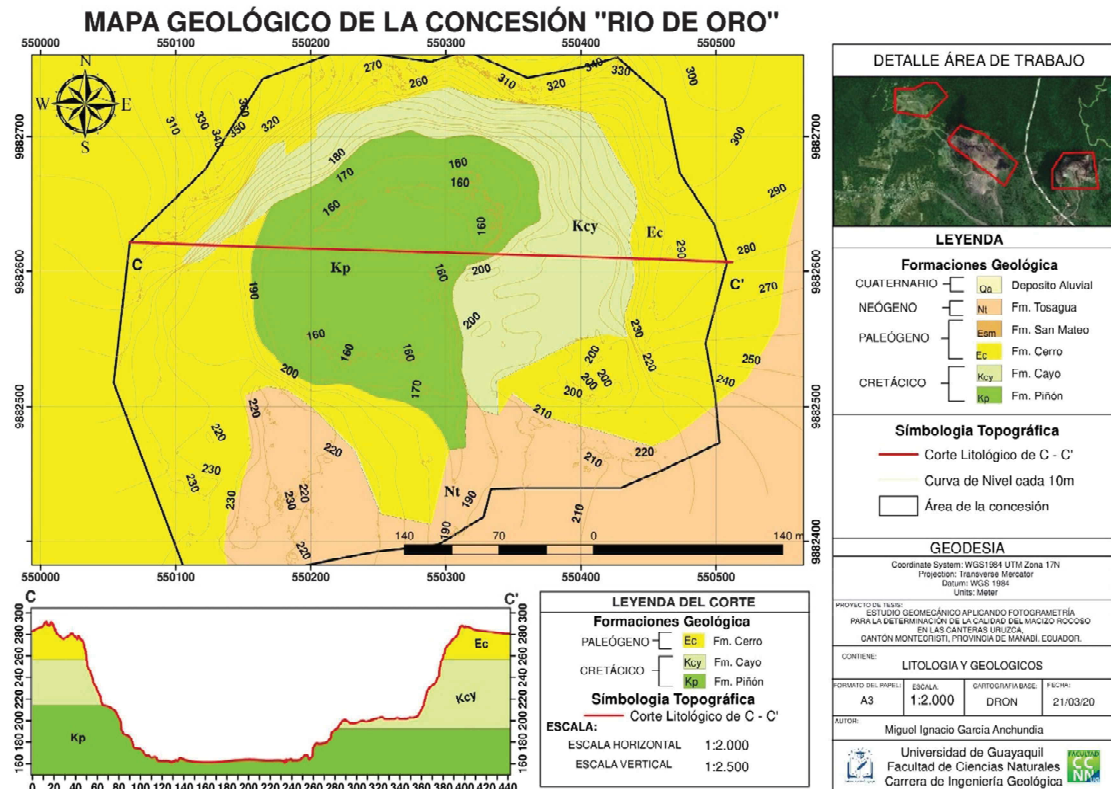


Figura 64. Mapa Geológico a detalle de Rio de Oro. Fuente: Elaborado por autor

Una vez realizada la integración del resultado obtenido en el campo se infiere un modelo tridimensional usando la fotogrametría, dando un apoyo a la comprensión geomorfológica, geológica, geomecánica y estructural de la concesión minera "Rio de Oro". (Figura 65)





Figura 65. Vista de distintos ángulos del diseño 3D de la concesión Río de Oro. Fuente: Elaborado por autor

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

Para el reconocimiento y la caracterización de la geología local, se tuvo como referencia la Hoja Geológica de Montecristi 2009, se tomaron muestras de mano para realizar el análisis macroscópico y microscópico (laminas delgadas), evidenciándose las siguientes litologías; conglomerados y areniscas finas a gruesas, suelos arcillosos, roca volcánica con matriz arcillosa y Diabasa, se identificaron y calificaron estructuras, y se tomaron datos de rumbo y buzamiento, con lo que se infirió que las formaciones geológicas presentes en el cerro Guayabal son: San Mateo, Cerros, Cayo y Piñón, corroborándose la geología obtenida por Felix, A. (2017) y Guillen, R. (2020).

Los parámetros de la clasificación geomecánica de Bieniawski de la investigación de Ruiz, A. (2017), tienen una pequeña variación, el valor de RMR resultó menor (54 RMR), comparándolo con los resultados obtenidos en el presente estudio (56 RMR, 68.67 RMR, 62.5 RMR), debido a que existen diferencias en los parámetros de resistencia a la compresión simple, espaciado entre juntas, nivel de rugosidad y flujo de agua en las juntas.

Se pudo determinar con la ayuda del software ArcScene, teniendo los mismos puntos de referencia, que no existe diferencias en los desplazamientos en X y Y, pero si una variación de aproximadamente 1m en sus elevaciones, contrastando el diseño MDE elaborado por el MAGAP en el año 2015 con el diseño MDE en la presente investigación.

CONCLUSIÓN

- Se identificó, caracterizó y confirmó las formaciones San Mateo, Cerro, Cayo y Piñón presentes en el área de estudio.
- La calidad del macizo rocoso determinada en la concesión San Carlos es media o regular, mientras que en las concesiones Inmetro 2 y Río de Oro es Buena.
- El análisis fotogrametría permitió observar de manera espacial como se encuentran ubicadas las EGM de cada concesión y estudiar a más detalle, los cambios litológicos y estructurales.
- Los modelos conceptuales ayudan a cimentar bases para futuros trabajos geológicos.
- El estudio ayudó actualizar datos de litologías, calidad del macizo rocoso, geología estructural, cálculos volumétricos relativamente cercanos a la realidad, así como también poseer una línea base para futuras investigaciones

RECOMENDACIÓN

- Utilizar otros análisis de la calidad del macizo rocoso como son SMR y GSI.
- Materializar una red de puntos, mediante un dispositivo RTK, lo cual permitirá que los posteriores sobrevuelos sean referenciados con dicha red.
- Elaborar análisis de la compresión simple para poder caracterizar mejor la roca.
- Emplear otro tipo de estudio geológico en estas concesiones, como lo es: Geología Estructural, Análisis micropaleontológico en zonas sedimentarias, Tectónica y Estratigrafía.

Bibliografía

Arcos, V. (2008). Perforación, Voladura y ventilación en Minería Subterránea. Ayacucho.

Aspden, & Litherland. (1992). La Geología y la Historia de colisión Mesozoico de la Cordillera Real. Quito.

Bermis, S., Mcklethwaite, S., Tuner, D., & James, M. (2014). Ground-based and UAV-Based photogrammetry: A multi-scale, high resolution. Journal of Structural Geology, 5,6.

Buil, F., Nuñez, A., & Rodriguez, J. (2003). Fotogrametría Analítica. Barcelona: EUPB.

Buil, P., Nuñez, M., & Rodriguez, J. (2003). Fotogrametría Analítica. Cataluña: Edicions UPC.

Cepeda, R. (septiembre de 2016). INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO METODOLÓGICO DEL USO DE VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO (UAV) EN LAS GEOCIENCIAS". INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO METODOLÓGICO DEL USO DE VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO (UAV) EN LAS GEOCIENCIAS". Quito: UCE.

Chiang, K.-W., Tsai, M.-L., & Chu, C.-H. (4 de Julio de 2012). The Development of an UAV Borne Direct Georeferenced Photogrammetric Platform for Ground Control Point Free Applications. Sensors, 3,4.

Ruiz A. (febrero de 2017). ANÁLISIS COMPARATIVO DE MEDIDAS ESTRUCTURALES, APLICANDO MÉTODOS TRADICIONALES Y TÉCNICAS FOTOGRAFÉTRICAS CON VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAV – LIVIANO); CASO DE ESTUDIO: ESQUISTOS DE LA U. AGOYAN EN EL KM 7+000 DE LA VÍA BAÑOS-PUYO". Quito: UCE.

Satirapod, C., & Homniam, P. (febrero de 2006). GPS Precise Point Positioning Software for Ground Control. OF SURVEYING ENGINEERING © ASCE, 1,.

Schnabel, R., Wahl, R., & Klein, R. (2007). Efficient RANSAC for Point-Cloud Shape Detection. The Eurographics Association .

Sieberth, T., Wackrow, R., & Chandler, J. (Diciembre de 2014). MOTION BLUR DISTURBS – THE INFLUENCE OF MOTION-BLURRED IMAGES IN PHOTOGRAMMETRY. The photogrammetric record, 2,10,11.

Suárez, L. (2016). Análisis de Estabilidad de Taludes. Medellín: MATLAB.

techniques, R.-u. o. (s.f.). Rodríguez; Pérez; Martínez; Valle. DIALNET.

Vasuki, Y., Holden, E.-J., Kovesi, P., & Micklethwaite, S. (11-14 de Agosto de 2013). A Geological Structure Mapping Tool using Photogrammetric Data. The Eureka Moment, 2,3.

Morton, Andrew C; Hallsworth, Claire R (March 1999). "Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstones". Sedimentary Geology. 124 (1–4).

Nasdala, L., Hofmeister, W., Norberg, N., Martinson, J., Corfu, F., Dörr, W., L.

Kamo, S., Kennedy, A., Kronz, A., Reiners, P., Frei, D., Kosler, J., Wan, Y.,

Götze, J., Häger, T., Kröner, A., & Valley, J. (2008). Zircon M257 - a

Homogeneous Natural Reference Material for the Ion Microprobe U-Pb Analysis of Zircon. Geostandards and Geoanalytical Research, Vol. 32 — N° 3, p. 247-265.

Olson, E., & Krogh, T. (Abril 11, 2013). Dating. Mayo 16, 2017, de Encyclopedia Britannica, inc. Sitio web: <https://www.britannica.com/science/datinggeochronology/Correlation>

Ordoñez, M., Jiménez, N., Suárez, J., 2006: Micropaleontología Ecuatoriana.

PETROPRODUCCION FILIAL DE PETROECUADOR, p: 74-94,145-148, 154-162.

Anexo

San Carlos EGM 1

PARAMETRO			ESTIMACION Y ESCALA DE VALORES						
1	Resistencia de la roca sana	Carga puntual MPa⇔	> 10	4 - 10	2 - 4	1 - 2	Únicamente Compresión Simple		
		Kg/cm² (aprox)⇔	100	40 - 100	20 - 40	10 - 20			
		Compr. Simple MPa⇔	> 250	100 - 250	50 - 100	25 - 50			
		Kg/cm² (aprox)⇔	> 2 500	1 000-2 500	500 - 1 000	250 - 500	5-25 50-250	1-5 10-50	< 1 <10
	Valoración		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD %		90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
	Valoración		20	17	13	8	3		
3	Separación de discontinuidades		> 2 m	0,6 - 2 m	0,2 - 0,6 m	0,06 - 0,2 m	< 0,06 m		
	Valoración		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades (ver guía especial)		Muy rugosas. Discontinuas. Sin separaciones. Borde sano y duro.	Ligeramente rugosas. Abertura < 1 mm. Bordes duros.	Ligeramente rugosas. Abertura < 1 mm. Bordes blandos	Espejo de falla o con relleno < 5 mm o abiertas 1 - 5 mm. Diaclasas continuas	Relleno blando > 5 mm o abertura > 5 mm Diaclasa Continua		
	Valoración		30	25	20	13	0		
5	Presencia de agua	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 L/min	10 - 25 L/min	25 - 125 L/min	> 125 L/min		
		Relación entre la presión de agua y la mayor del terreno σ_w / σ_1	0	0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5		
		Estado general	Seco	Ligeramente Húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo		
	Valoración		15	10	7	4	0		

San Carlos EGM 2

PARAMETRO			ESTIMACION Y ESCALA DE VALORES						
1	Resistencia de la roca sana	Carga puntual MPa⇔	> 10	4 - 10	2 - 4	1 - 2	Únicamente Compresión Simple		
		Kg/cm² (aprox)⇔	100	40 - 100	20 - 40	10 - 20			
		Compr. Simple MPa⇔	> 250	100 - 250	50 - 100	25 - 50			
		Kg/cm² (aprox)⇔	> 2 500	1 000-2 500	500 - 1 000	250 - 500	5-25 50-250	1-5 10-50	< 1 <10
	Valoración		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD %		90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
	Valoración		20	17	13	8	3		
3	Separación de discontinuidades		> 2 m	0,6 - 2 m	0,2 - 0,6 m	0,06 - 0,2 m	< 0,06 m		
	Valoración		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades (ver guía especial)		Muy rugosas. Discontinuas. Sin separaciones. Borde sano y duro.	Ligeramente rugosas. Abertura < 1 mm. Bordes duros.	Ligeramente rugosas. Abertura < 1 mm. Bordes blandos	Espejo de falla o con relleno < 5 mm o abiertas 1 - 5 mm. Diaclasas continuas	Relleno blando > 5 mm o abertura > 5 mm Diaclasa Continua		
	Valoración		30	25	20	10	0		
5	Presencia de agua	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 L/min	10 - 25 L/min	25 - 125 L/min	> 125 L/min		
		Relación entre la presión de agua y la mayor del terreno σ_w / σ_1	0	0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5		
		Estado general	Seco	Ligeramente Húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo		
	Valoración		15	10	7	4	0		

San Carlos EGM 3

PARAMETRO			ESTIMACION Y ESCALA DE VALORES						
1	Resistencia de la roca sana	Carga puntual MPa⇔ Kg/cm ² (aprox)⇔	> 10 100	4 – 10 40 - 100	2 – 4 20 - 40	1 – 2 10 - 20	Únicamente Compresión Simple		
		Compr. Simple MPa⇔ Kg/cm ² (aprox)⇔	> 250 >2 500	100 – 250 1 000-2 500	50 – 100 500 – 1 000	25 – 50 250 - 500	5-25 50-250	1-5 10-50	< 1 <10
		Valoración	15	12	7	4	2	1	0
2	RQD %		90 – 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
	Valoración		20	17	13	8	3		
3	Separación de discontinuidades		> 2 m	0,6 – 2 m	0,2 – 0,6 m	0,06 – 0,2 m	< 0,06 m		
	Valoración		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades (ver guía especial)		Muy rugosas. Discontinuas. Sin separaciones. Borde sano y duro.	Ligeramente rugosas. Abertura <1 mm. Bordes duros.	Ligeramente rugosas. Abertura <1 mm. Bordes blandos	Espejo de falla o con relleno <5 mm o abiertas 1 – 5 mm. Diaclasas continuas	Relleno blando > 5 mm o abertura > 5 mm Diaclasa Continua		
	Valoración		30	25	20	13	0		
5	Presencia de agua	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 L/min	10 – 25 L/min	25 – 125 L/min	>125 L/min		
		Relación entre la presión de agua y la mayor del terreno σ_w / σ_1	0	0 – 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,5	> 0,5		
		Estado general	Seco	Ligeramente Húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo		
		Valoración	15	10	7	4	0		

Inmetro 2 EGM 1

PARAMETRO			ESTIMACION Y ESCALA DE VALORES						
1	Resistencia de la roca sana	Carga puntual MPa⇔ Kg/cm ² (aprox)⇔	> 10 100	4 – 10 40 - 100	2 – 4 20 - 40	1 – 2 10 - 20	Únicamente Compresión Simple		
		Compr. Simple MPa⇔ Kg/cm ² (aprox)⇔	> 250 >2 500	100 – 250 1 000-2 500	50 – 100 500 – 1 000	25 – 50 250 - 500	5-25 50-250	1-5 10-50	< 1 <10
		Valoración	15	12	7	4	2	1	0
2	RQD %		90 – 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
	Valoración		20	17	13	8	3		
3	Separación de discontinuidades		> 2 m	0,6 – 2 m	0,2 – 0,6 m	0,06 – 0,2 m	< 0,06 m		
	Valoración		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades (ver guía especial)		Muy rugosas. Discontinuas. Sin separaciones. Borde sano y duro.	Ligeramente rugosas. Abertura <1 mm. Bordes duros.	Ligeramente rugosas. Abertura <1 mm. Bordes blandos	Espejo de falla o con relleno <5 mm o abiertas 1 – 5 mm. Diaclasas continuas	Relleno blando > 5 mm o abertura > 5 mm Diaclasa Continua		
	Valoración		30	25	20	10	0		
5	Presencia de agua	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 L/min	10 – 25 L/min	25 – 125 L/min	>125 L/min		
		Relación entre la presión de agua y la mayor del terreno σ_w / σ_1	0	0 – 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,5	> 0,5		
		Estado general	Seco	Ligeramente Húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo		
		Valoración	15	10	7	4	0		

Inmetro 2 EGM2

PARAMETRO			ESTIMACION Y ESCALA DE VALORES						
1	Resistencia de la roca sana	Carga puntual MPa⇔ Kg/cm ² (aprox)⇔	> 10 100	4 – 10 40 - 100	2 – 4 20 - 40	1 – 2 10 - 20	Únicamente Compresión Simple		
		Compr. Simple MPa⇔ Kg/cm ² (aprox)⇔	> 250 >2 500	100 – 250 1 000-2 500	50 – 100 500 – 1 000	25 – 50 250 - 500	5-25 50-250	1-5 10-50	< 1 <10
		Valoración	15	12	7	4	2	1	0
2	RQD %		90 – 100	75 – 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
		Valoración	20	17	13	8	3		
3	Separación de discontinuidades		> 2 m	0,6 – 2 m	0,2 – 0,6 m	0,06 – 0,2 m	< 0,06 m		
		Valoración	20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades (ver guía especial)	Muy rugosas. Discontinuas. Sin separaciones. Borde sano y duro.		Ligeramente rugosas. Abertura <1 mm. Bordes duros.	Ligeramente rugosas. Abertura <1 mm. Bordes blandos.	Espejo de falla o con relleno < 5 mm o abiertas 1 – 5 mm. Diaclasas continuas	Relleno blando > 5 mm o abertura > 5 mm Diaclasa Continua		
		Valoración	30	25	23	10	0		
5	Presencia de agua	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 L/min	10 – 25 L/min	25 – 125 L/min	>125 L/min		
		Relación entre la presión de agua y la mayor del terreno σ_w / σ_1	0	0 – 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,5	> 0,5		
		Estado general	Seco	Ligeramente Húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo		
		Valoración	15	10	7	4	0		

Inmetro 2 EGM 3

PARAMETRO			ESTIMACION Y ESCALA DE VALORES						
1	Resistencia de la roca sana	Carga puntual MPa⇔ Kg/cm ² (aprox)⇔	> 10 100	4 – 10 40 - 100	2 – 4 20 - 40	1 – 2 10 - 20	Únicamente Compresión Simple		
		Compr. Simple MPa⇔ Kg/cm ² (aprox)⇔	> 250 >2 500	100 – 250 1 000-2 500	50 – 100 500 – 1 000	25 – 50 250 - 500	5-25 50-250	1-5 10-50	< 1 <10
		Valoración	15	12	7	4	2	1	0
2	RQD %		90 – 100	75 – 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
		Valoración	20	17	13	8	3		
3	Separación de discontinuidades		> 2 m	0,6 – 2 m	0,2 – 0,6 m	0,06 – 0,2 m	< 0,06 m		
		Valoración	20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades (ver guía especial)	Muy rugosas. Discontinuas. Sin separaciones. Borde sano y duro.		Ligeramente rugosas. Abertura <1 mm. Bordes duros.	Ligeramente rugosas. Abertura <1 mm. Bordes blandos.	Espejo de falla o con relleno < 5 mm o abiertas 1 – 5 mm. Diaclasas continuas	Relleno blando > 5 mm o abertura > 5 mm Diaclasa Continua		
		Valoración	30	25	20	10	0		
5	Presencia de agua	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 L/min	10 – 25 L/min	25 – 125 L/min	>125 L/min		
		Relación entre la presión de agua y la mayor del terreno σ_w / σ_1	0	0 – 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,5	> 0,5		
		Estado general	Seco	Ligeramente Húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo		
		Valoración	15	10	7	4	0		

Rio de Oro – T1 EGM 1

PARAMETRO			ESTIMACION Y ESCALA DE VALORES						
1	Resistencia de la roca sana	Carga puntual MPa⇔ Kg/cm ² (aprox)⇔	> 10 100	4 – 10 40 - 100	2 – 4 20 - 40	1 – 2 10 - 20	Únicamente Compresión Simple		
		Compr. Simple MPa⇔ Kg/cm ² (aprox)⇔	> 250 >2 500	100 – 250 1 000-2 500	50 – 100 500 – 1 000	25 – 50 250 - 500	5-25 50-250	1-5 10-50	< 1 <10
		Valoración	15	12	7	4	2	1	0
2	RQD %		90 – 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
	Valoración		20	17	13	8	3		
3	Separación de discontinuidades		> 2 m	0,6 – 2 m	0,2 – 0,6 m	0,06 – 0,2 m	< 0,06 m		
	Valoración		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades (ver guía especial)		Muy rugosas. Discontinuas. Sin separaciones. Borde sano y duro.	Ligeramente rugosas. Abertura <1 mm. Bordes duros.	Ligeramente rugosas. Abertura <1 mm. Bordes blandos	Espejo de falla o con relleno < 5 mm o abiertas 1 – 5 mm. Diaclasas continuas	Relleno blando > 5 mm o abertura > 5 mm Diaclasa Continua		
	Valoración		30	25	20	10	0		
5	Presencia de agua	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 L/min	10 – 25 L/min	25 – 125 L/min	>125 L/min		
		Relación entre la presión de agua y la mayor del terreno σ_w / σ_1	0	0 – 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,5	> 0,5		
		Estado general	Seco	Ligeramente Húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo		
		Valoración	15	10	7	4	0		

Rio de Oro - T2 EGM 1

PARAMETRO			ESTIMACION Y ESCALA DE VALORES						
1	Resistencia de la roca sana	Carga puntual MPa⇔ Kg/cm ² (aprox)⇔	> 10 100	4 – 10 40 - 100	2 – 4 20 - 40	1 – 2 10 - 20	Únicamente Compresión Simple		
		Compr. Simple MPa⇔ Kg/cm ² (aprox)⇔	> 250 >2 500	100 – 250 1 000-2 500	50 – 100 500 – 1 000	25 – 50 250 - 500	5-25 50-250	1-5 10-50	< 1 <10
		Valoración	15	12	7	4	2	1	0
2	RQD %		90 – 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
	Valoración		20	17	13	8	3		
3	Separación de discontinuidades		> 2 m	0,6 – 2 m	0,2 – 0,6 m	0,06 – 0,2 m	< 0,06 m		
	Valoración		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades (ver guía especial)		Muy rugosas. Discontinuas. Sin separaciones. Borde sano y duro.	Ligeramente rugosas. Abertura <1 mm. Bordes duros.	Ligeramente rugosas. Abertura <1 mm. Bordes blandos	Espejo de falla o con relleno < 5 mm o abiertas 1 – 5 mm. Diaclasas continuas	Relleno blando > 5 mm o abertura > 5 mm Diaclasa Continua		
	Valoración		30	25	20	13	0		
5	Presencia de agua	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 L/min	10 – 25 L/min	25 – 125 L/min	>125 L/min		
		Relación entre la presión de agua y la mayor del terreno σ_w / σ_1	0	0 – 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,5	> 0,5		
		Estado general	Seco	Ligeramente Húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo		
		Valoración	15	10	7	4	0		