



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Determinación de la proporción bloque-matriz en litologías volcánicas BIM Soil en la Vía Panamericana, Departamento de Nariño.

Jefferson Andres Benavides Getial

Universidad Nacional de Colombia

Sede Medellín.

Facultad de Minas, Departamento de ingeniería

Medellín, Colombia

Año 2023

**Determinación de la proporción bloque-matriz en
litologías volcánicas BIM Soil en la Vía Panamericana,
Departamento de Nariño.**

Jefferson Andres Benavides Getial

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título
de:

Magister en Ingeniería- Geotecnia.

Director:

Ph.D. Alvaro Jesus Castro Caicedo

Codirector:

Ph.D. Francisco Javier Nanclares Arango

Universidad Nacional de Colombia

Sede Medellín.

Facultad de Minas, Departamento de ingeniería

Medellín, Colombia

Año 2023

A mi amada hija Martina.

La preocupación por el hombre y su destino siempre debe ser el interés primordial de todo esfuerzo técnico. Nunca olvides esto entre tus diagramas y ecuaciones.

Albert Einstein

Declaración de obra original

Yo Jefferson Andres Benavides, declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.



Nombre

Jefferson Andres Benavides Getial

Fecha 21/11/2023

Agradecimientos

A mis padres Marco Alirio Benavides y Rita Irene Getial, a mi hermano John Benavides, y mi hija Cielo Martina Benavides Ortega, su cariño y apoyo siempre me dio fuerzas para seguir adelante.

A mis tutores de tesis de tesis Alvaro Jesus Castro y Francisco Javier Nanclares Arango, por su ilustración, paciencia y sabios consejos.

A los docentes y asesores quienes me acompañaron en este proceso de posgrado, quienes a lo largo de la carrera me brindaron su tiempo, sentando las bases del conocimiento tanto técnica como éticamente entorno a la bella profesión de ingeniería Civil. Gracias por todas sus enseñanzas.

A la Universidad Nacional y sus directivos por admitirme y permitirme profundizar el conocimiento en el campo de la geotecnia en una universidad de alto prestigio y calidad.

Un agradecimiento especial a quien desinteresadamente me asesoro y apoyo en el uso del equipo GigaPan®, al docente Cesar Javier Vinasco.

Y todas las personas que me dieron una palabra de aliento.

Resumen

Determinación de la proporción bloque-matriz en litologías volcánicas BIM Soil en la Vía Panamericana, Departamento de Nariño.

A continuación, se presenta una propuesta metodológica para la determinar la proporción bloque-matriz BIM en litologías volcánicas, por medio del procesamiento de imágenes de un modelo 3D generado mediante fotografías de dron y de alta resolución tomadas con el sistema Giga Pan ®, posteriormente se construirán secciones de estudio, se calibrará un modelo y se calculará la estabilidad de los taludes analizando la incidencia de la proporción bloque matriz sobre los parámetros mecánicos cohesión y ángulo de fricción, el caso de estudio se propone en el cañón del río Guátara aledaño a la doble calzada Pasto- Ipiales, en el Municipio de Imués, Departamento de Nariño.

Palabras clave: Litología Volcánica, Bloque en Matriz, BIM, Fotogrametría, Sistema GigaPan®, Talud.

Abstract

Determination of the block-matrix ratio in BIM Soil volcanic lithologies on the Panamericana Highway, Department of Nariño.

The following is a methodological proposal to determine the BIM block-matrix ratio in volcanic lithologies, by processing images taken from a 3D model generated by drone and high-resolution photographs using the Giga Pan ® system, then build study sections, calibrate the model and calculate the stability of the slopes by analyzing the incidence of the block-matrix ratio on the mechanical parameters cohesion and friction angle, the case study is proposed in the canyon of the Guáitara River adjacent to the Pasto-Ipiales dual carriageway, in the municipality of Imues, Department of Nariño.

Keywords: Volcanic Lithology, Matrix Block, BIM, Photogrammetry, GigaPan® System, Slope.

Contenido

	Pág.
Lista de figuras	XIII
Lista de tablas	XVI
Lista de Símbolos y abreviaturas	XVIII
1. Introducción	20
1.1 Planteamiento del problema	21
1.2 Marco geológico	23
1.3 Objetivos	25
1.3.1 General	25
1.3.2 Específicos	25
1.4 Justificación	25
1.5 Localización	28
1.6 Descripción del sitio de estudio.	30
1.6.1 Descripción de las obras existentes en la zona de estudio	30
1.7 Geología General	34
1.8 Estratigrafía	36
1.6.1 Cuaternario - Depósitos Aluviales (Qal)	36
1.6.2 Terciario – Cuaternario (NQ) Rocas Piroclásticas y Flujos de Lodo (NgQp)....	36
1.6.3 Terciario – Cuaternario (NQ) Lavas y Piroclasto (NgQf)	37
1.9 Geología detallada para la unidad funcional concesionaria vial.	37
1.7.1 Identificación de la unidad funcional.	37
1.7.2 Conjunto Sedimentario Volcánico La Magdalena (TQsv)	38
1.7.3 Lavas (TQvl)	39
1.7.4 Flujos de Ceniza y Pumita (TQvf)	41
1.10 Geología Detallada para la unidad funcional ANI.	42
1.8.1 Geología Cuaternario	42
1.8.1.1 Cuaternario Depósitos de Terraza Aluvial (Qtz)	42
1.8.2 Geología detallada Terciario – Cuaternario	43
1.8.2.1 Depósitos Piroclásticos (NgQp)	43
1.8.2.2 Depósitos de Cenizas Volcánicas (NgQp-Cv y NgQp-Cv(Mo))	43
1.8.2.3 Depósitos de Tobas y Aglomerados (NgQp-Tb)	44
1.8.2.4 Depósitos de Flujos Fluvio Volcánicos y de Lodos	45
1.8.2.5 Depósitos Piroclásticos de Bloques y Cenizas	46
1.8.2.6 Rocas Volcánicas Consolidadas (NgQf)	47
1.11 Geología del sitio de estudio	48
1.11.3 Columna detallada para la unidad funcional donde se ubica el área de estudio.	50
50	
1.12 Geología estructural	51
1.9.1 Falla del Guátara	51
1.9.3 Otras Fallas	52
1.13 Geomorfología	53
1.10.1 Relieve de Montaña	54
1.10.2 Planicie aluvial del río Guátara y del río Bobo	54

1.13.1	Procesos denudativos	56
1.14	Petrografía.....	58
1.14.1	Incidencia de la petrografía en la estabilidad de taludes.....	65
2.	BIM Soil, BIM Rocks (Blocks In Matrix)	66
2.1	Estudios antecedentes de bloques en matriz.....	66
2.2	Caracterización de bloques en matriz	68
2.3	Propiedades mecánicas de acuerdo a la proporción de bloques	69
2.4	Pruebas de campo para caracterización geotécnica bloques en matriz	72
2.5	Caracterización geotécnica de sector de estudio.....	74
2.5.1	Caracterización geotécnica de la concesionaria	74
2.5.2	Caracterización geotécnica de la ANI.....	93
2.5.3	Línea sísmica de la ANI	94
3.	Determinación de la proporción bloque-matriz.....	98
3.1	Metodología.....	98
3.2	Construcción de modelo topográfico tridimensional.....	99
3.2.1	Generación del plan de vuelo con dron	99
3.2.2	Información del plan de vuelo con dron	100
3.2.3	Construcción orto mosaico	103
3.2.4	Modelo topográfico tridimensional	104
3.3	Construcción de registro fotográfico de alta resolución	104
3.3.1	Descripción del equipo para registro de alta resolución mediante GigaPan® 104	
3.3.2	Metodología para registro de alta resolución mediante GigaPan®.....	107
3.4	Selección fotografías sitios de estudio	114
3.5	Procesamiento de fotografías mediante software Imagen J.....	116
3.5.1	Procedimiento cálculo de proporción bloque- matriz.....	116
3.5.2	Procesamiento de información para cálculo de proporción bloque-matriz ...	120
3.6	Procesamiento de fotografías mediante software Scion Image.....	129
3.6.1	Procedimiento cálculo de proporción bloque- matriz.....	129
3.6.2	Procesamiento de información para cálculo de proporción bloque-matriz ...	134
3.7	Resultados del cálculo de proporción bloque-matriz.....	136
3.7.3	Caracterización mediante el método de Brand.....	138
4.	Influencia de la proporción bloque-matriz en la estabilidad de taludes.....	139
4.1	Asignación de valores característicos a las litologías	139
4.2	Construcción secciones de estudio	148
4.3	Cálculos de estabilidad sobre perfiles de estudio	156
4.4	Influencia de la proporción bloque-matriz en la estabilidad de taludes	160
4.5	Análisis de los factores de seguridad encontrados.	162
4.6	Modelo inestable por efecto de la proporción bloque-matriz.	162
5.	Conclusiones y recomendaciones.....	166
5.10	Geología.....	166
5.11	Conclusiones generales en relación bloques en matriz	167
5.12	Efecto de la proporción bloque matriz en la estabilidad de taludes.....	167
5.13	Recomendaciones	168
5.14	Dificultades o limitaciones.....	169

Bibliografía 172

Lista de anexos:

- Anexo A: Plano topográfico zona de estudio
- Anexo B: Registro fotográfico con dron
- Anexo C: Registro fotográfico para GigaPan

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1: Línea de tiempo estudios de suelos volcánicos.	24
Figura 1-2: Distribución actual de las unidades litoestratigráficas y los principales elementos estructurales sobre un mapa de relieve sombreado que da la configuración actual de la topografía y su relación con los elementos geológicos.	27
Figura 1-3: Vista satelital talud de estudio- Zona lupa No 1.	29
Figura 1-4: Vista KML Polígono de estudio propuesto	29
Figura 1-5: Descripción de la zona de estudio.	32
Figura 1-6: Vista aérea Puente Guáitara.	33
Figura 1-7: Bloques en matriz de suelo BIM Soil costado izquierdo puente Guáitara.	33
Figura 1-8: Bloques en matriz de roca BIM Rock costado derecho puente Guáitara.	34
Figura 1-9: Geología general del sector.	35
Figura 1-10: Intercalación de arcillolitas, diatomitas y arenas finas de TQsv en K3+300.	39
Figura 1-11: Lavas andesíticas diaclasadas en dirección NW-SE 45°NE(TQvl) en K2+760.	40
Figura 1-12: Tobas líticas meteorizadas (TQvl) en K2+550.	40
Figura 1-13: Brechas volcánicas en K3+000 (TQvl).	41
Figura 1-14: Flujos (TQvf) en abscisa K4+160.	41
Figura 1-15: Vista general terrazas aluviales rio Sapuyes	42
Figura 1-16: Talud en donde se explotan arenas de depósitos de cenizas en el sector de Pasto	44
Figura 1-17: Afloramiento de tobas de cenizas volcánicas cubierta por flujo de lodos ...	44
Figura 1-18: Afloramiento de tobas de aglomerados volcánicas en el Río Guáitara	45
Figura 1-19: Depósitos de flujo en la margen Río Guáitara	45
Figura 1-20: Detalle de los materiales que conforman los flujos fluvio-volcánicos.	46
Figura 1-21: Detalle de los materiales de depósitos piroclásticos de bloques.	46
Figura 1-22: Afloramientos de lavas andesíticas	47
Figura 1-23: Afloramientos de lavas volcánicas.	47
Figura 1-24: Fotografías general del talud de interés en taludes localizados de la doble calzada pasto-Ipiales.	49
Figura 1-25: Fotografía específica talud propuesto para estudio.	49
Figura 1-26: Imagen Landsat TM.	51
Figura 1-27: Sistemas de fallas sector pasto	52

Figura 1-28: Ubicación del área de estudio (equis roja) en la geomorfología regional. La línea roja corresponde al Departamento de Nariño y la verde al Nudo de los Pastos	53
Figura 1-29: Morfología escarpada en TQvl. Foto tomada desde K2+990.	54
Figura 1-30: Valle estrecho y profundo en “V” del río Bobo. Foto tomada desde K2+820.	55
Figura 1-31: Planicie aluvial del río Bobo en la desembocadura de la Quebrada La Magdalena	55
Figura 1-32: Mapa de pendientes Zona Homogénea II.	56
Figura 1-33: Desprendimiento de detritos en TQvl a la altura del K2+800.	57
Figura 1-34: Erosión superficial en rocas de la unida TQvl en K2+960.	58
Figura 1-35: Muestra de 380 gr de fragmentos de roca que representan el material estéril. Fragmentos de roca subangulares, subelongados.	60
Figura 1-36 Ampliación a 3.5X en nicoles paralelos. M1 Andesita.....	61
Figura 1-37: Ampliación a 3.5X en nicoles cruzados.....	61
Figura 1-38: Ampliación a 3.5X en nicoles paralelos M1 Andesita	62
Figura 1-39: Nicoles cruzados a 3.5X. M1: Andesita.....	62
Figura 1-40: Nicoles paralelos a 3.5X. M2 Basalto.	63
Figura 1-41: Nicoles cruzados a 3.5X. M2 Basalto.	63
Figura 1-42: Nicoles paralelos a 3.5X. M2 Basalto.	64
Figura 1-43 Nicoles cruzados a 3.5X M2 Basalto.	64
Figura 2-44: Línea temporal bloques en matriz	67
Figura 2-45 Comportamiento mecánico cohesión Vs % de bloques.	69
Figura 2-46 Comportamiento mecánico ángulo de fricción Vs % de bloques.	69
Figura 2-47 Correlación lineal y logarítmica entre la cohesión c' y la VBP hallada por el 70	
Figura 2-48 Correlación lineal entre el incremento de la cohesión c' y la VBP hallada por el método de Medley.	71
Figura 2-49 Correlación potencial entre el ángulo de fricción ϕ' y el C_u	72
Figura 2-50: Vista equipo cilindro hidráulico.	73
Figura 2-51: Curva característica datos de campo ensayo cilindro hidráulico.	73
Figura 2-52: Corredor vial pasto -Ipiales.	74
Figura 2-53: Localización de talud de estudio sobre plan de exploración geotécnico doble calzada Pasto-Ipiales.....	76
Figura 2-54: Localización líneas sísmicas ANI, corredor vial Pasto-Ipiales.	95
Figura 2-55: Resultados línea sísmica No 1.	96
Figura 3-56: Vista en perfil sobre talud para pilotaje de dron.	99
Figura 3-57: Vista frontal sobre talud para recorrido y toma de fotografías para generación de modelo en 3D.	99
Figura 3-58: Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.	100
Figura 3-59: Gráfico de residuales para Test_Pro (4.386mm).	101
Figura 3-60: Posiciones de cámaras y estimadores de error.	101
Figura 3-61: Modelo digital de elevaciones.....	102
Figura 3-62: Ortomosaico zona de estudio cañón sobre el rio Guairatara- vía panamericana doble calzada Pasto- Ipiales.	103
Figura 3-63: Modelo 3D generado mediante levantamiento con Dron.....	104

Figura 3-64: Toma mediante GigaPan® observada en plataforma web.....	105
Figura 3-65: Robot para programación de tomas de alta resolución.	106
Figura 3-66: Lente para cámara equipo para tomas de alto alcance.....	106
Figura 3-67: Estación de trabajo con especificaciones para procesamiento de imágenes en GigaPan®.	106
Figura 3- 68: Menú principal GigaPan ®.....	107
Figura 3-69: Localización para toma de panorama general zona de estudio BIM Soil, costado derecho del puente histórico Guáitara.....	109
Figura 3-70: Localización para toma de panorama general zona de estudio BIM Rock, costado izquierdo del puente histórico Guáitara.....	109
Figura 3- 71: Vista colocación de pines en marcos de escala.	110
Figura 3-72: Toma cargada en Gigapan.	112
Figura 3-73: Punto No 1- para análisis en dos dimensiones, cálculo de porcentajes bloque-matriz.	114
Figura 3-74: Punto No 2- para análisis en dos dimensiones, cálculo de porcentajes bloque-matriz	114
Figura 3-75: Punto No 3 para análisis en dos dimensiones, cálculo de porcentajes bloque-matriz.	115
Figura 3- 76: Punto No 4 para análisis en dos dimensiones, cálculo de porcentajes bloque-matriz.	115
Figura 3-77: Limpieza de la imagen.....	116
Figura 3-78: Interpretación del software ImagenJ para calculo y conteo de áreas.	117
Figura 3-79: Ejemplo calculo porcentaje bloque-matriz.....	118
Figura 3-80: Herramienta sobre ImagenJ para cálculo de tamaños.	119
Figura 3-81: Ejemplo cálculo de tamaños representativos.....	119
Figura 3-82: Procesamiento de imagen marco No 1 zona de estudio BIM Soil.....	120
Figura 3-83: Graficas para análisis de porcentajes marco No 1.....	121
Figura 3-84: Procesamiento de imagen marco No 2 zona de estudio BIM Soil.....	122
Figura 3-85: Graficas para análisis de porcentajes marco No 2.	123
Figura 3-86: Procesamiento de imagen marco No 3 zona de estudio BIM Soil.....	124
Figura 3-87: Graficas para análisis de porcentajes marco No 3.	125
Figura 3- 88: Procesamiento de imagen marco No 1 zona de estudio BIM Soil.....	126
Figura 3-89: Graficas para análisis de porcentajes marco No 4.....	127
Figura 3-90: Paso 8 funcionamiento en Scion Imagen procesamiento de imágenes....	129
Figura 3-91: Paso 9 funcionamiento en Scion Imagen procesamiento de imágenes....	130
Figura 3-92: Paso 9 funcionamiento en Scion Imagen procesamiento de imágenes....	131
Figura 3-93: Paso 10 funcionamiento en Scion Imagen procesamiento de imágenes..	131
Figura 3-94: Paso 10 funcionamiento en Scion Imagen procesamiento de imágenes...	132
Figura 3-95: Paso 12 Paso 10 funcionamiento en Scion Imagen procesamiento de imágenes.....	132
Figura 96 Paso 13 funcionamiento en Scion Imagen procesamiento de imágenes.	133
Figura 3-97: Imagen procesada a blancos y negros marco 1.	134
Figura 3-98: Imagen procesada a blancos y negros marco 2.	134
Figura 3-99: Imagen procesada a blancos y negros marco 3.	135

Figura 3-100: Imagen procesada a blancos y negros marco 4.	135
Figura 3-101 Localización de puntos toma GigaPan (r).	136
Figura 4-102: Grafica comportamiento ángulo de fricción tipo de material Vs porcentaje de bloques.....	141
Figura 4-103: Grafica variación ángulo de fricción Vs porcentaje de bloques	142
Figura 4-104 Grafica comportamiento cohesión vs porcentaje de bloques acorde al tipo de material	143
Figura 105 Grafica variación ángulo de fricción Vs porcentaje de bloques	145
Figura 4-106: Plano topográfico sector de estudio.	148
Figura 4- 107: Vista en planta perfiles para análisis de estabilidad.	149
Figura 4-108: Corte del terreno sobre perfil No 1.	150
Figura 4-109: Corte del terreno sobre perfil No 2.	151
Figura 4-110: Corte del terreno sobre perfil No 3.	152
Figura 4-111: Corte del terreno sobre perfil No 4.	153
Figura 4-112: Corte del terreno sobre perfil No 5	154
Figura 4-113: Corte del terreno sobre perfil No 6.	155
Figura 4-114: Sección analizada para cálculo de estabilidad	160
Figura 4-115. Contenido de bloques Vs Factor de seguridad.	161
Figura 4-116: Gráfico del peso de cada variable en la composición del factor de seguridad para el talud	164

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1: Características estudio talud propuesto.....	28
Tabla 1-2- Resumen características obras civiles en el sitio de interés.	30
Tabla 1-3: Columna estratigráfica según edad, unidad y nombre.	48
Tabla 1-4 Litologías geológicas Área de influencia geológica-.....	50
Tabla 1-5: Descripción microscopia.....	59
Tabla 2-6: Características de la vida doble calzada Pasto-Ipiales.	75
Tabla 2-7: Coordenadas exploraciones zona de estudio.....	76
Tabla 2-8: Granulometría muestras exploración concesionaria vial.	77
Tabla 2-9: Limites de consistencia muestras exploración concesionaria vial	80
Tabla 2-10: Resistencia a la compresión simple muestras exploración concesionaria vial.	84
Tabla 2-11: Resumen resistencia a la compresión simple sobre muestras exploración concesionaria vial.	91
Tabla 2-12: Parámetros de resistencia mecánica rocas UF4 para suelos del complejo magdalena.	92
Tabla 2-13: Parámetros estimados para flujos de cenizas y pumitas.....	92
Tabla 2-14: Parámetros de resistencia mecánica unidades geológicas estudio geotécnico ANI.	93

Tabla 2-15: Parámetros de resistencia en zonas de puentes.....	94
Tabla 2-16: Coordenadas líneas sísmicas corredor vial Pasto-Ipiales.....	95
Tabla 3-17: Modelo de cámara levantamiento con dron.....	100
Tabla 3-18: Errores medios de las posiciones de cámaras.....	102
Tabla 3-19: Descripción de equipos usados toma de fotografías mediante el sistema GigaPan ®.....	105
Tabla 3-20: Descripción y ruta de fotografías cargadas en plataforma GigaPan.....	113
Tabla 3-21: Calculo de porcentaje de áreas en marco de referencia.....	118
Tabla 3-22: Cálculo de proporciones de tamaños.....	118
Tabla 3-23: Procesamiento de información marco de estudio No 1.....	121
Tabla 3-24: Procesamiento de información marco de estudio No 2.....	123
Tabla 3-25: Procesamiento de información marco de estudio No 2.....	125
Tabla 3-26: Procesamiento de información marco de estudio No 2.....	127
Tabla 3-27: Porcentajes bloque-matriz en marcos de referencia mediante Imagen J ...	136
Tabla 3-28: Porcentaje de bloque-matriz en marcos de referencia Scion Imagen	137
Tabla 3-29: Clasificación suelo roca método de Brand.....	138
Tabla 4-30: Comportamiento según el tipo de material	140
Tabla 4-31: Parámetros geotécnicos ANI.....	141
Tabla 4-32: Asignación de ángulo de fricción a litologías volcánicas.....	142
Tabla 4-33: Valores geotécnicos asignados por la concesionaria unión vial del sur.	143
Tabla 4-34: Valores geotécnicos asignados por la ANI.....	144
Tabla 4-35: Variación cohesión Vs porcentaje de bloques.....	144
Tabla 4-36: Asignación de cohesión a litologías volcánicas.....	145
Tabla 4-37: Resumen parámetros empleados y criterios para calibración de modelo. .	147
Tabla 4-38: Parámetros para análisis de estabilidad perfil No 1.....	150
Tabla 4-39: Parámetros para análisis de estabilidad perfil No 2.....	151
Tabla 4-40: Parámetros para análisis de estabilidad perfil No 3.....	152
Tabla 4-41: Parámetros para análisis de estabilidad perfil No 4.....	153
Tabla 4-42: Parámetros para análisis de estabilidad perfil No 5.....	154
Tabla 4-43: Parámetros para análisis de estabilidad perfil No 6.....	155
Tabla 4-44: Análisis de estabilidad perfil No 1.....	156
Tabla 4-45: Análisis de estabilidad perfil No 2.....	157
Tabla 4-46: Análisis de estabilidad perfil No 3.....	158
Tabla 4-47: Análisis de estabilidad perfil No 4.....	158
Tabla 4-48: Análisis de estabilidad perfil No 5.....	159
Tabla 4-49: Análisis de estabilidad perfil No 6.....	159
Tabla 4-50: Factores de seguridad con variación de parámetros en litologías volcánicas y porcentaje bloque matriz.....	160
Tabla 4-51: Resumen factores de seguridad para condiciones de campo.....	162
Tabla 4-52: Variación de parámetros en perfil No 3 afectados por aumento del porcentaje de bloques.....	163
Tabla 4-53: Análisis de inestabilidad por efecto de la disminución del porcentaje de bloques.....	165

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
mi:	Constante del material	-	
D:	Factor de afectación	.	
E	: Modulo de elasticidad, Ángulo de fricción		

Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
γ :	Peso unitario	KN/m ³	
σ_c :	Resistencia a la compresión simple (intacto)	MPa	
c' :	Cohesión	KN/m ²	
ϕ' :	Angulo de fricción	°	

Subíndices

Subíndice	Término
®	Derechos reservados

Superíndices

Superíndice	Término
00°00'00"	Grados, minutos, segundos

Abreviaturas

Abreviatura	Término
KML	Keyhole Markup Language.

Abreviatura Término

<i>BIM</i>	Bloque en matriz.
<i>GSI:</i>	Índice de resistencia geológico.
<i>UCS</i>	Resistencia a la compresión uniaxial.
<i>UF4</i>	Unidad Funcional 4.
TQvl	Lavas.
TQvf	Flujos de Ceniza y Pumita.
Qc	depósito coluvial.
3D	Tres dimensiones.
2D	Dos dimensiones
Min.	Mínimo
Max.	Máximo
Cost.	Costado
HCT	Hydraulic Cylinder Test
VBP	Proporción volumétrica de bloques
LL	Limite liquido
LP	Limite plástico
IP	Índice de plasticidad
Cu	Coeficiente de uniformidad
CC	Coeficiente de curvatura
3D	Tres dimensiones
PW=	Parcialmente meteorizado
UW=	No meteorizado

1. Introducción

Realizando un breve recuento histórico a los estudios geotécnicos, la ingeniería civil se concibe como una disciplina independiente de la ingeniería militar en el año 1747 (Caicedo, 2011), cuando se fundó la primera escuela de ingeniería civil, en la ciudad de París, con el nombre de: La Ecole Nationale des ponts et Chaussées. Posteriormente, se inicia la sistematización de los estudios geotécnicos como una rama de la ingeniería civil, cuyos mayores avances se sentaron para los años 1913 (Júares Badillo, 2005), en los Estados Unidos y en Suecia, donde se intentó, por primera vez, en forma sistemática y organizada, realizar estudios en el tratamiento de suelos con fines civiles; y para el año 1925 en Viena, se publicó el libro *Erdbaumechanik* (Mecánica de Suelos), cuyo autor fue el ingeniero Karl Von Terzaghi.

Con el avance de la ingeniería en los últimos 45 años se han profundizado activamente los estudios en geotecnia; creando el reto para el investigador de aportar, complementar y validar fundamentos en el campo geotécnico y, a su vez, llevarlos a un campo aplicado.

Para el caso de los bloques de roca inmersos en suelo, siendo un material mixto o heterogéneo (BIMrocks/ BIMsoil - Block in Matrix, por sus siglas en inglés), respecto a ellos, es importante resaltar:

- Se pueden definir como una mezcla de bloques geotécnicamente significativos embebidos en una matriz de suelo más débil con contraste mecánico entre bloques y matriz (Medley, 1994).
- Respecto al origen de depósitos tipo bloque en matriz son: coluviones (Dietrich & Reneau, 1991), morrenas (Fernández Navarro & Ferrando Acuña, 2018), depósitos de brecha (Hernández-Gutiérrez, 2015) y depósitos fluvioglaciares. (Ayala, 2019)

La presente propuesta, desarrolla, en:

Capítulo 1: *Introducción.* se aborda la problemática de estudio, así como la descripción de la geología local, regional, geología detallada de la zona de estudio, geología estructural, geomorfología y la incidencia de la petrografía en el análisis de la estabilidad de taludes.

Capítulo 2: *BIM Soil, BIM Rocks (Blocks In Matrix).* se presenta en este capítulo:

Teoría relacionada al estado del arte definición del término bloques en matriz BIMrocks/ BIMsoil - Block in Matrix, BIM Rocks (Blocks In Matrix), efectos del aumento de bloques en la matriz estudiados por autores.

Posteriormente se consolidan los parámetros representativos de resistencia mecánica ángulo de fricción, cohesión y peso unitario para litologías volcánicas el material de estudio.

Capítulo 3: *Determinación de la proporción bloque-matriz.* se describe la metodología, toma e interpretación de imágenes usando el programa de software libre imagen J (fotogrametría) para el cálculo de la proporción bloque matriz.

Capítulo 4: *Influencia de la cantidad de bloques mediante el Análisis de estabilidad.* se proponen parámetros para los estratos de las litologías volcánicas y se analiza la estabilidad de taludes en los perfiles construidos con la topografía realizada con dron.

Capítulo 5: *Conclusiones y recomendaciones.* presentan las conclusiones relevantes del trabajo en cuanto a los trabajos de campo, el cálculo del porcentaje bloque matriz y su incidencia en la estabilidad de taludes.

1.1 Planteamiento del problema

Se puede plantar el problema en las siguientes causas:

Difícil definición de los BIMS:

La resistencia de los suelos constituidos por bloques en matriz se puede determinar de tres maneras. Primero, en información de carácter unidimensional (perforaciones, sondeos) (Tien, y otros, 2010) (Ramos Cañón, Castro Malaver, & Padilla Bello, 2020), métodos indirectos (relación con velocidad de propagación de ondas) (Kahraman et al., 2015; Mahdevari y Maarefvand, 2017). Segunda, bidimensional (mapeo geológico en zonas expuestas de corte, análisis de fotografías) (Colmenares, Dávila, Vega, & Shin, 2018), Tridimensionalmente, mediante análisis granulométricos en laboratorio o in situ (Sönmez, Gokceoglu, Tuncay, Medley, & Hakan A, 2004).

De cada manera expuesta en el párrafo anterior, se presentan limitaciones o dificultades, así:

Para el caso de caracterización unidimensional, las exploraciones tienen un alto costo y deberán contar con equipo especializado de rotación en sondeos afectando las muestras que se tomen en la recuperación.

Para el caso bidimensional, las metodologías como son el ScanLine usada por medley (Medley, 1994) son de poca difusión en el medio y actualmente se cuenta con programas de software libre que facilitan el análisis para la determinación de la proporción bloque-matriz.

Para el caso tridimensional, resulta complejo tomar muestras de campo representativas del sector para caracterización en laboratorio. Esto por la dificultad logística en la toma y transporte del material al presentarse tamaños de bloques de gran medida.

Metodologías para identificación de los BIMS

Actualmente no se cuenta con una metodología para determinar la proporción bloque matriz mediante el análisis en dos dimensiones 2D en el software imagen J. Con la proporción lograda se podrá definir estratos articulando la incidencia de la proporción bloque matriz con los parámetros característicos en estratos litológicos, apoyados con una topografía conocida se podrá realizar un análisis de estabilidad en taludes. Lo anterior, con el fin de sistematizar los estudios de bloques en matriz. Por ello se propone en el presente estudio una metodología para cuantificar el porcentaje bloque-matriz y a su vez calcular la estabilidad del talud y analizar los efectos de la proporción bloque-matriz en perfiles topográficos en un área representativa en ciertas capas litológicas en el Departamento de Nariño.

En este estudio se utilizará el software imagen J para cuantificar la variación de la resistencia del material. Estos valores son utilizados para evaluar la estabilidad del talud en el cual se localizan materiales con características BIM Soil BIM Rock.

Por ello, para el presente estudio se construyó una metodología para determinar la proporción bloque-matriz, mediante un análisis bidimensional, interpretando fotogrametría en talud de estudio expuesto, cuyo ambiente geológico está determinado por litologías volcánicas.

Pocos estudios en litologías volcánicas relacionado los BIMS:

Como zona litológica representativa se analizaron taludes sobre el cañón del río Guitará, aledaño a la Vía panamericana en el Municipio de Imués- Departamento de Nariño; para ello, se tomó un registro fotográfico de alta resolución mediante Giga Pan® y se realizó un modelo tridimensional con dron.

Se llevó a cabo una descripción geológica regional y local del talud propuesto, posteriormente se obtuvieron los porcentajes bloque-matriz BIMsoil mediante fotointerpretación de tres puntos seleccionados en el talud expuesto, esto usando un marco de escala de un (1) metro por un (1) metro y software de dominio público ImagenJ e Inkscape.

Se describió la caracterización geológica regional relacionada con el neógeno volcánico del altiplano nariñense y local, composición geotécnica apoyada con la información suministrada por la Concesionaria Unión Vial del Sur, quienes establecieron los parámetros de resistencia geotécnica para los taludes en tramos homogéneos realizando una descripción geológica del sitio. Finalmente, se analizaron los resultados presentando las respectivas conclusiones y recomendaciones.

Por lo descrito anteriormente, la importancia del presente estudio se enmarca en dos pilares principales. El primero, enfocado en comprender el entorno geológico y geotécnico de la zona de estudio. El segundo, partiendo del cálculo del porcentaje de bloque- matriz, analizar, la incidencia en la resistencia del material con el aumento de bloques, y por ende en la estabilidad del talud.

1.2 Marco geológico

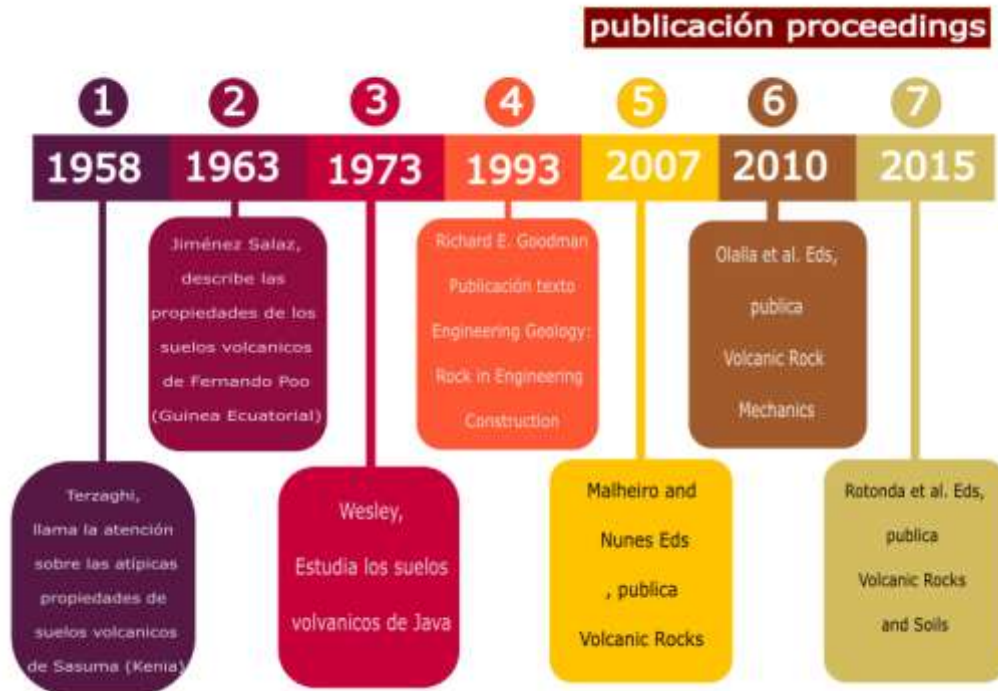
Para el caso de comprender el entorno geológico. Los suelos volcánicos, o mejor llamados litologías volcánicas, resultan de sumo interés, debido a esto, el presente estudio generará una pauta enfocada a la caracterización de bloques en matriz y mencionará las principales problemáticas del trabajo en litologías volcánicas.

Los estudios de profundización de suelos volcánicos, dentro del campo geotécnico, han sido estudiados dentro de una línea temporal que ronda los 64 años. Sin embargo, para el caso de litologías volcánicas, es Terzaghi en 1958, quien se aproxima a esta área de estudio, indicando las atípicas propiedades de los suelos volcánicos de Sasuma (Kenia).

Se realizan otras publicaciones de investigadores como: Marsal, al estudiar las propiedades de los suelos volcánicos del valle de México en 1960, o Jiménez Salas, al describir las propiedades de los suelos volcánicos de Fernando Poo (Guinea Ecuatorial) en 1963, o Wesley, al estudiar los suelos volcánicos de Java en 1973. Finalmente, se dieron nuevos trabajos de investigación, cuyos resultados fueron recogidos en cuatro simposios o workshops internacionales, patrocinados por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas, celebrados en Madeira 2002, Azores 2007, Tenerife 2010, y en Ischia, 2015. Fruto de los mismos ha sido la publicación de varios proceedings, destacando Volcanic Rocks (Malheiro and Nunes Eds,2007), Volcanic Rock Mechanics (Olalla et al. Eds, 2010) y Volcanic Rocks and Soils (Rotonda et al. Eds, 2015).

Con el fin de describir mediante una línea de tiempo los avances en estudios para litologías volcánicas se muestra la siguiente figura.

Figura 1-1: Línea de tiempo estudios de suelos volcánicos.



Fuente: prólogo “Ingeniería Geológica En Terrenos Volcánicos Métodos, Técnicas Y Experiencias En Las Islas Canarias” (Hernández-Gutiérrez, 2015))

Los anteriores estudios y experiencias expuestas en la línea temporal, coinciden en que los suelos volcánicos difieren de los suelos convencionales. Para el presente caso de estudio, nos muestra una composición bloque-matriz que es generada por la naturaleza de los distintos procesos volcánicos en la región.

Por las razones anteriores, la presente propuesta planteó como zona de estudio, un talud generado por el neógeno volcánico del altiplano, ubicado en el Departamento de Nariño, municipio de Imués, sobre el cañón del Guáitara, en la unidad funcional No 4 de la vía panamericana doble calzada Pasto- Ipiales. Sobre un talud expuesto, en el cual se aprecia la composición bloque- matriz, para BIM Soil.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Determinar la proporción bloque- matriz BIM en litologías volcánicas localizado en talud sobre cañón del rio Guitara, en el Municipio de Imués- Departamento de Nariño.

1.3.2 Específicos

- Elaborar un plan de campo y construcción de un modelo 3D con el uso de dron, enfocado en la caracterización de tamaños de bloques- matriz BIM.
- Aplicar la metodología para toma de fotografías de alta resolución, mediante el sistema Giga Pan®.
- Describir la geológica de entorno sobre el talud de estudio, indicando sus particularidades relacionadas a su origen volcánico.
- Establecer la proporción Bloque- Matriz tomadas de imágenes del modelo digital 3D y fotografías de alta resolución.

1.4 Justificación

Conocer el contenido de bloques en matriz, utilizando herramientas en dos dimensiones como son la fotointerpretación, permite establecer un criterio de diseño para la definición de parámetros geotécnicos y a su vez las obras civiles de la geotecnia vial como son la estabilización de taludes.

El presente trabajo se justifica en la construcción de una metodología mediante el uso de interpretación fotográfica para el cálculo del porcentaje bloque matriz en litologías volcánicas y posteriormente analizar la estabilidad de taludes entendiendo el efecto de la variación del porcentaje de bloques dentro de una matriz. Lo anterior es de interés para el Geotecnista, por las siguientes razones:

1. Incidencia de bloques en matriz en litologías volcánicas.

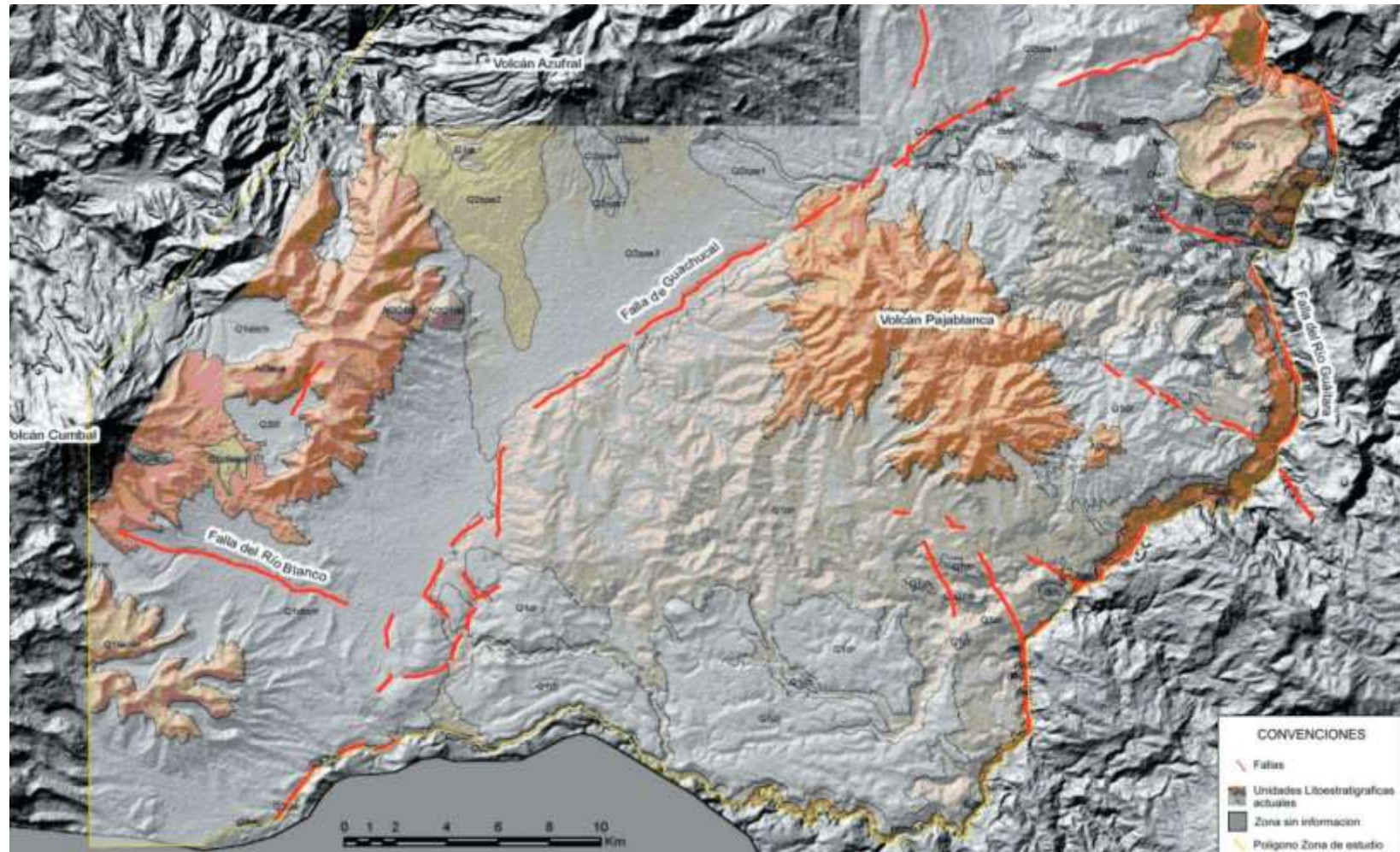
Al generarse diferentes litologías volcánicas, es común encontrar estratos de suelos con composiciones particulares, como lo son: mezclas de clastos y matriz en diferentes tamaños y proporciones que afectan a su vez los parámetros de resistencia ángulo de fricción y cohesión para el análisis de estabilidad del talud.

Con lo anterior se sentará un precedente en la aplicabilidad de métodos para la cuantificación del porcentaje bloques- matriz, que como se mencionó al inicio de la introducción, incide en los parámetros de resistencia y estabilidad que afecten las obras civiles.

2. La invitación de autores a realizar estudios académicos en terrenos volcánicos Como lo indica el libro Hernández-Gutiérrez, L.E., Santamarta, J.C. (eds.) (2015). *“Ingeniería Geológica en Terrenos Volcánicos”*, los estudios de suelos volcánicos coinciden en las anómalas propiedades y comportamiento geotécnico de estos suelos, de acuerdo con los criterios establecidos para los suelos más habituales. A pesar de que los terrenos volcánicos están presentes en amplias aéreas del Pacífico -entre ellos Japón y Nueva Zelanda- América Central y del Sur, México, islas del Caribe, archipiélagos de la Macaronesia, y otras regiones incluyendo las del sur de Italia y del este de África, el diferenciado desarrollo en gran parte de estas regiones con respecto a Europa o Norte América, condicionó la escasez de estudios sobre las propiedades geotécnicas de estos terrenos, situación que aún persiste.

El presente estudio reconoce la geología variable y la común presencia de volcanes en las diferentes regiones del país de Colombia, como lo son el Volcán Galeras, Purace, Nevado del Huila, Nevado de Santa Isabel y el Nevado del Ruiz, para la región de Nariño se encuentran este tipo de materiales, como se observa en la siguiente figura.

Figura 1-2: Distribución actual de las unidades litoestratigráficas y los principales elementos estructurales sobre un mapa de relieve sombreado que da la configuración actual de la topografía y su relación con los elementos geológicos.



Fuente: (PINILLA OCAMPO, y otros, 2008)

1.5 Localización

El material que se está estudiando se encuentra localizado en la región de Colombia, departamento de Nariño, en el municipio de Imués, sector caños del río Guáitara.

Características del talud:

Tabla 1-1: Características estudio talud propuesto

Departamento	Nariño
Municipio	Imués
Coordenada inicio	1°03'19.1"N 77°26'59.8"W 1.055298, -77.449939
Coordenada fin	1°03'23.9"N 77°26'57.7"W 1.056625, -77.449368
Orientación generada de la cara del Talud 1	SE-NW
Orientación generada de la cara del Talud 2	NE-SW

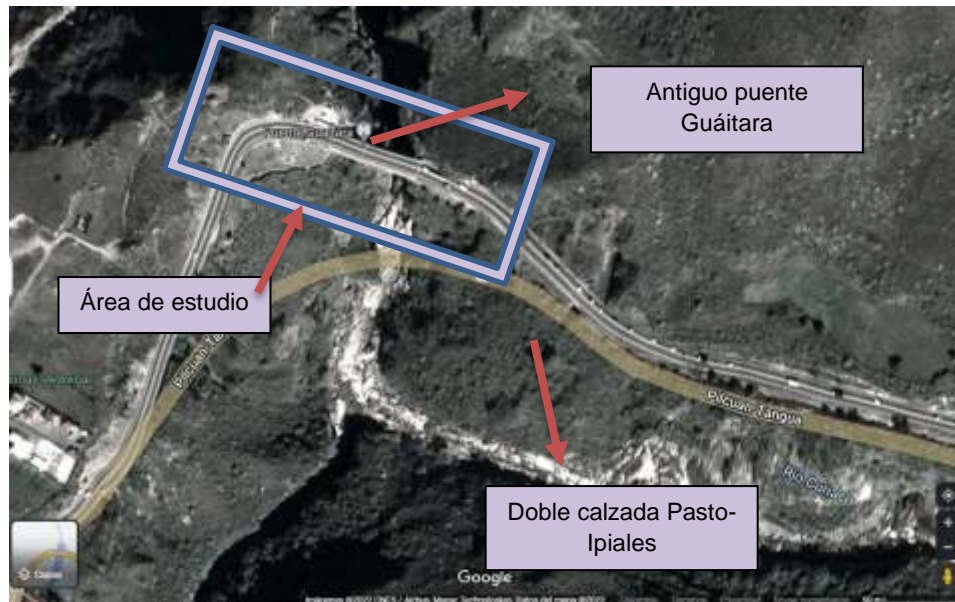
Fuente: La presente investigación.

Figura 1-2: Localización general del talud en el pedregal.



Fuente: Google earth.

Figura 1-3: Vista satelital talud de estudio- Zona lupa No 1.



Fuente: Motor de búsqueda virtual Google earth.

Figura 1-4: Vista KML Polígono de estudio propuesto



Google Earth - Editar Polígono

Nombre:

Descripción	Estilo, color	Ver	Altitud	Medidas
Perímetro:			436	Metros
Área:			2,494	Metros cuadrados

Fuente: Motor de búsqueda virtual Google earth.

1.6 Descripción del sitio de estudio.

A continuación, se describe el sitio de estudio desde las perspectivas geológicas y geotécnicas. Primero, se describen las principales obras y contextualiza con las obras civiles dentro del entorno. Segundo, desde el aspecto geológico se describe la geología regional y geología local apoyados en planos cartográficos, información de la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI, 2019) y suministrada por la Concesionaria Vial (Union Vial del sur, 2023). Tercero, desde el aspecto geotécnico se describirá la información suministrada por la Concesionaria Unión Vial del Sur para los parámetros de resistencia dados para el sector de estudio.

1.6.1 Descripción de las obras existentes en la zona de estudio.

En la zona de estudio se encuentra localizado el puente Guáitara, siendo el puente más largo de la doble calzada entre los municipios de San Juan de Pasto e Ipiales, convirtiéndose en una de las obras de infraestructura más importantes del Departamento de Nariño. A continuación (figura No 5), se observa una vista en planta del sector identificando el Puente Guáitara, el Puente Histórico y los ríos Curiaco y Guáitara, los cuales desembocan uno en el otro y pasan bajo dicho puente, se marca además mediante flechas el sentido vial a los municipios con mayor densidad poblacional en el Departamento de Nariño- San Juan de Pasto e Ipiales.

Tabla 1-2- Resumen características obras civiles en el sitio de interés.

Puente Guáitara	
Característica	Descripción
-	Está conformado por dos puentes paralelos (calzada independiente)
Largo	310 m
Ancho	11.4 m
Elevación	100 m
Número de carriles	4
Sistema constructivo	Voladizos sucesivos, es decir se va fundiendo por secciones conocidas como dovelas, mediante el uso de carros de avance.
Datos de interés	<ul style="list-style-type: none"> • El concreto empleado en su construcción podría llenar alrededor de 4 piscinas olímpicas, o pavimentar 6.5 km de vía con un ancho de 7.30 metros.

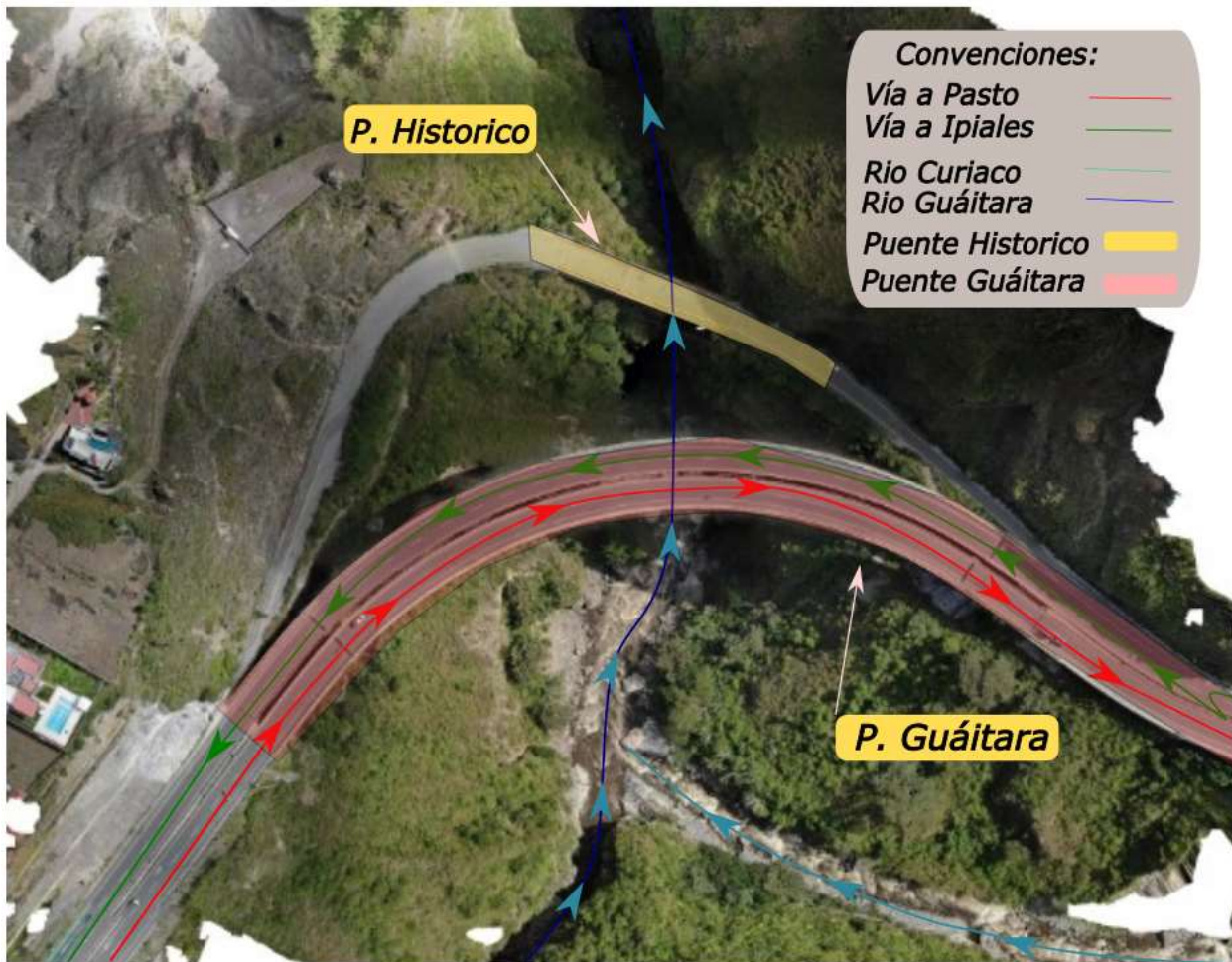
	• Con el acero empleado se podría construir media Torre Eiffel.
Transito estimado de vehículos	11.200 vehículos diarios
Obras de estabilidad costado izquierdo puente Guáitara	Talud estabilizado mediante malla y concreto lanzado. Se observa un terracedo.
Obras de estabilidad costado derecho Guáitara	No se observan obras de estabilización.
Puente histórico	
Característica	Descripción
Número de carriles	2
Talud costado derecho del puente	Se observa un talud con alta meteorización recubierto con capa vegetal.
Talud costado izquierdo del puente	Se observa un talud con alta meteorización, recubierto con capa vegetal, se observa una zona de falla con material expuesto.
Obras de estabilización	No se observan obras de estabilización
Referente a bloques en matriz costado derecho	Se encuentra presencia de bloques en matriz de roca BIM Rocks
Referente a bloques en matriz costado derecho	Se encuentra presencia de bloques en matriz de suelo BIM Soil.

Nota 1: Como referencia para cada costado se toma la figura No 5, indicada a continuación.

Nota 2: En las figuras No 7 y 8 se pueden apreciar los bloques en matriz identificados en la zona de estudio.

Fuente: (ANI, 2019), (Union Vial del sur, 2023)

Figura 1-5: Descripción de la zona de estudio.



Fuente: propia, tomada en marzo de 2023.

En la figura No 6 se aprecia una vista frontal del Puente Guátara y las obras de estabilización del talud realizadas mediante malla cubierta en concreto lanzado, Las características de puente se indican en la tabla 1-2.

Figura 1-6: Vista aérea Puente Guáitara

Fuente: propia, tomada en marzo de 2023.

Se seleccionó un sitio donde se encuentran materiales conformados por diferentes porcentajes de bloques y en distintos estados de consolidación. Para el cañón costado izquierdo se observó una matriz menos consolidada tipo Bim Soil a nivel de la vía figura 1-7, mientras que en el costado derecho del cañón del río Guáitara a bajo el nivel del puente se observa un material soldado tipo Bim Rock figura 1-8.

Figura 1-7: Bloques en matriz de suelo BIM Soil costado izquierdo puente Guáitara

Fuente: propia, tomada en marzo de 2023.

Figura 1-8: Bloques en matriz de roca BIM Rock costado derecho puente Guáitara.



Fuente: propia, tomada en marzo de 2023.

1.7 Geología General

El contexto regional de la geología del área de estudio se enmarca principalmente en el vulcanismo y tectonismo relacionados a la subducción de la Placa Nazca en la Placa Sudamericana desde el Cenozoico hasta nuestros días, como consecuencia de ese evento durante el Pleistoceno se levantó la Cordillera Central y se formó el Nudo de los Pastos debido a la depositación de los productos volcanoclásticos provenientes de volcanes extintos y el Complejo Volcánico Galeras

A continuación, se describen de modo general las principales unidades geológicas relacionadas al sitio de estudio, donde afloran litologías de edad Neógeno-Cuaternario, agrupadas informalmente en lo que se conoce como el Neógeno Volcánico del Altiplano Nariñense.

En el área de estudio se presentan diferentes unidades geológicas conformadas por rocas volcánicas y depósitos del Neógeno – Cuaternario y depósitos recientes del Holoceno.

Se encuentra localizada en una agrupación de unidades, llamadas formalmente: Neógeno volcánico del altiplano nariñense. La edad del depósito no sobrepasa los 5.3 millones de años, es decir, conforma un vulcanismo relativamente joven, vulcanismo de una o varias fuentes ya inactivas y no diferenciadas debido a su edad.

El depósito incluye flujos de lava muy potentes, depósitos de corrientes de densidad piroclásticas de detritos piroclásticos, avalanchas de detritos y caídas de cenizas. A nivel del río Guaitara se observan rocas cristalinas denominadas Lavas de Guaitara. El origen del depósito corresponde a varias fuentes no diferenciadas, en otras palabras, los volcanes originarios de dichos depósitos ya fueron erosionados.

Figura 1-9: Geología general del sector



Fuente: Estudio geológico (ANI, 2019)

Tabla de convenciones	
NgQf	
NgQp	
Qal	
Ksb	
Pgs	
MPqg	

Fuente convenciones: Elaboración propia, a través de información del mapa geológico de la zona, emitido por la ANI.

1.8 Estratigrafía

La sección tipo de la estratigrafía para la el área de estudio se toma de los estudios realizados por la (ANI, 2019) para el corredor vial Pasto – Rumichaca, estudio en el cual las unidades se agrupan según su edad y origen, ver mapa 1.9 para los códigos de las diferentes litologías.

1.6.1 Cuaternario - Depósitos Aluviales (Qal)

Al Cuaternario pertenecen los depósitos aluviales recientes y terrazas aluviales que se encuentran en los cauces de las principales corrientes. Están conformados por bloques y cantos rodados, gravas y arenas en proporciones variables.

1.6.2 Terciario – Cuaternario (NQ) Rocas Piroclásticas y Flujos de Lodo (NgQp)

Están conformados por acumulaciones muy potentes de flujos de lodo, flujos hiperconcentrados, flujos de escombros y flujos piroclásticos y caídas de cenizas; todo el conjunto tiene un color gris dominante y por lo general están poco consolidados. Dan lugar a una morfología plana con taludes verticales en los bordes, son fácilmente erosionables. Se trata de depósitos de origen volcánico y volcanosedimentario, constituidos por fragmentos de una gran variedad de tamaños, subredondeados a angulares, principalmente de origen ígneo, aunque se encuentra también algunos fragmentos metamórficos hasta materiales tamaño lapilli y cenizas finas. Los bloques son matriz soportados, con abundante matriz areno limosa de color gris oscuro.

1.6.3 Terciario – Cuaternario (NQ) Lavas y Piroclasto (NgQf)

Esta unidad agrupa una gran cantidad de depósitos volcánicos y volcanosedimentarios, tanto flujos de lava como lahares y depósitos piroclásticos de flujo y caída. Se dividió en dos conjuntos: uno en el que predominan los emplazamientos de lava y otro en el que predominan los depósitos piroclastos.

Las cenizas son un tamaño de fragmento, las tobas son un tipo de roca volcánica formada por cenizas en la matriz, la acumulación de piroclastos consta de estratos de cenizas y tobas, con abundantes fragmentos de pómez angulares a redondeados, de tamaño variable entre ceniza y bomba, de color gris claro; igualmente, se encuentran líticos oxidados de dacitas porfíricas.

Las lavas son de composición fundamentalmente andesíticas, de color gris con diferentes tonalidades y textura afanítica a porfírica. Los depósitos de lahar son también abundantes y están conformados por bloques y cantos heterométricos clasto y matriz soportados; la matriz de los clastos es variable.

1.9 Geología detallada para la unidad funcional concesionaria vial.

Se presentan a continuación las dos geologías de detalle, en el presente subcapítulo se aborda la geología detallada de la concesionaria vial de acuerdo a la AN (2019)

A continuación, se identifica la unidad funcional y zona homogénea a la cual corresponde dentro de los estudios adelantados por la concesionaria unión vial del sur, así:

1.7.1 Identificación de la unidad funcional.

De acuerdo con las condiciones geológicas el proyecto vial Rumichaca – Pasto en la Unidad funcional No 4 - UF4, se dividió el corredor en cuatro IV Zonas Homogéneas teniendo en cuenta las características texturales, composicionales, estructurales y geomorfológicas del corredor vial, con el objetivo de conocer el comportamiento mecánico de la roca en cada una de ellas, frente a la estabilidad de las excavaciones de corte para la construcción de la doble calzada. Para cada una de las Zonas Homogéneas de la UF4, se presenta un análisis local de los aspectos geológicos y estructurales, fotointerpretación

mediante el Modelo de Elevación Digital DEM, y la verificación de la litología en la campaña de campo realizada en febrero y marzo de 2016, que permitió realizar la delimitación de estas zonas homogéneas.

La zona estudio se la localiza en entre las abscisas No K2+800 a K3+000, correspondiente a la **zona homogénea No 2**. El sector específico se da entre las abscisas K2+550 y K5+930. En esta Zona Homogénea (zona con características similares), afloran tres unidades geológicas de origen volcánico que corresponden a la unidad Sedimentario Volcánica La Magdalena (TQsv), la unidad Lavas (TQvl), los Flujos de Ceniza y Pumita, además de un depósito coluvial (Qc). Las lavas andesíticas presentan 3 sistemas de diaclasas: N14°W/51°NE, N41°W/23°NE y N63°E/62°SE. La morfología predominante es montañosa con pendientes abruptas (16° - 20°), escarpadas (35° - 45°) y muy escarpadas (>45°), siendo la última la que más predomina.

1.7.2 Conjunto Sedimentario Volcánico La Magdalena (TQsv)

Las rocas volcanoclásticas que afloran entre la vía Tangua – Funes fueron reportadas por Royo y Gómez (1942) a las cuales con relación en la litología asoció a la secuencia volcanoclástica del Mioceno tardío de Honda Superior, posteriormente Murcia y Cepeda (1991b) propusieron el nombre de Complejo Sedimentario Volcánico La Magdalena para la secuencia de depósitos volcanosedimentarios que afloran en la vía panamericana cerca a la Quebrada La Magdalena, su nombre se definió por el plegamiento de las secuencias sedimentarias de origen volcánico y lacustres lo cual dificulta estimar su espesor y polaridad estratigráfica, y además son asociados a posibles colapsos caldericos entre el Plioceno y Pleistoceno

Aflora una intercalación de areniscas finas, arcillolitas y diatomitas finamente laminadas de color beige, formadas en un ambiente de lagunas someras (Fotografía 1.10), presentándose parcialmente meteorizada (nivel de meteorización IIB de Deere & Patton, 1971). En general son rocas medianamente duras, excepto las diatomitas que son rocas fácilmente deleznable al tacto y también son porosas como de baja densidad (Union Vial del sur, 2023)

Figura 1-10: Intercalación de arcillolitas, diatomitas y arenas finas de TQsv en K3+300.



Fuente: Geología de detalle concesionaria unión vial del sur.

1.7.3 Lavas (TQvl)

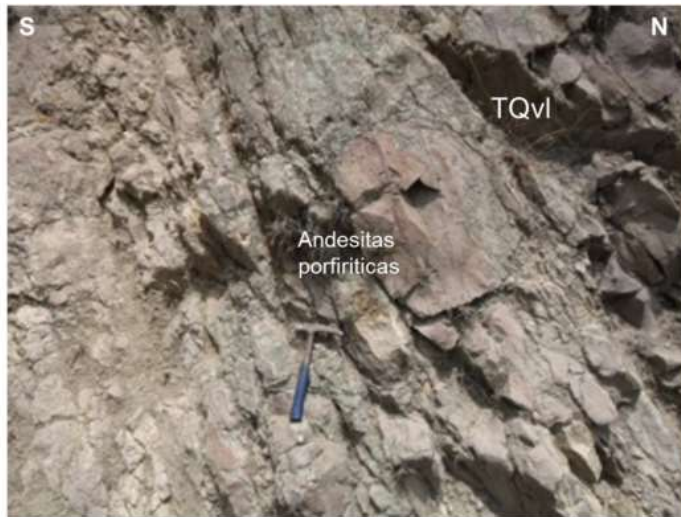
La unidad de Lavas (TQvl) se expone en el corte de talud de la vía actual en tres sectores entre las abscisas K2+550 y K3+057; K3+070 y K3+110 y entre K3+950 y K4+160. La unidad de Lavas (TQvl) se conforma por 3 tipos de litologías: lavas andesíticas, tobas y brechas volcánicas (ANI, 2019)

Las lavas andesitas afloran entre las abscisas K2+550 y K3+057; K3+070 y K3+110 y entre K3+950 y K4+160, son de coloración grisácea (Figura 1-12), se trata de andesita porfírica con fenocristales de plagioclasa de hasta 3 mm, escasas zeolitas y pocos piroxenos, la matriz es microcristalina con algún contenido de vidrio volcánico. En general son rocas muy duras y se encuentran diaclasadas con relleno de con óxidos de hierro.

Entre las abscisas K2+550 y K2+600, K2+750 y K2+765, K2+820 y K2+829 y entre K2+835 y K2+850 afloran tobas; de color beige a amarillo compuestas por fragmentos tamaño lapilli y ceniza, algunos fragmentos angulosos de piroclastos de color amarillento tienen hasta 2mm de diámetro; la matriz es limosa y se encuentran muy meteorizadas con manchas de óxidos (Figura 1-11); las tobas presentan porosidad media, son de densidad media, levemente duras.

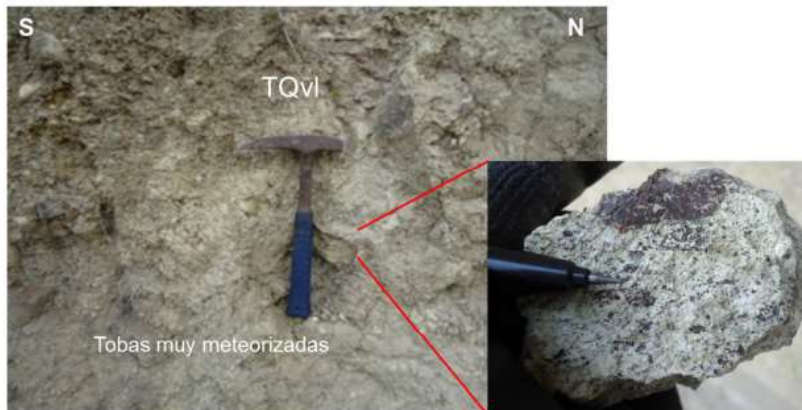
Entre las abscisas K2+850 y K3+057 afloran brechas volcánicas de la unidad Lavas (TQvl) y están compuestas por fragmentos angulosos a subangulosos, en algunos sectores se presentan fragmentos subredondeados a redondeados (márgenes del río Guáitara); la matriz es igualmente de composición volcánicas. Estas rocas son en general rocas duras y se encuentran diaclasadas (Figura 1-13).

Figura 1-11: Lavas andesíticas diaclasadas en dirección NW-SE 45°NE(TQvl) en K2+760



Fuente: Geología de detalle concesionaria unión vial del sur.

Figura 1-12: Tobas líticas meteorizadas (TQvl) en K2+550.



Fuente: Geología de detalle concesionaria unión vial del sur.

Figura 1-13: Brechas volcánicas en K3+000 (TQvI).

Fuente: Geología de detalle concesionaria unión vial del sur.

1.7.4 Flujos de Ceniza y Pumita (TQvf)

Localmente se expone como un depósito caótico heterométrico, sin selección de fragmentos en una fábrica variable de matriz soportada a clasto soportada. Los fragmentos son angulares a subangulares de hasta 1.0 m de diámetro, corresponden a rocas volcánicas extrusivas de composición básica e intermedia. La matriz que varía de limo a arena fina y hasta guijarro, está compuesta por plagioclasas, minerales ferromagnesianos y líticos de rocas volcánicas y presenta cambios de color gris a ocre (Union Vial del sur, 2023)

Figura 1-14: Flujos (TQvf) en abscisa K4+160.

Fuente: Geología de detalle concesionaria unión vial del sur.

1.10 Geología Detallada para la unidad funcional ANI.

1.8.1 Geología Cuaternario

Al Cuaternario pertenecen los depósitos aluviales y terrazas que se encuentran en los lechos de los ríos principales y quebradas que fluyen por la región.

1.8.1.1 Cuaternario Depósitos de Terraza Aluvial (Qtz)

En el K38+800 se presenta un depósito de terraza aluvial conformado por rocas pobremente seleccionados, de esfericidad moderada, sub redondeados a redondeados, niveles con tamaños de rocas de guijos, guijarros y bloques, embebidos en una matriz arenosa de grano fino a medio, de compacidad media acumulados por la dinámica del río Sapuyes.

Figura 1-15: Vista general terrazas aluviales rio Sapuyes



Fuente: Geología de detalle (ANI, 2019)

1.8.2 Geología detallada Terciario – Cuaternario

Las unidades geológicas que se agrupan en este periodo son principalmente rocas piroclásticas, lavas, piroclasto y flujos de lodos. A continuación, se describen cada una de estas formaciones y los sectores en donde se encuentran principalmente. Para las unidades geológicas encontradas a lo largo del corredor Pasto-Ipiales se adoptaron las siguientes nomenclaturas por parte de la ANI en estudio geológico del sector.

1.8.2.1 Depósitos Piroclásticos (NgQp)

Esta unidad incluye potentes depósitos de cenizas, tobas que en ocasiones se encuentran estratificadas, aglomerados volcánicos consolidados y semi consolidados e incluyen antiguos flujos de lodos volcánicos.

1.8.2.2 Depósitos de Cenizas Volcánicas (NgQp-Cv y NgQp-Cv(Mo))

Extensos depósitos arenosos, limos arenosos con intercalaciones de pumitas de caída que pueden alcanzar un espesor de 200 m en la depresión formada por el río Guáitara al sur de Ipiales, en esta ubicación muestran los mejores afloramientos entre esta población y la localidad fronteriza de Pedregal, tal como se muestra en la Figura 1-16. La unidad se caracteriza por suavizar la topografía y se compone de capas de caída de cenizas y pómez de espesor variable entre unos pocos centímetros y más de dos metros que se intercalan con capas de decímetros formadas por arenas finas y limos, producto del transporte eólico de cenizas volcánicas. Además, algunas intercalaciones subordinadas de depósitos aluvio coluviales que revelan condiciones climáticas secas durante la deposición de todo el conjunto. Depósitos importantes de estos depósitos piroclásticos conformados por lapilli y limos arcilloso bandeados con algunos paleosuelos que indican diferentes eventos volcánicos principalmente del volcán Galeras, tal como se muestra en la Figura 1-16.

Figura 1-16: Talud en donde se explotan arenas de depósitos de cenizas en el sector de Pasto



Fuente: Geología de detalle (ANI, 2019)

1.8.2.3 Depósitos de Tobas y Aglomerados (NgQp-Tb)

Las cenizas consolidadas son de grano medio a grueso, moderadamente consolidadas, de color beige con variaciones a café por meteorización. En ocasiones presentan una estratificación paralela incipiente en la ceniza y un fuerte fracturamiento, tal como se muestra en la Figura 1-17. Los aglomerados volcánicos están conformados por bloques de rocas angulares a subangulares, con variedad en tamaños y formas, embebidos en una matriz volcánica, de dureza media a alta, tal como se muestra en la siguiente figura.

Figura 1-17: Afloramiento de tobas de cenizas volcánicas cubierta por flujo de lodos



Fuente: Geología de detalle (ANI, 2019)

Figura 1-18: Afloramiento de tobas de aglomerados volcánicas en el Río Guáitara



Fuente: Geología de detalle (ANI, 2019)

1.8.2.4 Depósitos de Flujos Fluvio Volcánicos y de Lodos

Son depósitos con espesores muy potentes conformados por flujos de lodos, flujos de escombros, flujos piroclásticos y caída de cenizas en donde se encuentran fragmentos subredondeados y angulares embebidos en matriz arenolimososa. Este conjunto se caracteriza por tener un color gris dominante y se encuentra en gran extensión el área del proyecto principalmente entre los sectores de Ipiales y Cebadal. En la Figura 1-19 a Figura 1-20 se muestran algunos de estos depósitos.

Figura 1-19: Depósitos de flujo en la margen Río Guáitara



Fuente: Geología de detalle (ANI, 2019)

Figura 1-20: Detalle de los materiales que conforman los flujos fluvio-volcánicos



Fuente: Geología de detalle (ANI, 2019)

1.8.2.5 Depósitos Piroclásticos de Bloques y Cenizas

Corresponden a depósitos no consolidados de material piroclástico, conformados por rocas de tamaño que varían desde bombas a bloques embebidos en una matriz de composición arenosa de grano fino a medio, de color beige, pobremente seleccionados, subredondeados a angulares, tal como se muestra en la siguiente figura.

Figura 1-21: Detalle de los materiales de depósitos piroclásticos de bloques.



Fuente: Geología de detalle (ANI, 2019)

1.8.2.6 Rocas Volcánicas Consolidadas (NgQf)

En el área del proyecto estas rocas se encuentran cubiertas parcialmente por depósitos piroclásticos y flujos. En algunos afloramientos se pueden apreciar principalmente lavas de composición andesítica, con presencia de plagioclasas y otros minerales oscuros en una matriz afanítica, muy dura, fracturada, tal como se muestra en las siguientes figuras. Estas diaclasas probablemente sean de origen térmico, en cuyo caso se llaman lavas con disyunción columnar.

Figura 1-22: Afloramientos de lavas andesíticas



Fuente: Geología de detalle (ANI, 2019)

Figura 1-23: Afloramientos de lavas volcánicas



Fuente: Geología de detalle (ANI, 2019)

A continuación, se presenta la columna estratigráfica elaborada para los Planos Geológicos presentados por parte de la ANI

Tabla 1-3: Columna estratigráfica según edad, unidad y nombre.

EDAD	UNIDAD	NOMBRE
<i>Cuaternario</i>	<i>Qal</i>	Depósito aluvial
<i>Terciario - Cuaternario</i>	NgQp-Cv	Depósitos piroclásticos de ceniza volcánica
	NgQp-Cv (Mo)	Depósitos piroclásticos de ceniza volcánica y limos orgánicos
	NgQp-Tb	Tobas
	NgQp-FI	Flujos Fluvio volcánicos y de lodos
	NgQp	Depósitos piroclásticos de bloques y cenizas volcánicas.
	NgQf	Lavas con intercalaciones ocasionales de piroclastitas

Fuente: Geología de detalle (ANI, 2019)

1.11 Geología del sitio de estudio.

Corresponde a un escarpe ocasionado por el desarrollo vial en un sitio con elevación de 1750 msnm, se encuentra a nivel del río Guáitara, se conforma por un material de depósito de depósito de densidad piroclástica (DDP) con comportamiento de flujos de bloques y ceniza tipo Block and ash Flow (BAF). Los depósitos tipo BAF se producen por lava muy viscosa que forma un domo cuyo material fundido es presionado por el gas, causando que, eventualmente explote generando una corriente de clastos muy densos y angulosos. En otra ocasión los BAF se forman cuando un domo inestable se derrumba.

Los bloques están conformados de manera constante por Andesitas y Dacitas, aunque en muchas ocasiones los materiales vitreos en el depósito caliente son deformados para producir estructuras elongadas y orientadas llamadas "fiamme". Estos bloques corresponden a una masa vitrea volcánica, que por la presión litostática del depósito se reconforman con textura tipo Piame (forma de llama). Los bloques del depósito se sueldan a la matriz adquiriendo una resistencia uniforme.

Adicionalmente cabe notar que el ambiente sulfurado de origen con desarrollo de alteraciones hidrotermales conforma colores y texturas variadas.

Figura 1-24: Fotografías general del talud de interés en taludes localizados de la doble calzada pasto-Ipiales.



Fuente: La presente investigación.

Figura 1-25: Fotografía específica talud propuesto para estudio.



Fuente: La presente investigación.

1.11.3 Columna detallada para la unidad funcional donde se ubica el área de estudio.

Se resumen como litologías en sector de estudio las presentadas a continuación, aclarando que el área de estudio se localiza en la litología IVB.

Tabla 1-4 Litologías geológicas Área de influencia geológica-

TRAMO PEDREGAL-PASTO		
UNIDAD	LITOLOGIA	PENDIENTE TERRENO
IA	Depósitos piroclásticos no consolidados, conformados por cenizas volcánicas, limo, arcillas y lapilli. En sectores se encuentra cubierta por limos orgánicos negros con espesores promedio de 1,5m.	Morfología de pendientes muy bajas (0-5%) a bajas (15-30%) formando áreas planas a ligeramente onduladas.
IB		Morfología de pendientes medias (30-50%) a altas (50-100%). Se presentan lomas con crestas redondeadas a planas.
IIA	Se presentan flujos Fluvio volcánicas y de lodos, de color predominantemente gris, con matriz limo arenosa, de consistencia media a alta.	Morfología de pendientes muy bajas (0-5%) a bajas (15-30%) formando áreas planas a ligeramente Inclinaadas.
IIB		Morfología de pendientes mayores 100%, correspondientes a cortes en la vía y márgenes de los ríos.
IIIA	Conformada por rocas volcánicas tobaceas de grano fino a medio, de coloración beige, con presencia de algunos guijarros y bloques. La roca se presenta meteorizada, de dureza media. Se encuentran aglomerados volcánicos con fragmentos angulares de rocas en matriz fina, de dureza media, muy fracturada.	Morfología de pendientes muy bajas (30-50%) a bajas (15-30%) formando áreas planas a ligeramente onduladas.
IIIB		Morfología de pendientes medias (30-50%) a altas (50-100%). Taludes con pendientes cercanas a la vertical. Origina cañones angostos y muy profundos en ríos principales.
IVA	Se presentan rocas de flujos volcánicos o lavas duras y compactas, se encuentran fracturas.	Morfología de pendientes muy bajas (0-5%) a bajas (15-30%) correspondientes a los cortes de la vía para conformar la banca.
IVB		Morfología de pendientes muy altas generando una topografía escarpada.

Fuente: Geología de detalle (ANI, 2019)

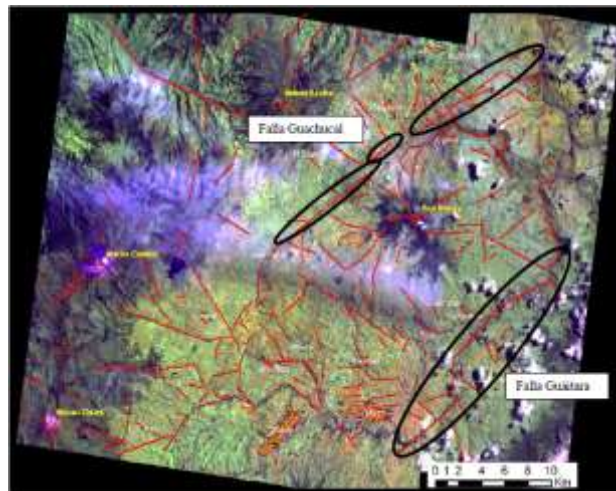
1.12 Geología estructural

La geología estructural proporciona información clave para comprender la tectónica de placas y la evolución geológica de la Tierra. Ayuda a reconstruir la historia de las deformaciones, la formación de montañas, la apertura de cuencas y la migración de placas tectónicas a lo largo del tiempo geológico. En la Ingeniería geotécnica, es esencial en la planificación y el diseño de proyectos de ingeniería civil y construcción. Dado que, aportan elementos para evaluar la estabilidad de las estructuras, como presas, túneles, puentes y edificios, al comprender la respuesta de las rocas y las estructuras subyacentes a las fuerzas tectónicas y las cargas aplicadas.

1.9.1 Falla del Guáitara

Es considerada en el estudio de INGEOMINAS, (2006) como una falla satélite de la falla Romeral de carácter regional, caracterizada por ser sinuosa de comportamiento de rumbo, tendencia N-E con desarrollo de planos verticales. Se considera con actividad reciente debido a la gran cantidad de movimientos de masa desarrollados sobre la vía panamericana, y grado de fracturamiento; sobre el lecho del río Guáitara en la localidad de las lajas se presentan estrías de falla y sobre el municipio de Pilcuan existen el desarrollo de evidencias fotogeológicas como facetas triangulares, escarpes de falla y drenajes en forma de copa de vino (Ver figura 1-26)

Figura 1-26 Imagen Landsat TM.



Fuente: foto interpretada por INGEOMINAS, 2006

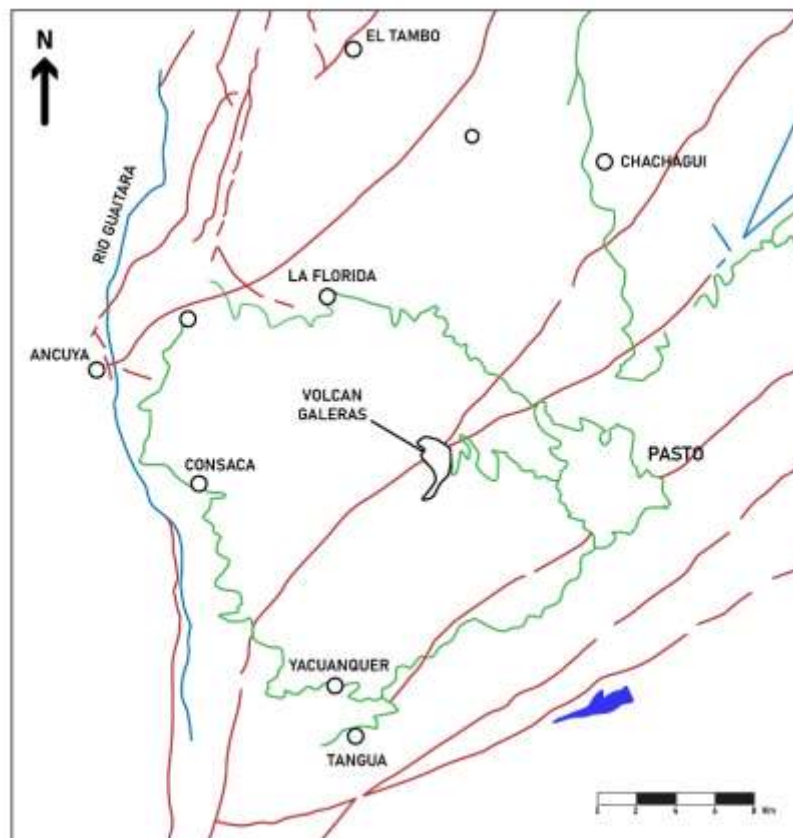
1.9.3 Otras Fallas

En el sector de la población de Pasto, se tiene una serie de fallas de dirección preferencial NE, entre las cuales se encuentra la falla de Pasto cuyo trazo es semiparalelo al corredor vial en el tramo comprendido entre Tangua y Pasto.

Cerca de la zona de estudio se encuentran los siguientes sistemas de fallas: Sistema Falla Frontal de La Cordillera Oriental, Sistema de Fallas de Romeral: entre las que se encuentran la falla de Buesaco, Falla de Pasto, Falla de Tescual y la Falla de San Ignacio.

La Falla de Buesaco se localiza en la parte Noroeste del Municipio de Buesaco, cubriendo regiones de Alto San Miguel, Alto Monserrate, Tasajera, Granadillo de Chávez y Alta Clara; Sistema de fallas del Río Magdalena y el Sistema de Fallas del Río Suaza.

Figura 1-27: Sistemas de fallas sector pasto



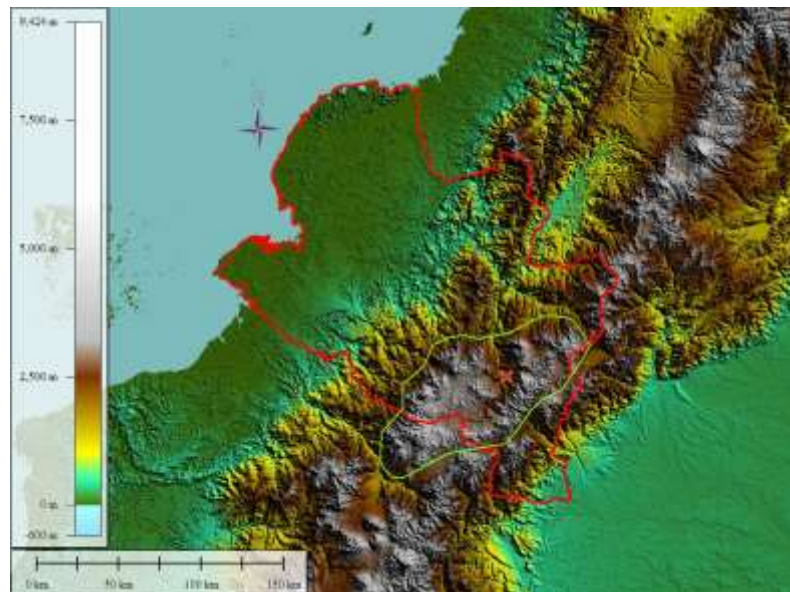
Fuente: Geología de detalle (ANI, 2019). (Kalender, Sonmez, Medley, Tunusluoglu, & Kasapoglu, 2014)

1.13 Geomorfología

Con respecto a la geomorfología, esta ayuda a comprender cómo se han formado y evolucionado las diferentes características del paisaje, como montañas, valles, colinas, cuevas, deltas, entre otros. Además de tener una visión más completa de la historia geológica de una región y cómo los procesos geológicos han dado forma a la superficie terrestre a lo largo del tiempo.

La zona de estudio se encuentra ubicada dentro del Nudo de los Pastos o Macizo de Huaca el cual corresponde a la altiplanicie de depósitos volcánico-clásticos que cubre el graben interandino entre la Cordillera Central y Occidental al suroccidente Colombiano y al Norte Ecuatoriano (Acosta, 1986) ver Figura No 28, siendo específicamente en el relieve generado por el vulcanismo del Complejo Volcánico Galeras, en general los procesos que predominan en esta área se restringen a los fluviales relacionados con la Cuenca del río Guáitara, Volcánicos producto del vulcanismo Andino y Denudacionales.

Figura 1-28: Ubicación del área de estudio (equis roja) en la geomorfología regional. La línea roja corresponde al Departamento de Nariño y la verde al Nudo de los Pastos



Fuente: Elaboración propia.

Para el área de estudio específica se distinguen dos zonas geomorfológicas:

- i) Relieve de montaña
- ii) Planicie aluvial.

1.10.1 Relieve de Montaña

En el corredor de la Zona Homogénea dos II, se distingue por presentar pendientes escarpadas (40°) a muy escarpadas ($>45^\circ$), ver figura 1-29 con laderas largas irregulares y valles profundos en “V”, producto de la fuerte incisión que han ejercido los ríos Guátara y Bobo en la zona del proyecto.

Figura 1-29: Morfología escarpada en TQvl. Foto tomada desde K2+990.



Fuente: Geología de detalle (Union Vial del sur, 2023)

1.10.2 Planicie aluvial del río Guátara y del río Bobo

El río Guátara se presenta disectando rocas volcánicas muy duras de la unidad Lavas (TQvl) permitiendo la formación de un valle estrecho profundo en “V”, sin la posibilidad de formación de planicie aluvial.

El río Bobo disecta de este a oeste las rocas más antiguas que afloran en el sector pertenecientes a la unidad Sedimentario Volcánica La Magdalena (TQsv), el cual forma un valle profundo y estrecho en “V”, hasta su desembocadura en el río Guátara, donde se forma una planicie aluvial restringida por las laderas casi verticales del valle (Figura 1-30); sin embargo, forma unas planicies aluviales más amplias en la desembocadura de la quebrada La Magdalena con el río Bobo.

Figura 1-30: Valle estrecho y profundo en “V” del río Bobo. Foto tomada desde K2+820.



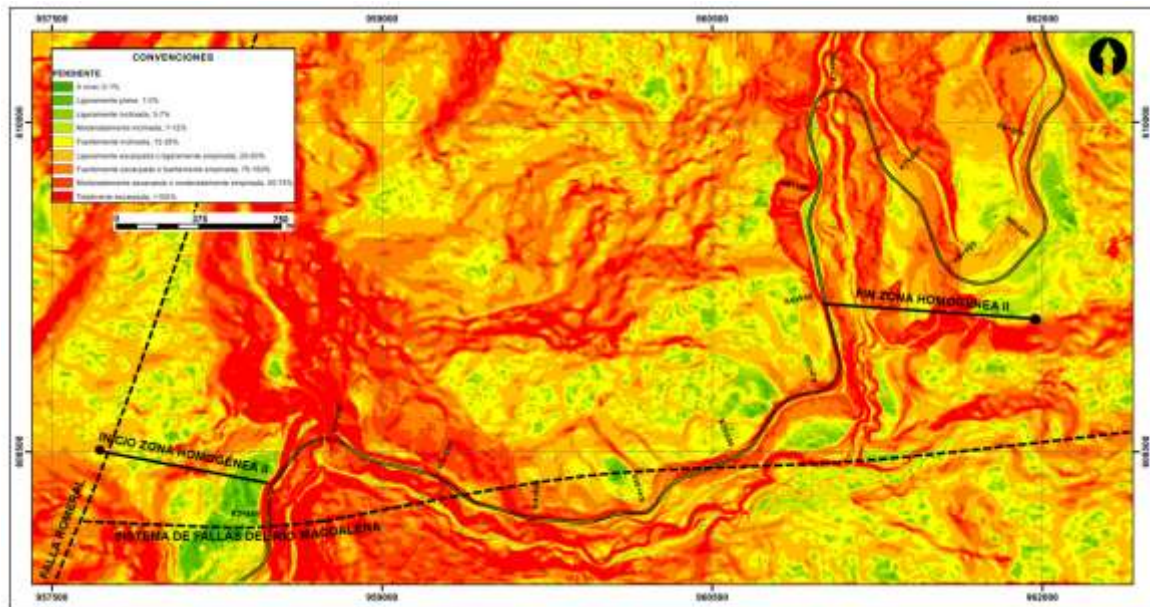
Fuente: Geología de detalle (Union Vial del sur, 2023)

Figura 1-31: Planicie aluvial del río Bobo en la desembocadura de la Quebrada La Magdalena



Fuente: Geología de detalle (Union Vial del sur, 2023)

Figura 1-32: Mapa de pendientes Zona Homogénea II.



Fuente: Geología de detalle (Union Vial del sur, 2023)

1.13.1 Procesos denudativos

En la Zona Homogénea II afloran 3 unidades geológicas: la unidad Sedimentario Volcánica La Magdalena (TQsv), la unidad Lavas (TQvl) y la unidad de Flujos de Cenizas y Pumita (TQvf) donde se presentan 20 sectores con procesos de remoción en masa. El relieve predominante es el montañoso con pendientes escarpadas ($35^\circ - 45^\circ$) a muy escarpadas ($>45^\circ$).

Los materiales susceptibles a procesos denudativos hacen referencia a la Formación de Flujos de Cenizas y Pumitas (TQvf), por su composición variada donde se tienen fragmentos de diferentes tamaños embebidos en matriz arcillo arenosa de composición volcánica. Los materiales de la Formación Sedimentario Volcánica La Magdalena (TQsv), son susceptibles a erosión superficial.

Talud No 1- PD4-09

Se ubica en las coordenadas E958618; N608566; 1746msnm, abscisa K2+800 en el talud de la vía actual. El proceso se genera por desprendimiento de detritos, en tobas de la unidad de Lavas (TQvl) (ver Figura 1-33). El talud presenta pendiente aproximada de 80°. Este proceso se identificó sobre el talud de la vía actual en el costado izquierdo. Se debe tener en cuenta que el trazado vial proyectado para la ampliación no interviene este talud.

Figura 1-33: Desprendimiento de detritos en TQvl a la altura del K2+800.



Fuente: Geología de detalle (Union Vial del sur, 2023)

Talud No 2-PD4-10

Se localiza en las coordenadas E958847; N608533; 1747msnm, abscisa K2+960 en el talud de la vía actual, que presenta erosión superficial en la unidad de Lavas (TQvl).

Figura 1-34: Erosión superficial en rocas de la unida TQVI en K2+960.



Fuente: Geología de detalle (Union Vial del sur, 2023)

1.14 Petrografía

La concesionaria vial de la doble calzada Pasto-Ipiales, realizaron ensayos de petrografía, con las siguientes conclusiones:

Metodología: Se seleccionaron 380 gr de fragmentos de roca que representan el material estéril. Teniendo como base la composición y textura de los fragmentos de roca que componen el agregado, se seleccionaron dos fragmentos representativos para la elaboración de sección delgada y análisis petrográfico, el primero de textura porfiritica de matriz cristalina (Andesita) y el segundo de textura porfiritica con matriz vítrea (Basalto).

Descripción macroscópica de fragmentos de roca

Los fragmentos de roca que representan la muestra son de composición básica, donde se reconozcan especialmente andesitas y basaltos porfiriticos que varían en el grado de cristalización de la matriz (lamina delgada M1 y M2). Los fragmentos subangulares y sub longados que componen el agregado no superan los 7 centímetros de longitud en su eje más largo.

Tabla 1-5: Descripción microscopia.

Matriz 1 (Matriz cristalina)		Matriz 2 (Matriz vítrea)	
Textura:	Porfirica- Cristalina	Textura:	Porfirica-vítrea
Porosidad:	Menor al 2%	Porosidad:	Menor al 5%
Estructura:	Esquelada	Estructura:	Esquelada
Composición Mineralógica		Composición Mineralógica	
Plagioclasa (Albita-andesita)	60%	Piroxenos (Augita)	17%
Hornblenda	14%	Plagioclasa (labradorita-Bitownita)	25%
Piroxenos	10%	Hornblenda	11%
Opacos	7%	Vidrio	22%
Sericita-saussurita	9%	Opacos	12%
Circón	Tr	Sericita-saussurita	8%
		Olivino	5%
		Circón	Tr
Total			

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura. (ANI, 2019)

Descripción general

Muestra 1 (Andesita) Origen de la roca ígnea hipoabisal

Roca ígnea hipo abisal, holocristalino, leucocrática, inequigranular, básica, minerales subhedrales, de grano fino y muy fino. Se reconocen plagioclasa, hornblenda, piroxenos y opacos.

Los opacos que se observan son de tamaño de grano fino, anhedrales. El nivel de alteración de la roca es bajo, donde los cristales de plagioclasa presentan sericita y saussurita. Se observan algunos cristales de plagioclasa zonados, debido a concentraciones mayores o menores de la relación Ca/Na en cada banda. Coronas de reacción en piroxenos. Se reconoce dirección de flujo ígneo (minerales orientados o también llamado estructura traquitica).

Teniendo en cuenta los aspectos composicionales de la roca, se clasifica como una andesita (Streckeisen 1979) y respecto a las propiedades texturales, como una andesita porfiritica.

Las propiedades mecánicas de la roca son condicionadas a zonas donde se presente mayor alteración. La estructura esquelética la hace resistente debido al ajuste fenocristales con la matriz microcristalina pero las zonas de alteración pueden generar debilidad.

Muestra 2 (Basalto) Origen de la roca ígnea volcánica.

Roca ígnea volcánica, hipocristalina, mesocrática, inequigranular, composición básica, minerales subhedrales a euhedrales, grano muy fino a medio. Se reconoce plagioclasa, hornblenda, piroxenos, olivino, vidrio y opacos.

El nivel de alteración de la roca es medio, donde los cristales de plagioclasa presentan alteración a sericita. Los minerales máficos como hornblenda y piroxeno están fuertemente fracturados. La roca presenta aproximadamente un 20% de vidrio en matriz. Se observan algunos cristales de plagioclasa zonados.

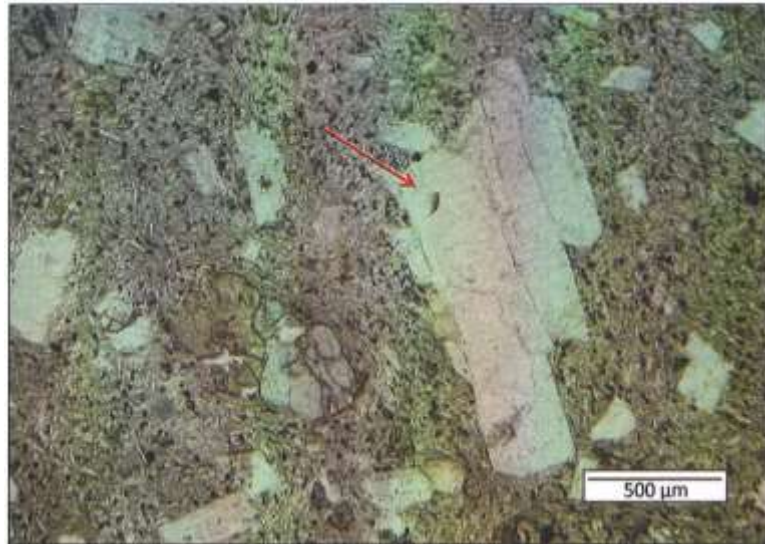
Teniendo en cuenta los aspectos composicionales la roca, se clasifica como un basalto (Streckeisen 1979). Las propiedades mecánicas de la roca son condicionadas a zonas donde se presente mayor alteración de sus minerales. La estructura masiva la hace resistente, pero las zonas de alteración pueden generar debilidad. El alto contenido de vidrio volcánico en la matriz puede tener efectos de reacción álcali-sílice (entre el cemento y el vidrio) al usarse como agregado pétreo en concretos.

Figura 1-35: Muestra de 380 gr de fragmentos de roca que representan el material estéril. Fragmentos de roca subangulares, subelongados.



Fuente: Geología de detalle (Union Vial del sur, 2023)

Figura 1-36 Ampliación a 3.5X en nicols paralelos. M1 Andesita.



Nota: en flecha roja se observa fenocristal de plagioclasa en matriz microcristalina de plagioclasa. Se destaca la estructura esqueletal formado por fenocristales de Plagioclasa sódica.

Fuente: Geología de detalle (Union Vial del sur, 2023)

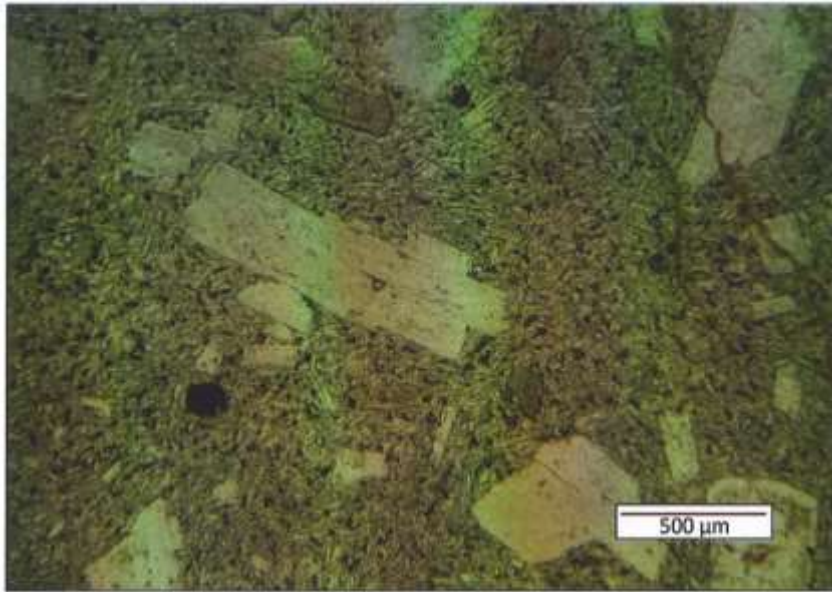
Figura 1-37: Ampliación a 3.5X en nicols cruzados.



Nota: M1 Andesita, textura de flujo ígneo en matriz. En flecha roja anfíbol.

Fuente: Geología de detalle (Union Vial del sur, 2023)

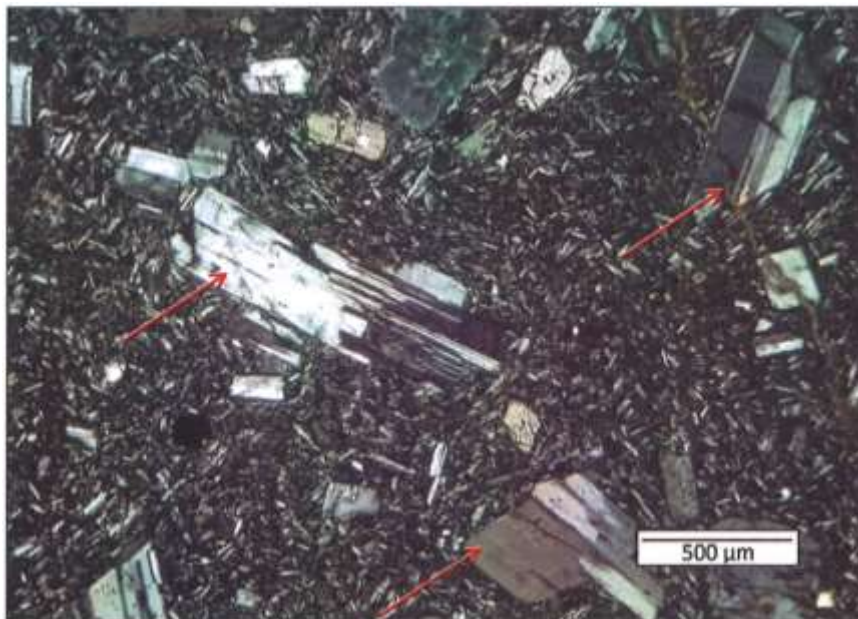
Figura 1-38: Ampliación a 3.5X en nicoles paralelos M1 Andesita



Nota: opacos en tamaños muy fino a fino.

Fuente: Geología de detalle (Union Vial del sur, 2023)

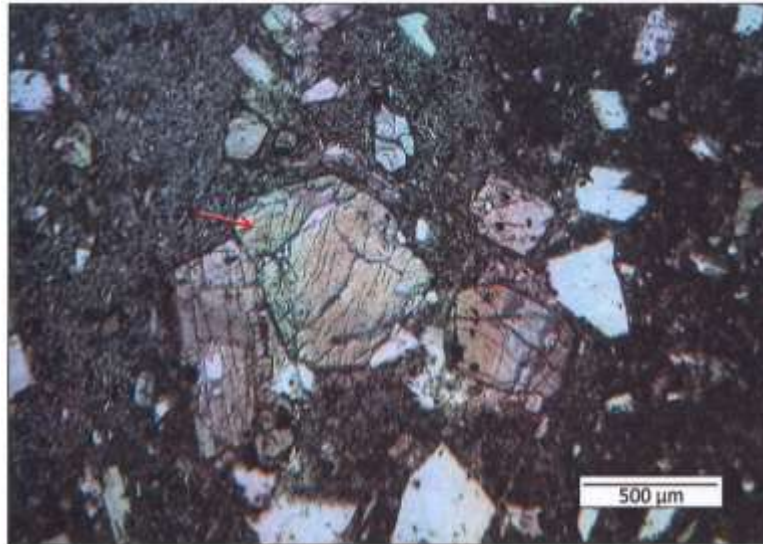
Figura 1-39: Nicoles cruzados a 3.5X. M1: Andesita.



Nota: minerales de plagioclasa fuertemente conservan su forma tabular en flecha roja.

Fuente: Geología de detalle (Union Vial del sur, 2023)

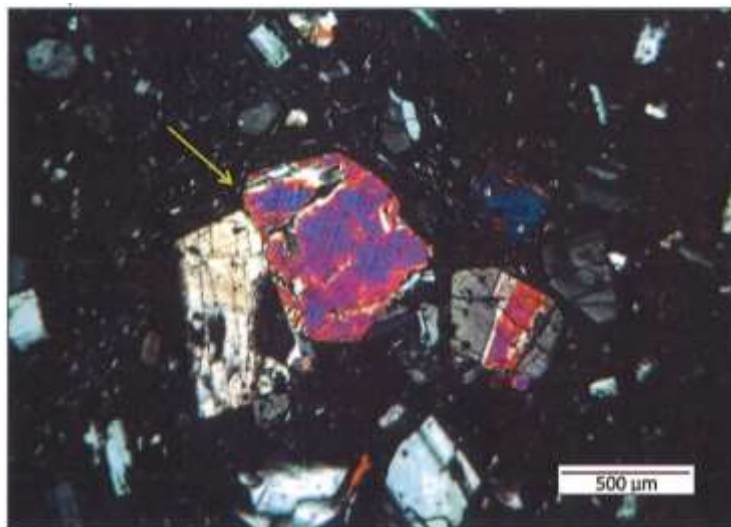
Figura 1-40: Nicoles paralelos a 3.5X. M2 Basalto.



Nota: la presencia de olivino señalado en la flecha roja es indicador de la composición básica de la roca.

Fuente: Geología de detalle (Union Vial del sur, 2023)

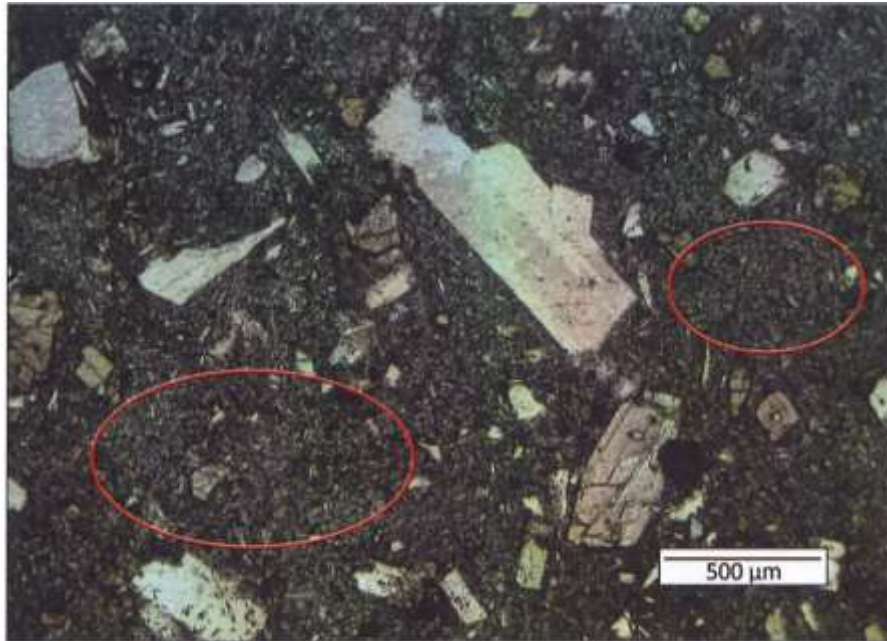
Figura 1-41: Nicoles cruzados a 3.5X. M2 Basalto.



Nota: se observa olivinos en tonos de birrefringencia del 2do orden en flecha amarilla. en la matriz se reconoce un 20% de vidrio volcánico.

Fuente: Geología de detalle (Union Vial del sur, 2023)

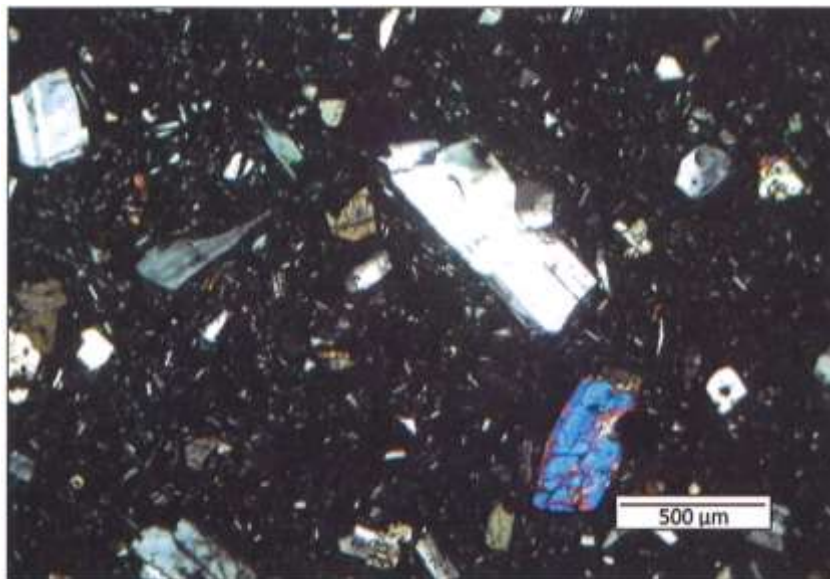
Figura 1-42: Nicoles paralelos a 3.5X. M2 Basalto.



Nota: matriz con alto contenido de vidrio además de plagioclasa microcristalina.

Fuente: Geología de detalle (Union Vial del sur, 2023)

Figura 1-43 Nicoles cruzados a 3.5X M2 Basalto.



Nota: textura porfirica. Cristales de olivino fracturados. Estructura esquelética con matriz vítrea microcristalina.

Fuente: Geología de detalle (Union Vial del sur, 2023)

1.14.1 Incidencia de la petrografía en la estabilidad de taludes

Para el caso de los taludes de estudio la incidencia del tipo de bloques de roca, afecta directamente el peso unitario, a mayor peso unitario generará un mayor peso de acuerdo al tipo de roca o viceversa, por ello el análisis de estabilidad se ve influenciado afectando las ecuaciones de la mecánica clásica como son Fellenius o Bishop simplificado.

Ecuación 1 (Fellenius)

$$FS = \frac{\Sigma [C' \cdot \Delta l + (W \cos \alpha - u \cdot \Delta l \cdot \cos^2 \alpha) \tan \phi']}{\Sigma W \sin \alpha}$$

Ecuación 2 (Bishop simplificado)

$$FS = \frac{\Sigma \left[\frac{C' \Delta l \cos \alpha + (W - u \Delta l \cos \alpha) \tan \phi'}{m \alpha} \right]}{\Sigma W \sin \alpha}; m \alpha = \cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi'}{FS}$$

C' = cohesión efectiva

Δl = delta longitud dovela

W = Peso

u = presión de poros

α = ángulo con superficie de falla

FS = Factor de seguridad

ϕ' = ángulo de fricción efectivo

Por otro lado, para el caso de Colombia la existencia de suelos tropicales implica un efecto de meteorización, el cual podrá incidir en un mayor o menor tiempo en la integridad de la roca ya sea por efectos del agua, clima u otros factores climáticos como lluvias, intercalaciones sol y lluvia, dependiendo de la petrografía de la roca se podrá evaluar la misma y a su vez conocer parámetros típicos de su resistencia como es la dureza su meteorización será más lenta que una roca con menor dureza como piedras pómez o tobas típica de un ambiente volcánico, en conclusión el material meteorizado será más frágil porque son más susceptibles a ser desintegrados químicamente.

con respecto a la petrografía de la muestra 1 (M1), clasificada como Andesita, utilizando el diagrama de Streckeisen en donde se evaluaron los aspectos composicionales, para clasificarla como andesita porfídica. Para la muestra 2 (M2), se utilizó el mismo diagrama y se clasificó como un Basalto. Esto hace un énfasis con respecto a la importancia de la petrografía, ya que la misma permite identificar y clasificar diferentes tipos de rocas en función de su composición mineral, textura y estructura. Esto es fundamental para comprender la historia geológica de una región y para realizar interpretaciones geológicas precisas. Para la muestra 2 (M2), se utilizó el mismo diagrama y se clasificó como un Basalto.

2. BIM Soil, BIM Rocks (Blocks In Matrix)

2.1 Estudios antecedentes de bloques en matriz

El termino BIMrocks acuñado originalmente del inglés “Blocks In Matrix” y traducido al español como bloques en matriz, representa el conjunto de varios bloques de roca dentro de una matriz de suelo.

La matriz a su vez puede estar suelta o endurecida (litificada), dando el nombre de BIM'Soil o BIM Rocks, si la matriz esta suelta se denomina BIM Soil, en cambio si la matriz esta endurecida o litificada se conoce como BIM rocks.

Para los estudios de la mecánica de roca como su resistencia al corte (Barton & Choubey, 1997), uno de los principales interrogantes se ha centrado en la determinación de parámetros para la roca en ciertas condiciones (masiva, con discontinuidades, meteorizada ,etc.), por ello, en los últimos 45 años ((Vardar,1977; Hoek and Brown, 1980; Bieniawski, 1989; Sonmez and Ulusay;, 1999; Hoek et al., 2002; Sonmez and Ulusay, 2002; Dinç et al., 2010; Barton, 2013 etc.), han presentado estudios, teorías y ecuaciones que al día de hoy se siguen usando. Por ejemplo, la determinada por Hoek y Brown.

Ecuación 3

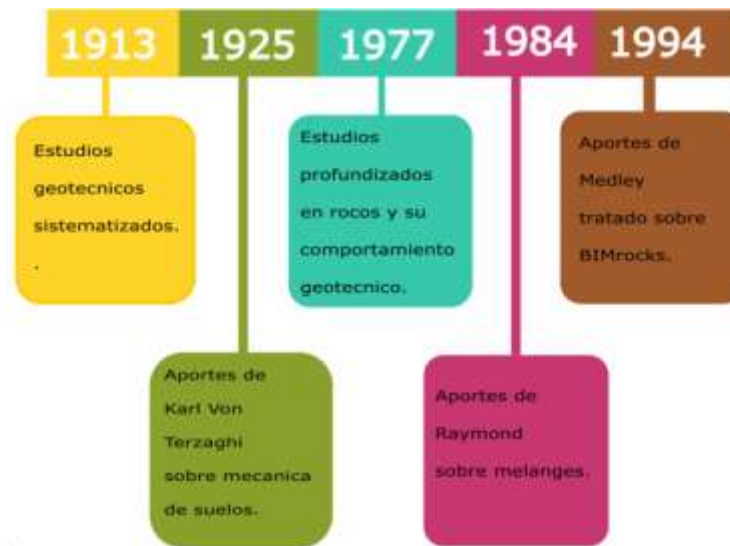
$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + S \right)^a$$

Raymond (1984), en su artículo: “Classification of melanges”, presenta un enfoque para combinaciones de materiales definiendo las mezclas de agregados o mélanges, como "bloques de roca en matriz", centrando la atención en las propiedades de mezclas geológicas complejas con el propósito de diseño y construcción.

Medley (1994) sugirió el término no geológico de "BIM rock", acuñado al comprimir el término " bloques de roca en matriz " definiéndolo como “Una mezcla de rocas, compuesta de bloques geotécnicamente significativos dentro de una matriz de gradación más fina.”

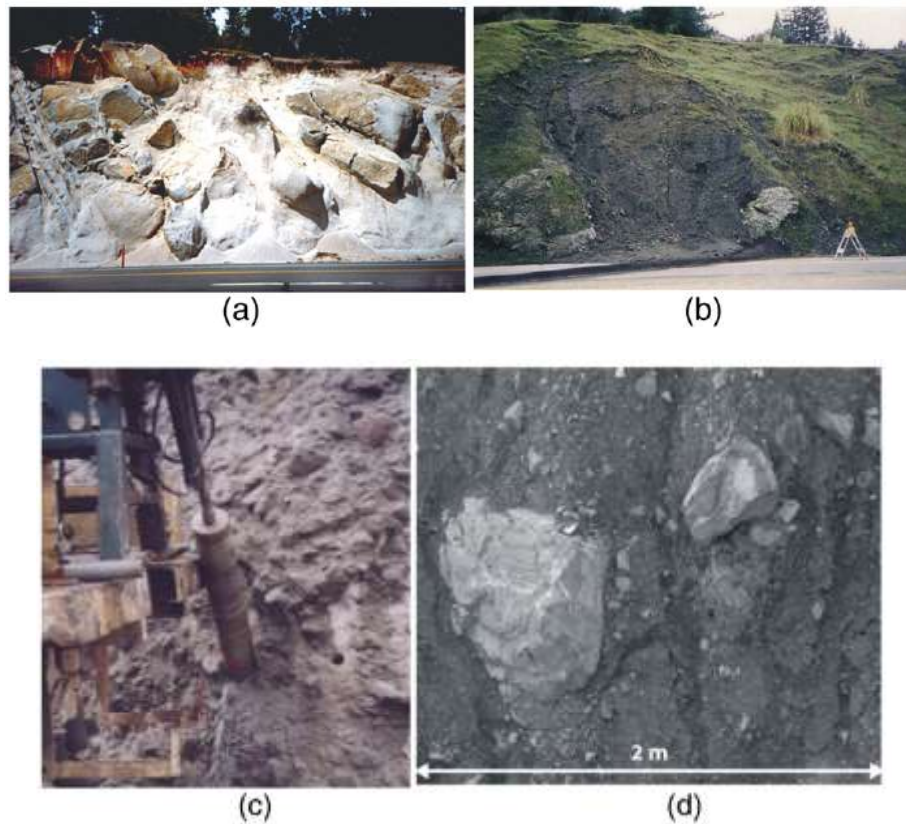
Lo anterior ha permitido, en los últimos 30 años, profundizar estudios en el comportamiento de materiales mixtos, presentes en la geología regional.

Figura 2-44: Línea temporal bloques en matriz



Fuente: La presente investigación.

Con el fin de visualizarlos, se puede observar en las imágenes (a) y (c) los bloques de roca dentro de una matriz litificada. En cambio, en el suelo (b) y (d) se observa una matriz con un suelo más suelto, el cual, en la extracción de un núcleo, se desprendería.



Fuentes:

- (a) un bimrock de granito descompuesto (roca erosionada) en la Sierra Nevada de California (foto: Dr. E. Medley).
- (b) Complejo franciscano mélangé, norte de California (foto: Dr. E. Medley).
- (c) un aglomerado Ankara bimrock soldado (foto: Dr. H. Sonmez).
- (d) una vista de mélangé en la Santa Barabramina del Norte Appennines (Italia) (de Coli et al., 2011).

2.2 Caracterización de bloques en matriz

En textos como The Engineering Characterization of Melanges and Similar Blocks in Matrix Rocks (Bimrocks) (Medley, 1994) Se establece que, se podrá definir como un BIM Rock (Macizo rocoso), si satisface los siguientes criterios:

1. Existe una diferencia mecánica entre los bloques y la matriz. Para distinguir los bloques de la matriz en función de sus contrastes mecánicos, tales como:

$$\frac{\tan \varphi' \text{ bloque}}{\tan \varphi' \text{ de la matriz}} \geq 2.0$$

2. Existen proporciones significativas entre los bloques más grandes y más pequeños, se sugieren en función del tamaño relativo del bloque más pequeño al bloque más grande.

3. La proporción volumétrica de los bloques es mayor que 25 por ciento y menor que 75 por ciento. El límite inferior de este criterio fue descubierto por Lindquist (1994b) y Lindquist y Goodman (1994):

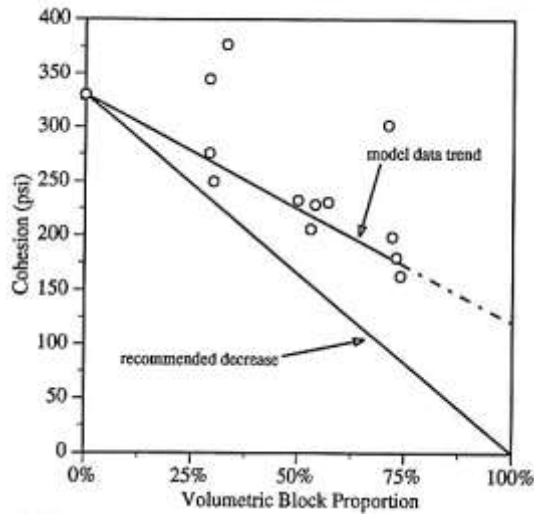
- Con proporciones volumétricas inferiores al 25% por ciento, se descubrió que el comportamiento mecánico general es similar a la matriz.
- Para un rango entre 25% y 75% su comportamiento lo controla la roca y la matriz mejorando su comportamiento mecánico si la proporción de pequeños bloques aumenta
- Por último, cuando la proporción volumétrica supera aproximadamente el 75 por ciento del contenido de bloques de roca se considerará como un bloque de roca.

(Medley 1994)

2.3 Propiedades mecánicas de acuerdo a la proporción de bloques

Se presenta las gráficas de comportamiento de los parámetros cohesión y ángulo de fricción vs porcentaje de bloques, en las figuras 2-45. 2-46.

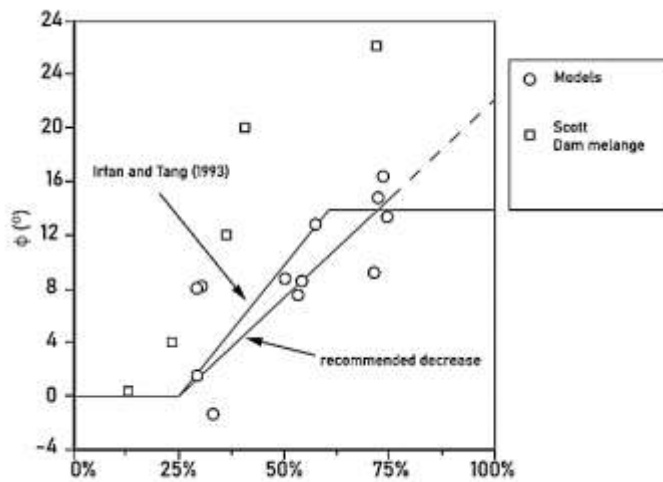
Figura 2-45 Comportamiento mecánico cohesión Vs % de bloques.



Fuente: (Lindquist, 1994)

De la gráfica anterior, se concluye que al aumentar el número de bloques disminuye la cohesión.

Figura 2-46 Comportamiento mecánico ángulo de fricción Vs % de bloques.



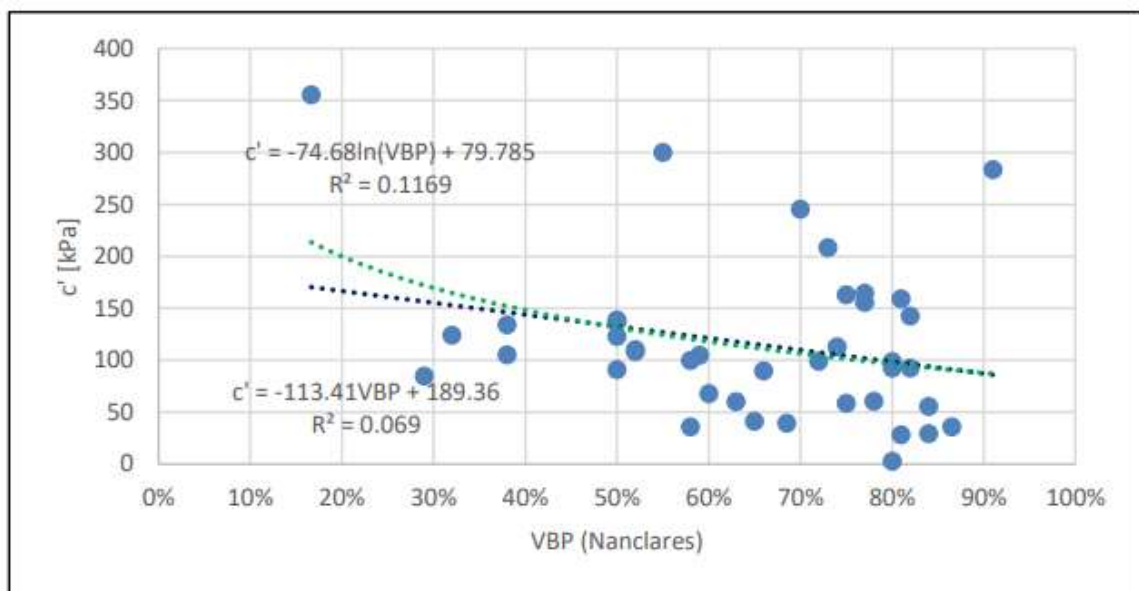
Fuente: (Lindquist, 1994)

De la gráfica anterior, se concluye que al aumentar el número de bloques aumenta el ángulo de fricción.

Es importante resaltar que existen estudios indicando la incidencia de otros factores que afectan la resistencia que alcanzan las muestras por ejemplo en el caso de la resistencia al corte la tesis titulada “influencia de la geometría, proporción volumétrica de bloques y la gradación en la resistencia al corte de mezclas remodeladas de suelo y roca” (Marín, 2020), resaltando las siguientes conclusiones:

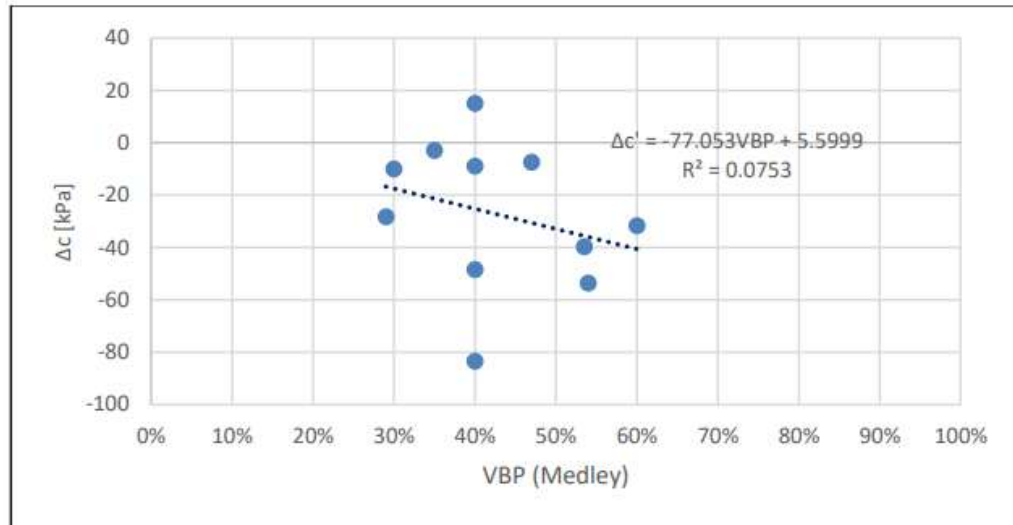
- Una posible razón para que no se encuentre relación alguna entre c' y VBP , es el hecho de que la cohesión es un parámetro que se encuentra controlado por la fracción fina, y depende en gran medida de la actividad y fuerzas electromagnéticas de los suelos. De acuerdo con lo anterior, la matriz es la que controla este parámetro, el cual, de acuerdo con los resultados obtenidos, no se ve influenciado por la fracción gruesa o la cantidad de bloques que tenga la geomasa. Sin embargo y a pesar de que no se obtuvieron buenas correlaciones, se observa que en general la tendencia el método Nanclares y metodología de Medley observada en las siguientes figuras, normalizada respecto a la resistencia de la matriz) es decreciente, lo cual indica que en la medida que aumenta la cantidad de bloques, la cohesión tiende a disminuir. Esto se puede explicar debido a que, en la medida que la fracción gruesa incrementa, esta empieza a regir sobre la resistencia; mientras que la fracción fina pierde influencia dentro de la resistencia de todo el conjunto. Lo anterior respalda lo presentado por autores como (Kalender, Sonmez, Medley, Tunusluoglu, & Kasapoglu, 2014),entre otros.

Figura 2-47 Correlación lineal y logarítmica entre la cohesión c' y la VBP hallada por el



Fuente: (Marín, 2020)

Figura 2-48 Correlación lineal entre el incremento de la cohesión c' y la VBP hallada por el método de Medley.

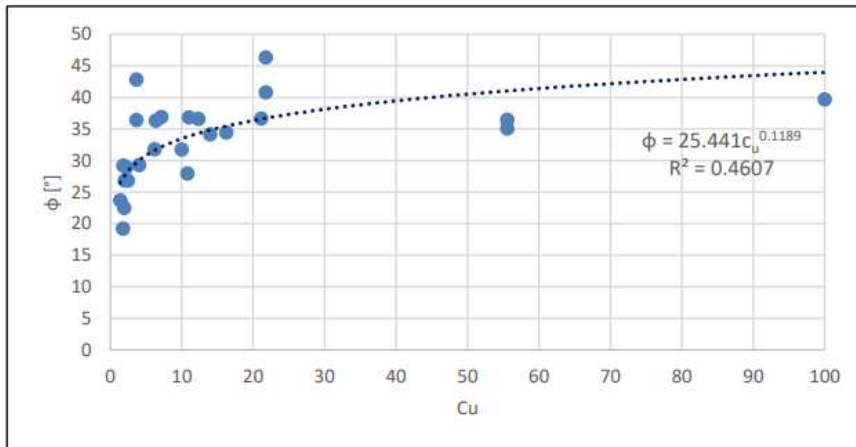


Fuente: (Marín, 2020)

- Para determinar el efecto de la forma de los bloques en la resistencia al corte de los materiales, se agruparon los datos en dos conjuntos; aquellos cuya forma es angular o subangular, y los de forma redondeada o subredondeada. ..., se observa que los bloques angulares tienen, en general, un mayor ángulo de fricción para diferentes valores de VBP , en comparación con los bloques redondeados. En promedio, el φ' de los bloques angulares es de $35,3^\circ$; mientras que el de los bloques redondeados es de $31,3^\circ$. Se propone para futuras investigaciones complementar la base de datos utilizada y estudiar a través de pruebas estadísticas el efecto de la forma de los bloques, considerando la variabilidad intrínseca del parámetro estudiado.
- Para hallar la influencia de la gradación en la resistencia, se encontró el coeficiente de uniformidad cu y de curvatura cc para las muestras ensayadas; y se compararon con los parámetros de resistencia obtenidos. Los resultados muestran que es el ángulo de fricción φ' y el coeficiente de uniformidad cu se pueden asociar a través de una tendencia potencial, obteniendo un R^2 igual a 0,46 (ver la siguiente figura). Al analizar el sentido físico de la tendencia hallada, se encuentra que ésta es congruente con los antecedentes y deducciones obtenidas a partir de otras investigaciones. Lo anterior es debido a que, dado que cu , es la relación entre D_{60} y D_{10} , mientras mayor es cu , mayor es el rango de tamaños que abarca la granulometría de la muestra. En otras palabras, cuando cu tiende a 1, D_{10} y D_{60} tienden a ser iguales y la granulometría muestra se encuentra concentrada en un mismo rango de tamaños, es decir, está bien seleccionada. En el caso contrario, mientras mayor sea cu , mayor es la diferencia entre D_{10} y D_{60} , por lo que la muestra está mal seleccionada. Así, un incremento en cu es indicio de que el

material se encuentra bien gradado, por lo cual la muestra contiene un amplio rango de tamaños que provocan que la superficie de falla tenga un mayor recorrido o sea más tortuosa. Todo ello finalmente se ve traducido en un incremento en el ángulo de fricción ϕ' , como lo indica la tendencia propuesta en la siguiente figura.

Figura 2-49 Correlación potencial entre el ángulo de fricción ϕ' y el Cu.



Fuente: (Marín, 2020)

2.4 Pruebas de campo para caracterización geotécnica bloques en matriz

Con el fin de comprender el comportamiento bloque-matriz, existen pruebas en sitio como por ejemplo el cilindro hidráulico, el cual sirve para la generación de un modelo que permite determinar parámetros geotécnicos. Mediante una prueba de carga, funciona utilizando un cilindro hidráulico que aplicara una presión al suelo hasta que falle, midiendo así parámetros de deformación y carga.

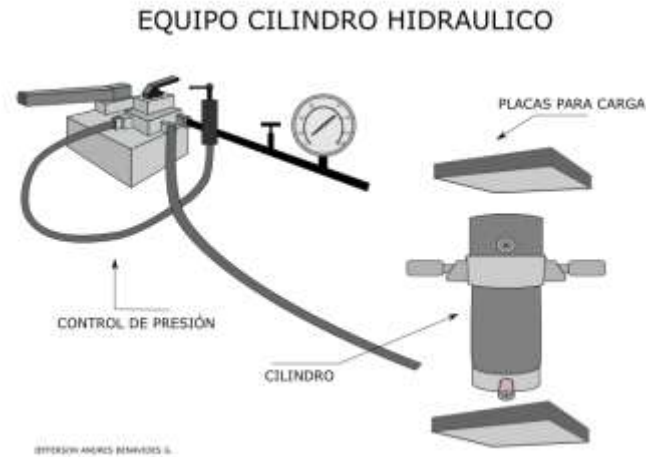
Para el caso de la fracción gruesa su comportamiento mecánico en la mecánica clásica es estudiado independientemente por ensayos convencionales como es el ensayo triaxial, sus propiedades y particularidades como resistencia al corte se amplian en estudios como la tesis doctoral “comportamiento mecánico de suelos grueso granulares de origen aluvial” (Nanclares Arango, 2018)

El principio de funcionamiento es similar a la prueba de carga estática de placas, aunque en el HCT la carga no se transmite verticalmente, por el contrario, se aplica perpendicularmente a las paredes de la zanja que ha sido excavada.

Posterior se crea un modelo 3D para obtener los parámetros de resistencia y deformación del suelo. Esto, para reproducir las condiciones geométricas de la prueba, estimando parámetros del modelo generado, el proceso se amplía en artículos científicos en artículos como “Application of hydraulic cylinder testing to determine the geotechnical properties of

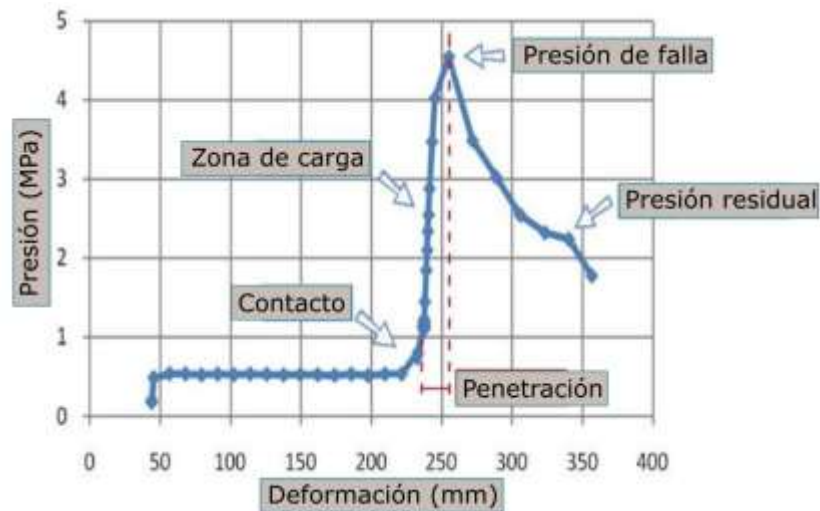
earth-filled dams” (Rodriguez R. , Nicieza, Gayarre, & Ramos, 2015), o A new test for the characterization of highly jointed rock masses (González-Nicieza, Prendes-Gero, Fernandez-Rodriguez, & Lopez-Gayarre, 2013)

Figura 2-50: Vista equipo cilindro hidráulico.



Fuente: La presente investigación.

Figura 2-51: Curva característica datos de campo ensayo cilindro hidráulico.



Fuente: (Rodriguez R. , Nicieza, Gayarre, & Ramos Lopez, 2005).

Dadas las limitaciones para el uso del equipo del cilindro hidráulico como son:

- Altas pendientes en talud de estudio
- Complejidad de accesos a zonas con presencia bloque matriz.

Se analizan los resultados obtenidos mediante la mecánica de suelos convencional, mediante exploraciones realizadas por la concesionaria vial y la Agencia Nacional de infraestructura ANI.

2.5 Caracterización geotécnica de sector de estudio.

2.5.1 Caracterización geotécnica de la concesionaria

Con el fin de realizar la construcción de la doble calzada Pasto – Ipiales se realizaron estudios geológicos por parte de la ANI y posteriormente por la concesionaria Unión Vial del Sur, Para el corredor vial Pasto- Ipiales se desarrolló una caracterización geotécnica amplia del sector dividida a su vez en unidades funcionales y zonas homogéneas, para el caso de estudio este se localiza cerca al punto llamado el Pedregal, donde se desarrolló una geotécnica amplia mediante ensayos de laboratorio y línea sísmica.

Se ilustra el trayecto del corredor vial en la siguiente imagen, marcando en un círculo los taludes analizados.

Figura 2-52: Corredor vial pasto -Ipiales.



Fuente: (Union Vial del sur, 2023), imagen construida basada en imagen fuente oficial.

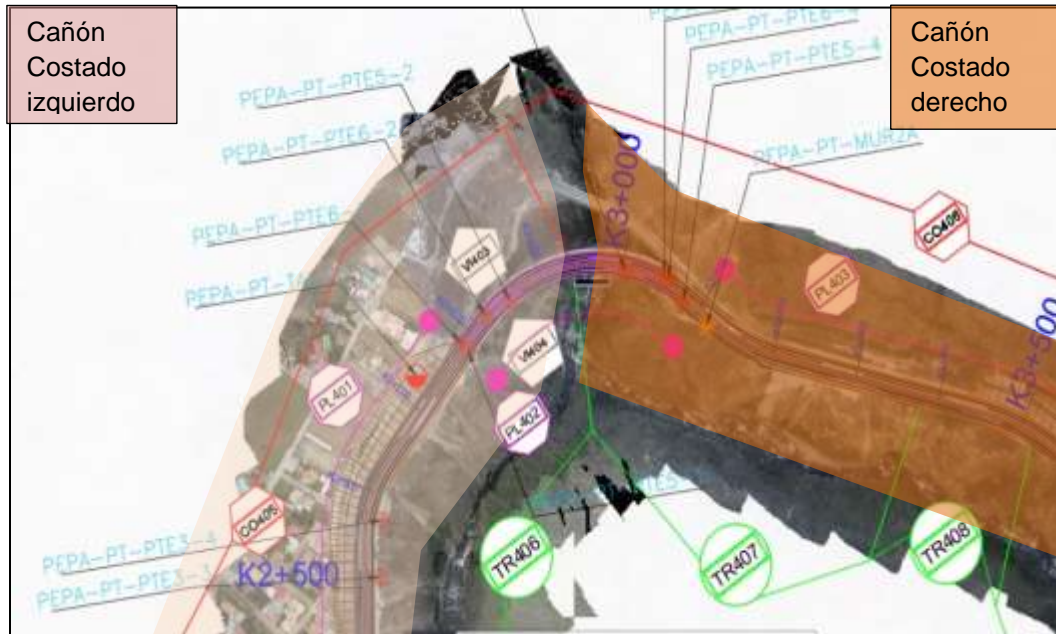
Tabla 2-6: Características de la vida doble calzada Pasto-Ipiales.

Característica	Descripción
Longitud	83 km de corredor vial.
Municipios de influencia	7 municipios del área de influencia directa tales como: Ipiales, El Contadero, Iles, Imués, Tangua, Yacuanquer y Pasto.
Localización Talud de estudio	K2+800 – K3+000
Unidad funcional caso de estudio	La zona de estudio se localiza en lo que llama la concesionaria unidad funcional No 4.
Exploraciones realizadas	<p>Las exploraciones fueron desarrolladas por parte de la concesionaria, en la Zona homogénea 2 del estudio geotécnico. Entre las abscisas (K2+550-K5+930). En dicha zona, se encuentran las unidades geológicas Lavas, Flujos de ceniza con pumitas y complejo La Magdalena. Puntualmente, se encuentran depósitos coluviales. En esta zona se contó con las perforaciones TAL3, TAL5, TAL6, MUR2A, MUR4, PTE3-4, PTE3-5, PTE5-1, PTE5- 2, PTE5-3, PTE5-4, PTE6-1, PTE6-2, PTE6-4 y PTE6-5 todas estas sobre el trazado. Los resultados de los ensayos muestran porcentajes de finos, arenas y gravas similares. La fracción de finos es de consistencia dura en su mayoría, con plasticidad variable. Se encontraron numerosos bloques y fragmentos de roca meteorizada durante el proceso de perforación.</p> <p>*La profundidad de las perforaciones se describen en la tabla 2-8.</p>

Fuente: la presente investigación.

La exploración descrita anteriormente se muestra en la siguiente imagen, indicando la abscisa de la vía y el punto sobre el cual se realizó la exploración.

Figura 2-53: Localización de talud de estudio sobre plan de exploración geotécnico doble calzada Pasto-Ipiales.



Fuente: (Union Vial del sur, 2023)

La localización de las exploraciones para caracterización geotécnica se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2-7: Coordenadas exploraciones zona de estudio.

Descripción	COORDENADAS	
	X	Y
PEPA-PT-PTE3-3	958490,4	608234,7
PEPA-PT-PTE3-4	958492,7	608293,3
PEPA-PT-TAL-3	958533,3	608442,0
PEPA-PT-PTE6-1	958585,8	608474,9
PEPA-PT-PTE6-2	958614,0	608503,7
PEPA-PT-PTE5-2	958642,9	608519,1
PEPA-PT-PTE5-3	958778,6	608549,6
PEPA-PT-PTE6-5	958824,3	608546,9
PEPA-PT-PTE6-4	958829,3	608541,8
PEPA-PT-PTE5-4	958846,9	608518,4
PEPA-PT-MUR2A	958874,0	608493,0

Fuente: Elaboración propia, tomada de las coordenadas del plano topográfico suministrado por parte de la concesionaria.

Resumiendo, en las dos siguientes tablas se muestran los resultados de los ensayos de laboratorio en la exploración geotécnica realizada por la concesionaria unión vial del sur, se indica la: clasificación, granulometría, límites de consistencia y humedad natural. Para cada una de las muestras obtenidas en la exploración de la figura 2-48, tabla 2-7.

Granulometría de las muestras fracción fina.

Tabla 2-8: Granulometría muestras exploración concesionaria vial.

Costado	Descripción	Muestra	H	Clasificación		Granulometría (%)		
				Clasificación U.S.C. S	Clasificación AASHTO	Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)
lzq.	PEPA-PT-PTE3-3	1	2,00-3,60	GP GM	A-2-5	65	28	7
lzq.	PEPA-PT-PTE3-3	2	5,00-6,00	GW GM	A-2-7	55	35	10
lzq.	PEPA-PT-PTE3-3	3	7,00-8,00	GP GM	A-2-7	54	35	11
lzq.	PEPA-PT-PTE3-3	5	13,00-13,50	SP SC	A-2-7	40	48	12
lzq.	PEPA-PT-PTE3-3	7	15,00-15,70	GM	A-2-7	46	40	14
lzq.	PEPA-PT-PTE3-3	8	18,70-19,70	GC	A-2-7	37	32	31
lzq.	PEPA-PT-PTE3-3	9	24,00-24,50	SC	A-7-6	19	39	42
lzq.	PEPA-PT-PTE3-3	13	21,00-21,70	CH	A-7-6	6	40	54
lzq.	PEPA-PT-PTE3-3	14	26,80-27,30	GC	A-7-6	34	25	41
lzq.	PEPA-PT-PTE3-4	1	0,00-1,00	GC	A-2-7	46	19	35
lzq.	PEPA-PT-PTE3-4	2	2,40-2,85	SC	A-6	16	38	46
lzq.	PEPA-PT-PTE3-4	3	5,70-6,15	SC	A-6	22	37	41
lzq.	PEPA-PT-PTE3-4	5	8,35-8,80	SC	A-6	14	37	49
lzq.	PEPA-PT-PTE3-4	6	10,20-10,65	SM	A-4	6	45	49
lzq.	PEPA-PT-PTE3-4	7	13,00-13,45	ML	A-4	0	42	58

Costado	Descripción	Muestra	H	Clasificación		Granulometría (%)		
				Clasificación U.S.C. S	Clasificación AASHTO	Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)
lzq.	PEPA-PT-PTE3-4	8	15,60-16,05	CL	A-6	4	39	57
lzq.	PEPA-PT-PTE3-4	9	17,50-18,00	SC	A-6	25	36	39
lzq.	PEPA-PT-PTE3-4	10	18,50-18,95	SC	A-6	20	37	43
lzq.	PEPA-PT-PTE3-4	11	20,80-22,00	CL	A-7-6	27	16	57
lzq.	PEPA-PT-TAL-3	1	1,00-1,60	ML	A-4	0	4	96
lzq.	PEPA-PT-TAL-3	2	1,60-2,05	ML	A-5	0	0	100
lzq.	PEPA-PT-TAL-3	3	3,40-3,85	ML	A-5	0	1	99
lzq.	PEPA-PT-TAL-3	4	5,00-5,45	SC	A-2-6	25	43	32
lzq.	PEPA-PT-TAL-3	5	7,00-7,45	SC	A-6	9	44	47
lzq.	PEPA-PT-TAL-3	7	11,00-12,00	GM	A-2-7	47	34	19
lzq.	PEPA-PT-TAL-3	8	13,00-14,00	GC	A-2-6	54	31	15
lzq.	PEPA-PT-TAL-3	9	15,00-16,00	GC	A-2-7	40	37	23
lzq.	PEPA-PT-PTE6-1	1	0,00-1,50			77	16	7
lzq.	PEPA-PT-PTE6-1	3	5,00-5,50	SP	A-1-b	0	98	2
lzq.	PEPA-PT-PTE6-2	1	1,00-1,50	SC	A-2-7	32	53	15
lzq.	PEPA-PT-PTE6-2	2	1,50-1,98			50	37	13
lzq.	PEPA-PT-PTE6-2	3	1,95-2,40	GP GC	A-2-6	69	21	10
lzq.	PEPA-PT-PTE6-2	4	3,00-4,50			96	3	1
lzq.	PEPA-PT-PTE6-2	5	4,50-9,50			95	4	1
lzq.	PEPA-PT-PTE6-2	7	13,00-14,20			62	27	11
lzq.	PEPA-PT-PTE5-2	1	1,00-1,30			31	38	31
lzq.	PEPA-PT-PTE5-2	3	3,50-3,95			54	37	9

Costado	Descripción	Muestra	H	Clasificación		Granulometría (%)		
				Clasificación U.S.C. S	Clasificación AASHTO	Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)
Izq.	PEPA-PT-PTE5-2	5	8,60-9,20			74	19	7
Izq.	PEPA-PT-PTE5-2	6	10,00-10,80	GP GC	A-2-7	60	31	9
Izq.	PEPA-PT-PTE5-2	7	10,80-11,80	GP GC	A-2-7	58	32	10
Der.	PEPA-PT-PTE5-3	2	1,30-2,00	SM	A-2-7	31	40	29
Der.	PEPA-PT-PTE5-3	4	3,50-4,00	GM	A-2-7	41	38	21
Der.	PEPA-PT-PTE5-3	6	6,90-7,50	GC	A-2-7	44	27	29
Der.	PEPA-PT-PTE5-3	9	12,30-12,50	GC	A-2-7	64	20	16
Der.	PEPA-PT-PTE5-3	14	21,20-21,70	GC	A-2-7	75	11	14
Der.	PEPA-PT-PTE6-5	1	1,00-1,95	GP GC	A-2-7	56	35	9
Der.	PEPA-PT-PTE6-5	2	1,95-2,40	SM	A-2-7	25	60	15
Der.	PEPA-PT-PTE6-4	1	1,50-1,80	SM	A-1-b	35	53	12
Der.	PEPA-PT-PTE6-4	3	3,00-4,00	SM	A-2-6	38	48	14
Der.	PEPA-PT-PTE6-4	4	5,50-5,90	SM	A-2-4	29	57	14
Der.	PEPA-PT-PTE6-4	5	6,50-6,70	SM	A-2-5	21	54	25
Der.	PEPA-PT-PTE6-4	7	9,60-15,00			80	15	5
Der.	PEPA-PT-PTE6-4	8	15,00-15,30	SC	A-2-7	12	55	33
Der.	PEPA-PT-PTE6-4	10	16,60-17,05	CL	A-7-6	11	36	53
Der.	PEPA-PT-PTE6-4	13	21,00-21,60	GW GM	A-2-6	59	32	9
Der.	PEPA-PT-PTE6-4	15	23,00-23,15	SM	A-2-4	8	57	35
Der.	PEPA-PT-PTE6-4	17	26,70-27,50	GP GC	A-2-6	57	33	10
Der.	PEPA-PT-PTE6-4	19	30,00-30,70	GW GM	A-2-6	53	37	10
Der.	PEPA-PT-MUR2A	1	1,30-1,75	SM	A-1-b	21	55	24

Costado	Descripción	Muestra	H	Clasificación		Granulometría (%)		
				Clasificación U.S.C. S	Clasificación AASHTO	Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)
Der.	PEPA-PT-MUR2A	2	2,30-2,75	SC	A-2-7	31	39	30
Der.	PEPA-PT-MUR2A	3	3,20-3,65	SC	A-2-7	18	49	33
Der.	PEPA-PT-MUR2A	4	3,65-4,10	SC	A-7-6	14	38	48
Der.	PEPA-PT-MUR2A	6	7,30-8	GP GC	A-2-7	60	28	12
Der.	PEPA-PT-MUR2A	7	11,40-13,40	GP GC	A-2-7	58	31	11

Fuente: Elaboración propia partiendo de anexo ensayos laboratorio concesionaria vial.

Límites de consistencia y humedad natural

Tabla 2-9: Límites de consistencia muestras exploración concesionaria vial

Costado	Descripción	Muestra	Prof.	Límites de consistencia			Humedad natural
				Plástico	Líquido	Índice de plasticidad	
lza.	PEPA-PT-PTE3-3	1	2,00-3,60	35	43	8	
lza.	PEPA-PT-PTE3-3	2	5,00-6,00	37	48	11	
lza.	PEPA-PT-PTE3-3	3	7,00-8,00	33	52	19	
lza.	PEPA-PT-PTE3-3	5	13,00-13,50	27	47	20	
lza.	PEPA-PT-PTE3-3	7	15,00-15,70	28	41	13	
lza.	PEPA-PT-PTE3-3	8	18,70-19,70	26	56	30	
lza.	PEPA-PT-PTE3-3	9	24,00-24,50	25	58	33	
lza.	PEPA-PT-PTE3-3	13	21,00-21,70	22	50	28	
lza.	PEPA-PT-PTE3-3	14	26,80-27,30	27	58	31	
lza.	PEPA-PT-PTE3-4	1	0,00-1,00	21	44	23	
lza.	PEPA-PT-PTE3-4	2	2,40-2,85	18	34	16	13,8

Costado	Descripción	Muestra	Prof.	Límites de consistencia			Humedad natural
				Plástico	Líquido	Índice de plasticidad	
lzq.	PEPA-PT-PTE3-4	3	5,70-6,15	19	40	21	
lzq.	PEPA-PT-PTE3-4	5	8,35-8,80	20	36	16	
lzq.	PEPA-PT-PTE3-4	6	10,20-10,65	23	29	6	26,4
lzq.	PEPA-PT-PTE3-4	7	13,00-13,45	NP	NL	NP	28,4
lzq.	PEPA-PT-PTE3-4	8	15,60-16,05	21	39	18	27
lzq.	PEPA-PT-PTE3-4	9	17,50-18,00	20	34	14	
lzq.	PEPA-PT-PTE3-4	10	18,50-18,95	23	37	14	24,4
lzq.	PEPA-PT-PTE3-4	11	20,80-22,00	23	47	24	
lzq.	PEPA-PT-TAL-3	1	1,00-1,60	31	40	9	
lzq.	PEPA-PT-TAL-3	2	1,60-2,05	36	43	7	25,1
lzq.	PEPA-PT-TAL-3	3	3,40-3,85	34	44	10	16,2
lzq.	PEPA-PT-TAL-3	4	5,00-5,45	23	34	11	
lzq.	PEPA-PT-TAL-3	5	7,00-7,45	24	38	14	
lzq.	PEPA-PT-TAL-3	7	11,00-12,00	26	42	16	
lzq.	PEPA-PT-TAL-3	8	13,00-14,00	22	40	18	
lzq.	PEPA-PT-TAL-3	9	15,00-16,00	24	41	17	
lzq.	PEPA-PT-PTE6-1	1	0,00-1,50				
lzq.	PEPA-PT-PTE6-1	3	5,00-5,50	NP	NL	NP	
lzq.	PEPA-PT-PTE6-2	1	1,00-1,50	19	41	22	
lzq.	PEPA-PT-PTE6-2	2	1,50-1,98				12,4
lzq.	PEPA-PT-PTE6-2	3	1,95-2,40	20	39	19	10,8

Costado	Descripción	Muestra	Prof.	Límites de consistencia			Humedad natural
				Plástico	Líquido	Índice de plasticidad	
lzq.	PEPA-PT-PTE6-2	4	3,00-4,50				
lzq.	PEPA-PT-PTE6-2	5	4,50-9,50				
lzq.	PEPA-PT-PTE6-2	7	13,00-14,20				
lzq.	PEPA-PT-PTE5-2	1	1,00-1,30				10,1
lzq.	PEPA-PT-PTE5-2	3	3,50-3,95				14,6
lzq.	PEPA-PT-PTE5-2	5	8,60-9,20				
lzq.	PEPA-PT-PTE5-2	6	10,00-10,80	27	71	44	
lzq.	PEPA-PT-PTE5-2	7	10,80-11,80	25	61	36	
Der.	PEPA-PT-PTE5-3	2	1,30-2,00	43	60	17	
Der.	PEPA-PT-PTE5-3	4	3,50-4,00	29	45	16	
Der.	PEPA-PT-PTE5-3	6	6,90-7,50	28	50	22	23,3
Der.	PEPA-PT-PTE5-3	9	12,30-12,50	24	49	25	
Der.	PEPA-PT-PTE5-3	14	21,20-21,70	27	63	36	
Der.	PEPA-PT-PTE6-5	1	1,00-1,95	27	52	25	13
Der.	PEPA-PT-PTE6-5	2	1,95-2,40	28	48	20	12,7
Der.	PEPA-PT-PTE6-4	1	1,50-1,80	NP	NL	NP	
Der.	PEPA-PT-PTE6-4	3	3,00-4,00	27	40	13	
Der.	PEPA-PT-PTE6-4	4	5,50-5,90	29	36	7	
Der.	PEPA-PT-PTE6-4	5	6,50-6,70	35	42	7	24,1
Der.	PEPA-PT-PTE6-4	7	9,60-15,00				
Der.	PEPA-PT-PTE6-4	8	15,00-15,30	20	42	22	21,8

Costado	Descripción	Muestra	Prof.	Límites de consistencia			Humedad natural
				Plástico	Líquido	Índice de plasticidad	
Der.	PEPA-PT-PTE6-4	10	16,60-17,05	24	43	19	27,5
Der.	PEPA-PT-PTE6-4	13	21,00-21,60	26	40	14	
Der.	PEPA-PT-PTE6-4	15	23,00-23,15	25	31	6	21,2
Der.	PEPA-PT-PTE6-4	17	26,70-27,50	24	37	13	
Der.	PEPA-PT-PTE6-4	19	30,00-30,70	25	38	13	
Der.	PEPA-PT-MUR2A	1	1,30-1,75	NP	NL	NP	28,7
Der.	PEPA-PT-MUR2A	2	2,30-2,75	20	44	24	10,6
Der.	PEPA-PT-MUR2A	3	3,20-3,65	21	46	25	12,5
Der.	PEPA-PT-MUR2A	4	3,65-4,10	22	53	31	19,1
Der.	PEPA-PT-MUR2A	6	7,30-8	26	49	23	
Der.	PEPA-PT-MUR2A	7	11,40-13,40	23	41	18	

Fuente: Elaboración propia (Partiendo de anexo ensayos laboratorio concesionaria vial).

Adicionalmente, se tomaron muestras y fueron falladas con los siguientes resultados:




Tabla 2-10: Resistencia a la compresión simple muestras exploración concesionaria vial.





Cost.	Sondeo	Muestra	Prof.	Descripción del material	Peso Unit.	Resistencia compresión Simple (MPa)	Imagen
Izq.	PEPA-PT-PTE3-3	7	15,00-15,70	ARENISCA, gris amarillento, de grano medio.	18,16	0,57	
Izq.	PEPA-PT-PTE3-3	11	29,00-30,00	ARENISCA, gris claro, de grano medio.	26,06		
Izq.	PEPA-PT-PTE3-3	12	8,10-8,40	ARENISCA, gris amarillento, de grano fino.	18,70	5,30	
Izq.	PEPA-PT-PTE3-3	14	26,80-27,30	GRAVA GRUESA Y ARCILLA, negro marrón, algo de arena fina, plasticidad alta.	17,19	0,25	

Cost.	Sondeo	Muestra	Prof.	Descripción del material	Peso Unit.	Resistencia compresión Simple (MPa)	Imagen
Izq.	PEPA-PT-PT3-4	14	28,30-29,80	DACITA-ANDESITA PORFIRITICA (METEORIZADA), gris claro.	24,27	23,28	
Izq.	PEPA-PT-PT3-4	15	29,80-31,20	DACITA-ANDESITA PORFIRITICA, gris claro.	24,26	71,00	
Izq.	PEPA-PT-PTE6-1	8	19,00-20,00	NUCLEO DE ROCA, café muy claro.	21,55	17,66	
Izq.	PEPA-PT-PTE6-2	9	17,00-18,20	NUCLEO DE ROCA, gris.	25,78	49,00	

Cost.	Sondeo	Muestra	Prof.	Descripción del material	Peso Unit.	Resistencia compresión Simple (MPa)	Imagen
Der.	PEPA-PT-PTE5-3	5	5,00-5,50	TOBA LITICA (SOLDADA), gris.	22,19	21,67	
Der.	PEPA-PT-PTE5-3	7	9,00-9,50	TOBA LITICA (SOLDADA), gris.	20,54	16,95	
Der.	PEPA-PT-PTE5-3	8	9,85-10,85	TOBA LITICA (SOLDADA), gris.	21,01	22,43	
Der.	PEPA-PT-PTE5-3	10	12,85-13,85	TOBA LITICA (SOLDADA), gris.	21,87	29,29	

Cost.	Sondeo	Muestra	Prof.	Descripción del material	Peso Unit.	Resistencia compresión Simple (MPa)	Imagen
Der.	PEPA-PT-PTE5-3	12	17,00-17,90	TOBA LITICA (SOLDADA), gris.	21,97	24,51	
Der.	PEPA-PT-PTE5-3	13	19,00-19,40	TOBA LITICA (SOLDADA), gris.	21,71	28,85	
Der.	PEPA-PT-PTE5-3	16	24,00-25,00	TOBA LITICA (SOLDADA), gris.	22,68	17,87	
Der.	PEPA-PT-PTE5-3	18	27,00-27,30	ANDESITA PORFIRITICA, gris.	25,52	64,75	

Cost.	Sondeo	Muestra	Prof.	Descripción del material	Peso Unit.	Resistencia compresión Simple (MPa)	Imagen
Der.	PEPA-PT-PTE6-5	4	6,50-7,00	TOBA LITICA (SOLDADA), gris amarillento.	22,50	31,52	
Der.	PEPA-PT-PTE6-5	6	10,00-11,00	TOBA LITICA (SOLDADA), gris azulado.	21,12	16,36	
Der.	PEPA-PT-PTE6-5	7	12,00-13,00	TOBA LITICA METEORIZADA, marrón amarillento.	19,71	4,29	
Der.	PEPA-PT-PTE6-5	9	14,50-15,00	ESCORIA ANDESITICA, gris claro.	19,69	19,06	

Cost.	Sondeo	Muestra	Prof.	Descripción del material	Peso Unit.	Resistencia compresión Simple (MPa)	Imagen
Der.	PEPA-PT-PTE6-5	10	16,00-17,00	TOBA LITICA (SOLDADA), gris amarillento moteado.	20,11	6,43	
Der.	PEPA-PT-PTE6-5	11	19,00-20,00	ESCORIA TRAQUITICA, rosa grisáceo.	21,54	9,11	
Der.	PEPA-PT-PTE6-4	20	31,00-32,00	TOBA LITICA SOLDADA (Aglomerado), rosa pálido moteado.	22,51	26,09	
Der.	PEPA-PT-PTE6-4	21	33,00-33,80	TOBA LITICA SOLDADA (Aglomerado), beige moteado.	22,63	15,79	

Cost.	Sondeo	Muestra	Prof.	Descripción del material	Peso Unit.	Resistencia compresión Simple (MPa)	Imagen
Der.	PEPA-PT-PTE5-4	11	17,90-18,30	TOBA LITICA FRESCA, gris amarillento (moteado).	21,15	15,28	
Der.	PEPA-PT-PTE5-4	12	18,30-19,30	TOBA LITICA SOLDADA, beige moteado.	21,99	20,58	
Der.	PEPA-PT-PTE5-4	14	19,80-20,15	CONTACTO TOBA LITICA SOLDADA CON LACITA PORFIRITICA, rojo claro.	23,28	32,08	
Der.	PEPA-PT-MUR2A	8	16,20-16,70	TRAQUITA PORFIRITICA, rosa grisáceo.	20,90	13,96	

Cost.	Sondeo	Muestra	Prof.	Descripción del material	Peso Unit.	Resistencia compresión Simple (MPa)	Imagen
Der.	PEPA-PT-MUR2A	9	18,00-19,00	TOBA LITICA SOLDADA, gris amarillento moteada.	21,95	15,21	
Der.	PEPA-PT-MUR2A	10	19,00-20,00	TOBA LITICA METEORIZADA, marrón oliva moteado.	19,35	0,41	

Fuente: Elaboración propia (Partiendo de anexo ensayos laboratorio concesionaria vial).

La información indicada en la tabla anterior: Resistencia a la compresión simple en exploración geotécnica por parte de la concesionaria vial, se puede sintetizar en la siguiente tabla:

Tabla 2-11: Resumen resistencia a la compresión simple sobre muestras exploración concesionaria vial.

	Arenisca		Grava gruesa y arcilla	Dacita-Andesita-Porfirica		Toba Lítica	Escoria andesítica		Traquita porfirica	
	Resistencia a la compresión simple MPa									
	Min	Max	-	Min	Max	Max.	Min	Max	-	
Costado derecho cañón	0,57	5,30	0,25	23,28	64,75					
costado izquierdo cañón				19,06		64,75	9,11	19,06	13,96	
Cantidad muestras	3		1	3		18	2		1	
Representatividad	10,0%		3%	10,0%		60,0%	6,7%		3%	

Fuente: Elaboración propia (Partiendo de anexo ensayos laboratorio concesionaria vial).

Para el caso de los estratos encontrados en la zona de estudio, la concesionaria estableció los siguientes parámetros mecánicos:

Tabla 2-12: Parámetros de resistencia mecánica rocas UF4 para suelos del complejo magdalena.

Roca	γ	σ_c	GSI	mi	D	C'	ϕ'
	KN/m3	MPa				KN/m2	°
Andesita	24.5	20	55	25	0.7	261	50
TQsv IIB	19.0	10	50	19	0.7	189	39
TQsv IIA	19.0	6..5	45	19	0.7	142	33
Aglomerado IIB	21.0	15	50	19	0.7	165	45
Aglomerado IIA	19.0	5.0	45	19	0.7	119	32

γ : Peso unitario

σ_c : Resistencia a la compresión simple (intacto)

GSI: Índice de resistencia geológico

mi: Constante del material

D: Factor de afectación

c': Cohesión

ϕ' : Angulo de fricción

Fuente: Concesionaria Unión Vial del Sur.

Tabla 2-13: Parámetros estimados para flujos de cenizas y pumitas.

Roca	γ	C'	ϕ'
	KN/m3	KPa	°
TQvf	19.0	120	38
Qc	19.0	33	35

TQvf Flujos de Ceniza y Pumita

Qc depósito coluvial

Fuente: (Union Vial del sur, 2023)

2.5.2 Caracterización geotécnica de la ANI

A lo largo del corredor vial Pasto- Ipiales, la Agencia Nacional de Infraestructura ANI presenta los siguientes parámetros de resistencia en el estudio geológico del sector:

Tabla 2-14: Parámetros de resistencia mecánica unidades geológicas estudio geotécnico ANI.

Tipo de Material	Unidad Geotécnica	Unidad Geológica	ϕ •	c Ton/m ²
Perfil de suelo E	II	NgQp-FI	32	2,55
Perfil de suelo D			39,5	7,65
Perfil de suelo C			33,6	61,0
Perfil de suelo B			42,45	97,4
Perfil de suelo E	II	NgQp-FI	32	2,55
Perfil de suelo D			39,5	7,65
Perfil de suelo C			33,6	61,0
Perfil de suelo B			42,45	97,4
Perfil de suelo E	IV	NgQf	32	2,55
Perfil de suelo D			39,5	7,65
Perfil de suelo C			33,6	61,0
Perfil de suelo B			42,45	97,4
Bloques de roca porfirica meteorizada de color gris. Con presencia de ceniza volcánica de grano medio y gravas color café vetas negras.	IV	NgQf	42,0	1,13
			21,55	246,7
Bloques de roca porfirica meteorizada de color gris. Con presencia de ceniza volcánica de grano medio y gravas color café vetas negras.	IV	Qal NgQp	33,0	5*
Arenas de grano medio a grueso y Gravas de tamaños medios.	II	NgQp-FI NgQp-Tb	32,8	0

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura -ANI.

Paralelamente a la información anterior, se establecen parámetros de análisis para zonas de implantación de puentes, así:

Tabla 2-15: Parámetros de resistencia en zonas de puentes

	ϕ (°)	C (ton/m ²)	C (KPa)
Bloque de roca porifica meteorizada de color gris, con presencia de ceniza volcánica de grano medio y gravas color cafe vetas negras.	42,0	1,13	11,1
Limo arenoso arcilloso	32,0	*	*
Suelo muy denso	54,5	*	*
Arena de grano grueso	42,0	0,41	4,06

Nota: No se cuenta con información en los valores marcados en *

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI, 2019)

2.5.3 Línea sísmica de la ANI

Los ensayos geofísicos, líneas sísmicas o ReMi (Refraction Microtremor, por sus siglas en inglés) proveen un método no invasivo de caracterización de geomateriales. Por ser un método no invasivo, proveen una herramienta valiosa en términos de tiempo y costo para obtener información de alta calidad relacionada con la velocidad de propagación de ondas en el subsuelo. Particularmente, el conocimiento de la velocidad de propagación de ondas de corte (V_s) en el subsuelo, es un parámetro fundamental para poder determinar el comportamiento y respuesta de los geomateriales ante cargas dinámicas como sismos. Por lo tanto, el objetivo principal de las líneas sísmicas es obtener un perfil bidimensional, por cada línea realizada, de la variación de la velocidad de onda de corte en profundidad. Para la obtención de los perfiles de velocidad de onda de corte, se debe cumplir con los siguientes objetivos específicos:

En la ruta calzada Pasto-Ipiales, se realizaron línea sísmica, desarrollándose la línea sísmica No 1, aledaña a la zona del caso de estudio, presentando la localización de las líneas sísmicas en la siguiente tabla, presentando las siguientes características.

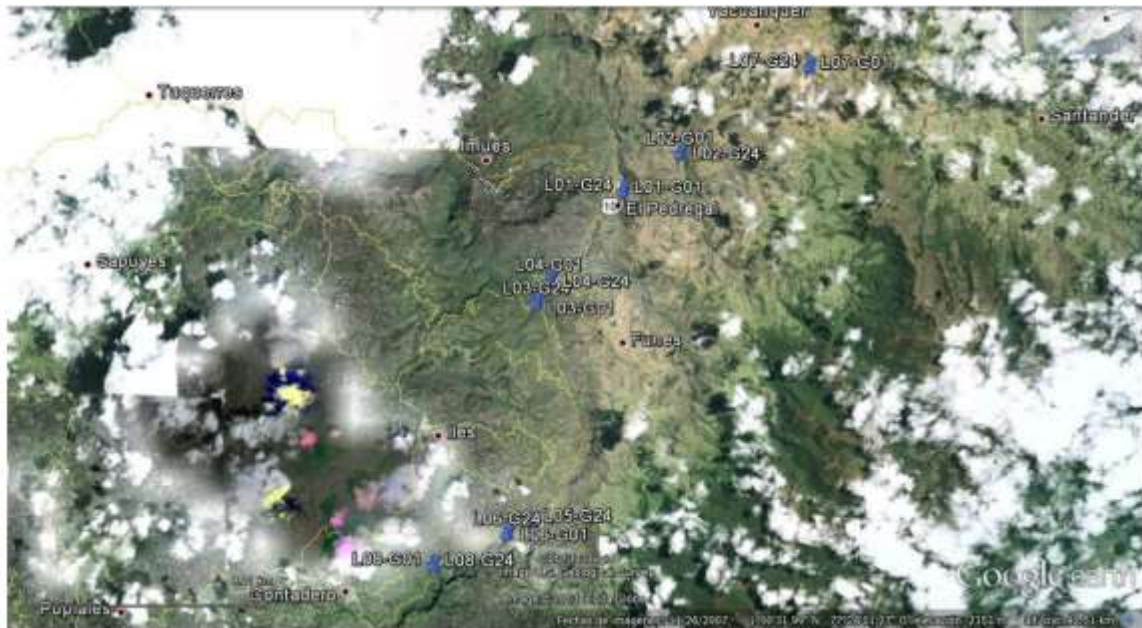
Tabla 2-16: Coordenadas líneas sísmicas corredor vial Pasto-Ipiales.

COORDENADAS				
GEOFONO\LINEA	G01	G24	Esp. (m)	Log. Total (m)
L01	958580 E / 608481 N	958609 E / 608565 N	4	92
L02	960924 E / 609983 N	960958 E / 610032 N	4	92
L03	955000 E / 603979 N	955011 E / 603880 N	4	92
L04	955555 E / 604842 N	955623 E / 604856 N	3	69
L05	954871 E / 595061 N	954859 E / 595126 N	3	69
L06	953906 E / 594595 N	953827 E / 594558 N	4	92
L07	966131 E / 613480 N	966134 E / 613409 N	3	69
L08	950902 E / 593451 N	950891 E / 593390 N	3	69

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI, 2019)

La ubicación de dichas coordenadas en planta se muestra en la siguiente imagen, se marca adicionalmente la zona de estudio en la figura.

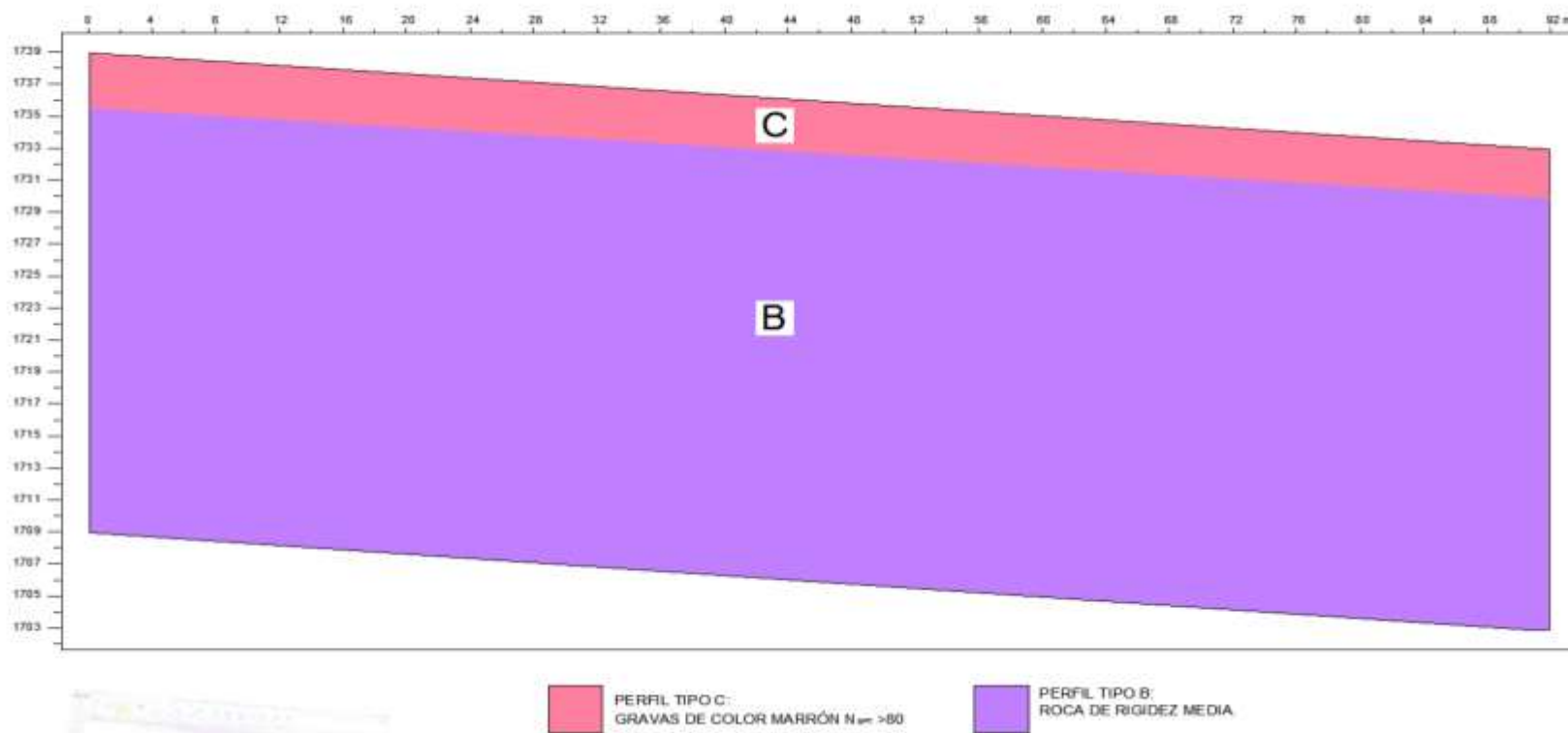
Figura 2-54: Localización líneas sísmicas ANI, corredor vial Pasto-Ipiales.



Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI, 2019)

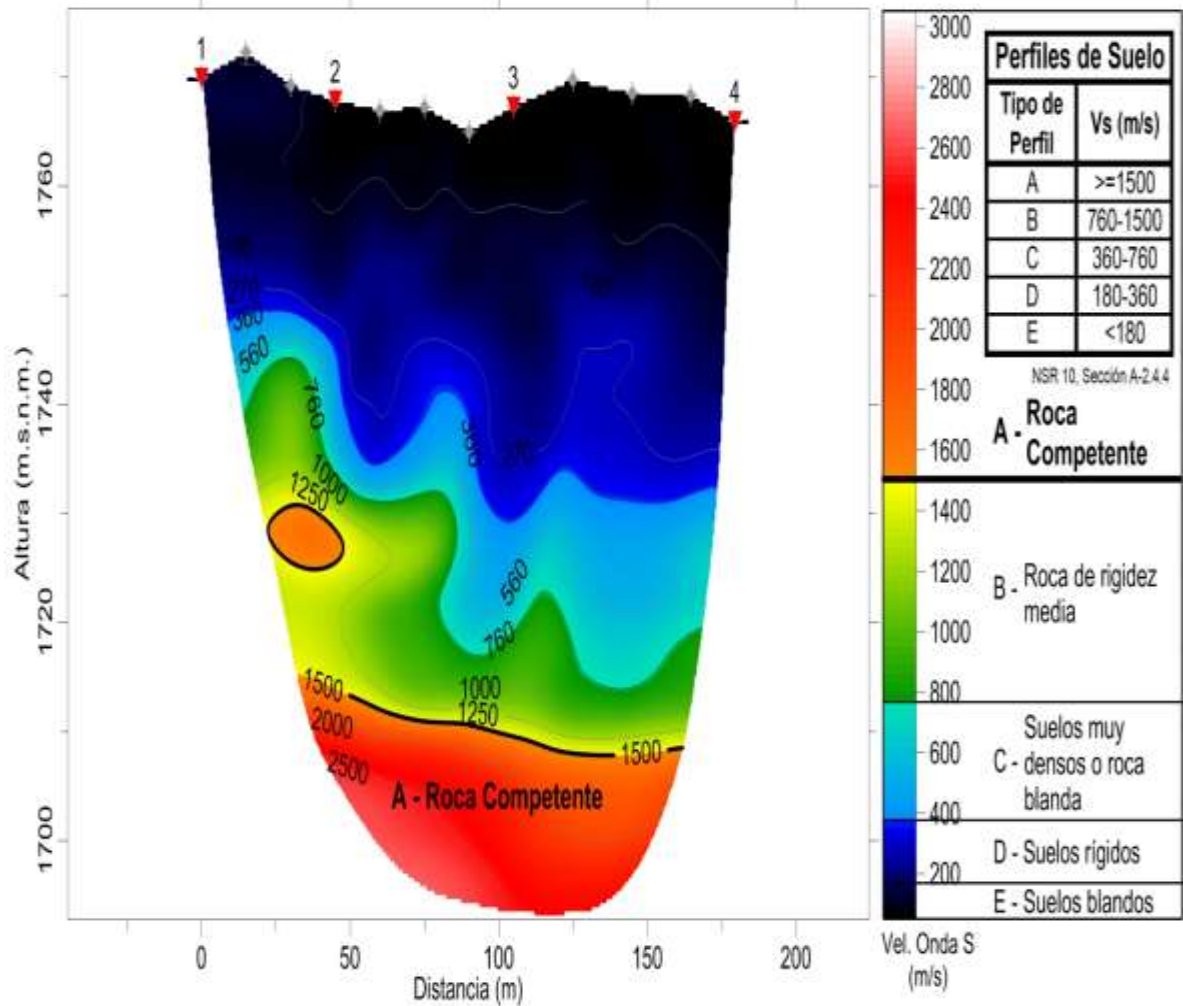
A partir de los perfiles de velocidad definidos, se pueden estimar parámetros de rigidez de los suelos a bajas deformaciones como el módulo de corte, así como correlacionar los valores de velocidad de onda de corte con otros parámetros geotécnicos. Para caracterizar el perfil de suelos definido bajo la exploración geofísica, se muestran en la siguiente imagen:

Figura 2-55: Resultados línea sísmica No 1.



Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI, 2019)

Pedregal-Pasto_LSC-1, 20 WET iterations, RMS error 2.2 %, 1D-Gradient smooth initial model, Version 3.19



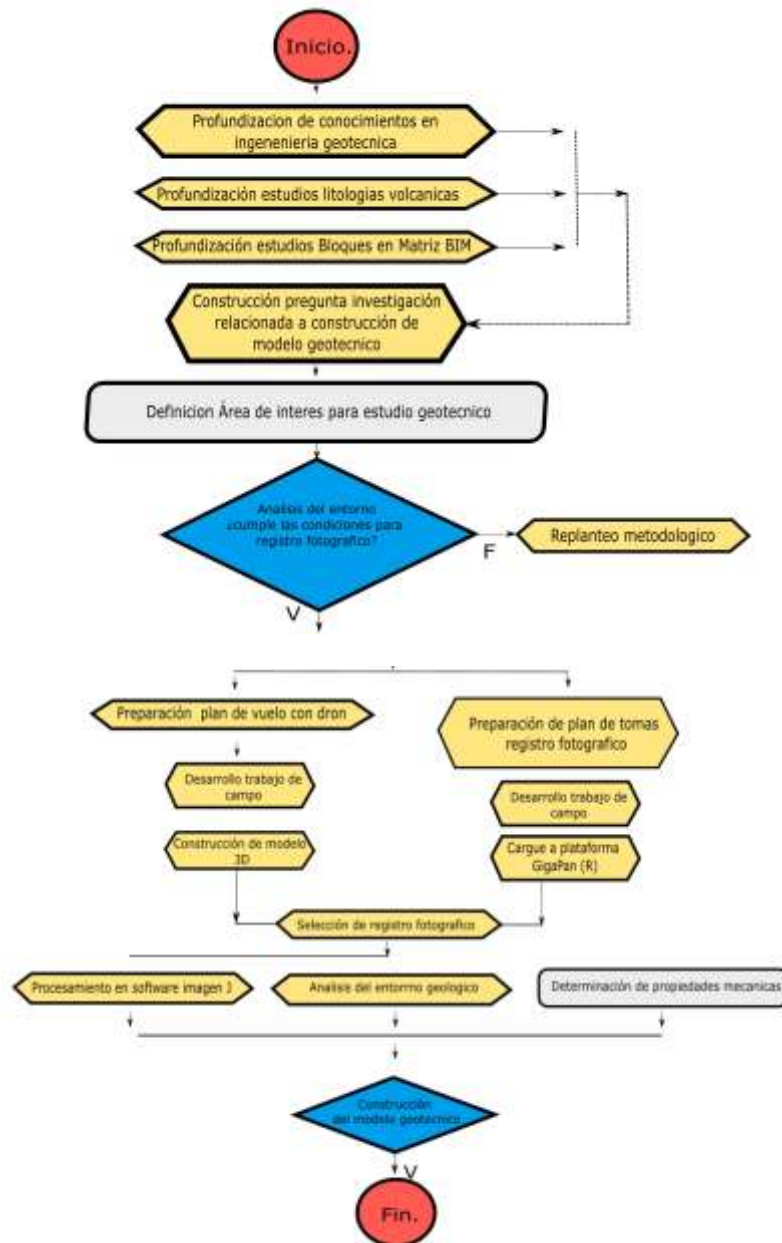
Autor: Germán Rodríguez Pradilla Fecha: Noviembre 2013	DG FO 004 - Versión: 1	Proyecto de Refracción Sísmica Tramo Pedregal - Pasto LSC-01 Departamento de Nariño Colombia	Contiene Clasificación de Perfiles de Suelo a partir de Velocidades de Onda S Convenciones ▼ Fuentes sísmicas ◆ Receptores — Curva de Nivel	 Soluciones Geofísicas UT EMA-TVA- CINC-PEYCO-ICEACSA
	Sistema de Referencia MAGNA SIRGAS Origen Oeste			

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI, 2019)

3. Determinación de la proporción bloque-matriz

Para la determinación de la proporción bloque- matriz se realizó el siguiente proceso:

3.1 Metodología



Fuente: La presente investigación.

3.2 Construcción de modelo topográfico tridimensional

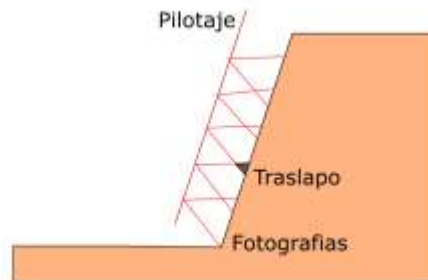
Se realiza la construcción del modelo topográfico tridimensional, descrito en los siguientes subcapítulos.

3.2.1 Generación del plan de vuelo con dron

Enfocando el producto requerido para generación de un modelo 3D del talud, se propone el siguiente plan de pilotaje de dron y tomas fotográficas.

Forma de pilotaje: Fotografías traslapadas a la cara del talud- Vista en corte al talud.

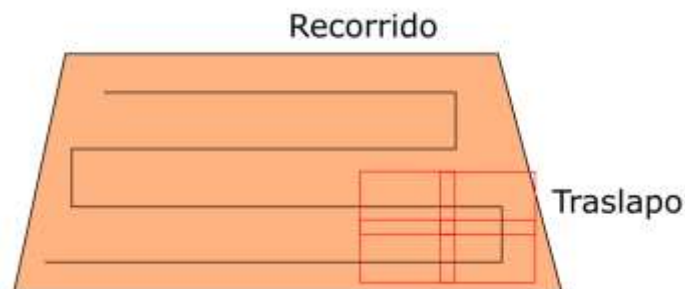
Figura 3-56: Vista en perfil sobre talud para pilotaje de dron.



Fuente: La presente investigación.

Recorrido vista frontal al talud:

Figura 3-57: Vista frontal sobre talud para recorrido y toma de fotografías para generación de modelo en 3D.



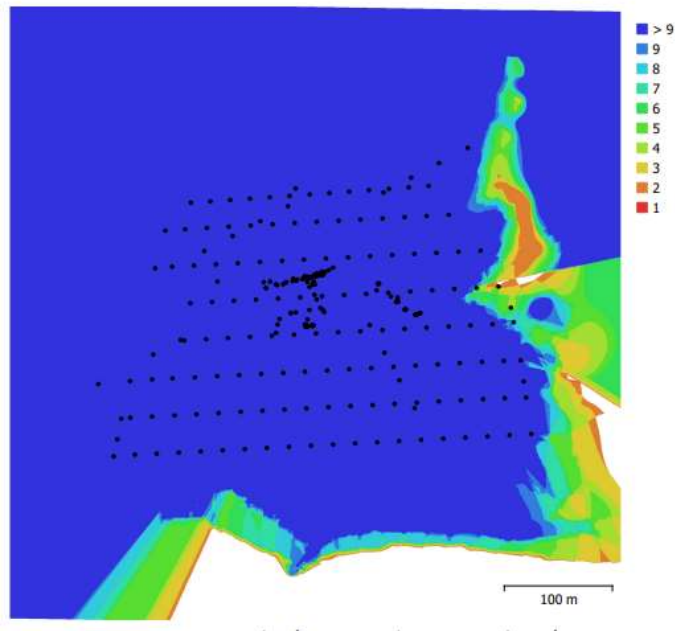
Fuente: La presente investigación.

Posteriormente, mediante procedimiento digital de software, se genera un modelo en 3D tres dimensiones para observar e interpretar el talud de estudio.

3.2.2 Información del plan de vuelo con dron

En la siguiente imagen se observa el recorrido en planta desarrollado en plan de vuelo para obtención de fotografías aéreas.

Figura 3-58: Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.



Fuente: La presente investigación.

Número de imágenes: 370

Altitud media de vuelo: 68.2 m

Resolución en terreno: 3.33 cm/pix

Área cubierta: 0.292 km²

Imágenes alineadas: 311

Puntos de paso: 240,604

Proyecciones: 731,842

Error de reproyección: 30.7 pix

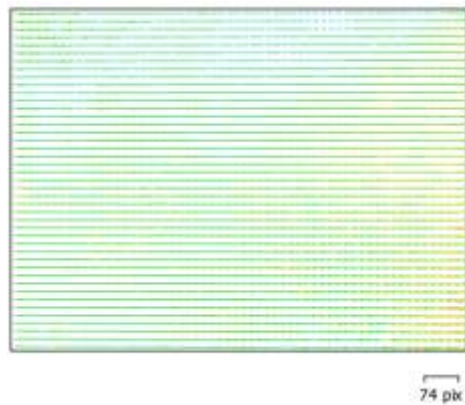
Tabla 3-17: Modelo de cámara levantamiento con dron.

Modelo de cámara	de	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	de	Precalibrada
Test_Pro (4.386mm)		4000 x 3000	4.386 mm	1.58 x 1.58 micras		No

Fuente: La presente investigación.

En la siguiente grafica se observa los residuales para procesamiento de orto foto.

Figura 3-59: Gráfico de residuales para Test_Pro (4.386mm).



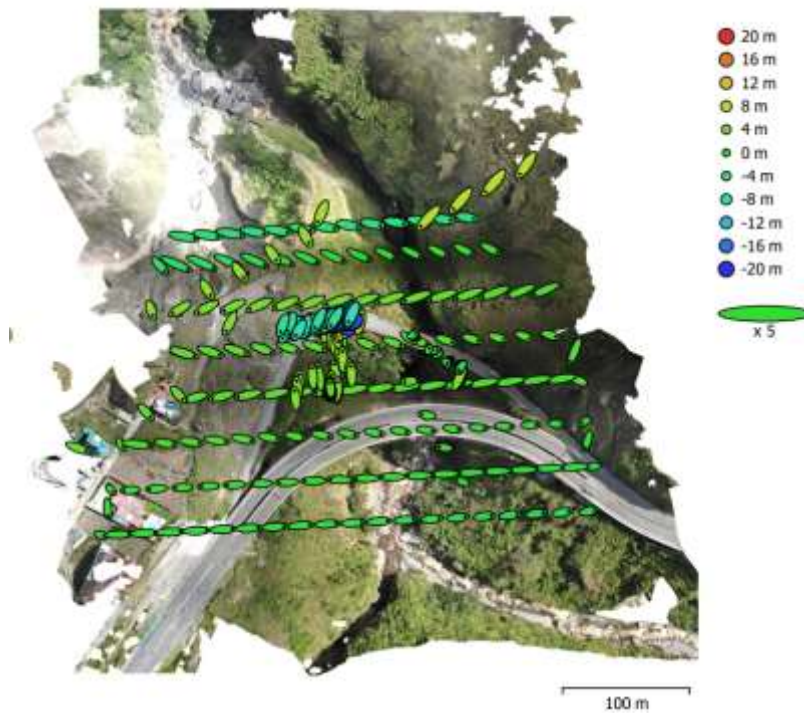
Fuente: La presente investigación.

Test_Pro (4.386mm)

368 imágenes, rolling-shutter

Posicionamiento de cámaras

Figura 3-60: Posiciones de cámaras y estimadores de error.



Fuente: La presente investigación.

El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY. Posiciones estimadas de las cámaras se indican con los puntos negros.

Tabla 3-18: Errores medios de las posiciones de cámaras.

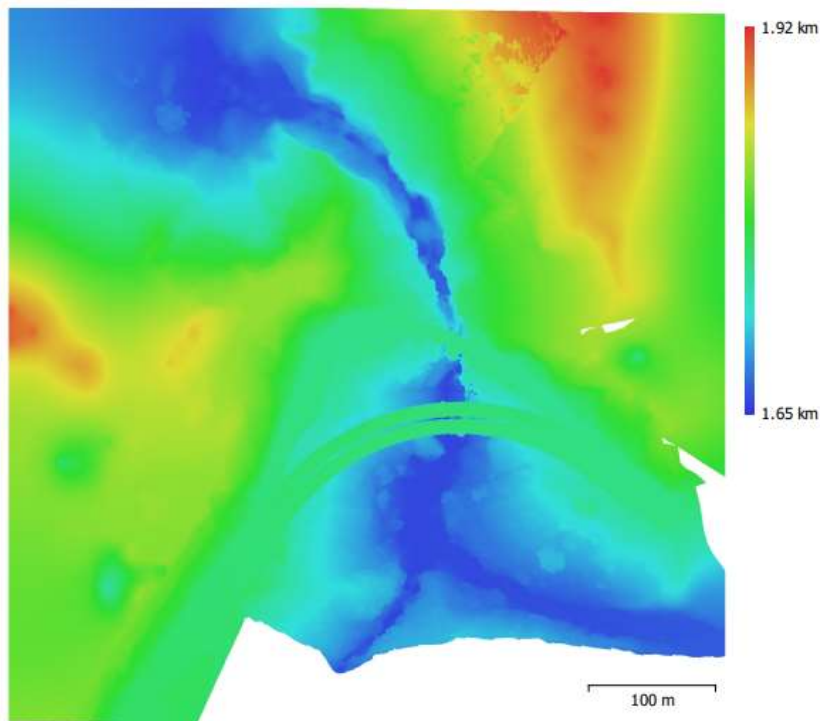
Error en X (m)	Error en Y (m)	Error en Z (m)	Error en XY (m)	Error combinado (m)
1.88437	1.50743	5.15627	2.41313	5.69301

X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Fuente: La presente investigación.

Modelo digital de elevaciones

Figura 3-61: Modelo digital de elevaciones.



Resolución: 6.67 cm/pix

Densidad de puntos: 225 puntos/m²

Fuente: La presente investigación.

3.2.3 Construcción orto mosaico

Partiendo de la información tomada con vuelo en dron se construye en el siguiente orto mosaico (agrupación de fotografías aéreas mediante la superposición de traslapes en las tomas para la construcción de una fotografía de alta calidad).

Figura 3-62: Ortomosaico zona de estudio cañón sobre el rio Guairatara- vía panamericana doble calzada Pasto- Ipiales.



Fuente: La presente investigación.

3.2.4 Modelo topográfico tridimensional

Partiendo de la información tomada con vuelo en dron se construye en siguiente orto mosaico

Figura 3-63: Modelo 3D generado mediante levantamiento con Dron.



Fuente: La presente investigación.

3.3 Construcción de registro fotográfico de alta resolución

A continuación, se describe el sistema empleado para toma de fotografías, su metodología de procesamiento y los resultados obtenidos, así:

3.3.1 Descripción del equipo para registro de alta resolución mediante GigaPan®

GigaPan Systems es una empresa de tecnología privada global que proporciona hardware, software y servicios, para crear y compartir imágenes panorámicas interactivas de giga píxeles de alta resolución. La empresa tiene su sede en Portland, Oregón.

GigaPan Systems combina imágenes y panoramas de alta definición con capacidades para compartir, etiquetar y hacer zoom. La compañía ofrece una solución para capturar, ver y explorar imágenes de gigapíxeles de alta resolución en un solo sistema.

Para dichas tomas, la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín dispone de los siguientes recursos:

Los equipos cuentan con las siguientes características:

Tabla 3-19: Descripción de equipos usados toma de fotografías mediante el sistema GigaPan®

Ítem	Descripción	Observación
1	Trípode	Forro TRIPOD CASE TC-6 LIBEC. Trípode LIBEC TH 650 DV.
2	Robot automatizado para captura de fotografías	Robot EPIC Pro Incluye batería de carga, cargador, cable de conexión entre robot y cámara fotográfica, platina de conexión entre cámara y trípode.
3	Cámara fotográfica	Cámara Nikon referencia D5200 incluye lente y protector de lente, estuche y tapas de protección.
4	Lente	Lente sigma 150-600mm F5-6.3 DG, incluye estuche, tapas delantera y trasera del lente.

Nota:

- Para que la practica funcione los elementos 1,2,3 son indispensables.
- El 4 (lente) es opcional, dependiente de la distancia focal a la cual se encuentre la cámara.

Figura 3-64: Toma mediante GigaPan® observada en plataforma web.



Fuente: Plataforma web.

Figura 3-65: Robot para programación de tomas de alta resolución.



Fuente: La presente investigación.

Figura 3-66: Lente para cámara equipo para tomas de alto alcance.



Fuente: La presente investigación.

Figura 3-67: Estación de trabajo con especificaciones para procesamiento de imágenes en GigaPan®.



Fuente: La presente investigación.

Posteriormente la información será procesada mediante software para la obtención de la proporción bloque – matriz.

Se toma como guía para procesamiento de imágenes el artículo (Botero Garcia, 2015), Metodología para el estudio de Orientación Preferencial de Forma (OPF) en muestras de mano de roca y afloramiento a través de procesamiento digital de imagen

En el caso de imágenes de afloramiento, la técnica se basa en la adquisición de imágenes de alta resolución obtenidas a través de la toma de panorámicas gigapixeladas por medio de la combinación de decenas a centenas de fotografías obtenidas con el sistema GigaPan®, un montaje robótico que controla la toma automática de fotografías que son posteriormente ensambladas utilizando software comercial tipo Autopano Pro 3.5® y posteriormente tratadas digitalmente en Photoshop® para ser finalmente implementadas en SPO2003®.

3.3.2 Metodología para registro de alta resolución mediante GigaPan®

Configuración del equipo

Se presentan las siguientes opciones indicadas en la siguiente imagen.

Figura 3- 68: Menú principal GigaPan ®.



Fuente: (Systems, 2012)).

Para las tomas generadas en presente estudio, se optó por la siguiente configuración:

Opciones para generación nuevo proyecto

- 1- Se selecciona nuevo panorama.
- 2- Se realiza ajuste zoom y enfoque de cámara, para verificar la calidad de imagen y nitidez de la foto.
- 3- Usando las flechas direccionales se selecciona límite superior izquierdo de la fotografía.
- 4- Usando las flechas direccionales se selecciona límite inferior derecho de la fotografía.
- 5- En pantalla LCD se chequea la cantidad de fotos y el tiempo para toma de fotografías.
- 6- Se comprueba que el flash de la cámara se encuentre apagado
- 7- Opcionalmente se autoriza la verificación automática de los límites superior derecho, superior izquierdo, inferior derecho, inferior izquierdo, centro de la fotografía.
- 8- Se autoriza inicio de la toma de fotografías.
- 9- Se realiza chequeo de la cámara encendida.
- 10- Se realiza chequeo del cierre de la exposición.
- 11- Se realiza chequeo del enfoque bloqueado.

Trabajos de campo

Para los trabajos de campo se realizó inicialmente una visita previa para identificar la zona de estudio, teniendo identificada la misma se planificaron; factores de seguridad del sector; forma de acceso al sitio; factores climáticos; transporte: carga de los equipos y personal. Localizados en sitio con una comisión conformada por fotógrafo, profesional en ingeniería civil y un ayudante. Localizados sobre la zona de estudio se realizó una limpieza de maleza en forma manual usando un machete y guantes, posteriormente se realizó la colocación de los marcos de escala un (1) metro por uno (1) metro en cuatro puntos del talud de estudio para caracterización de Bim Soil, puesto que una de las recomendaciones para la toma de fotografías es alinear el marco tanto vertical como horizontalmente se usaron pines de 50 cm elaborados con barras de acero $\frac{3}{4}$ ", asegurando los mismos con golpes de maceta, se arma el equipo Giga Pan® según manual de operación del equipo y se inicia la toma en el rango buscado, el proceso de armado y desarmado se repite para cada marco y para dos tomas generales del sector.

Elementos empleados:

- Equipo GigaPan ®.
- Maceta.
- Pines con barra de acero $\frac{3}{4}$ " largo 50 centímetros.
- Cámara y lente fotográfico.

Figura 3-69: Localización para toma de panorama general zona de estudio BIM Soil, costado derecho del puente histórico Guáitara.



Fuente: La presente investigación.

Figura 3-70: Localización para toma de panorama general zona de estudio BIM Rock, costado izquierdo del puente histórico Guáitara.



Fuente: La presente investigación.

Figura 3- 71: Vista colocación de pines en marcos de escala.



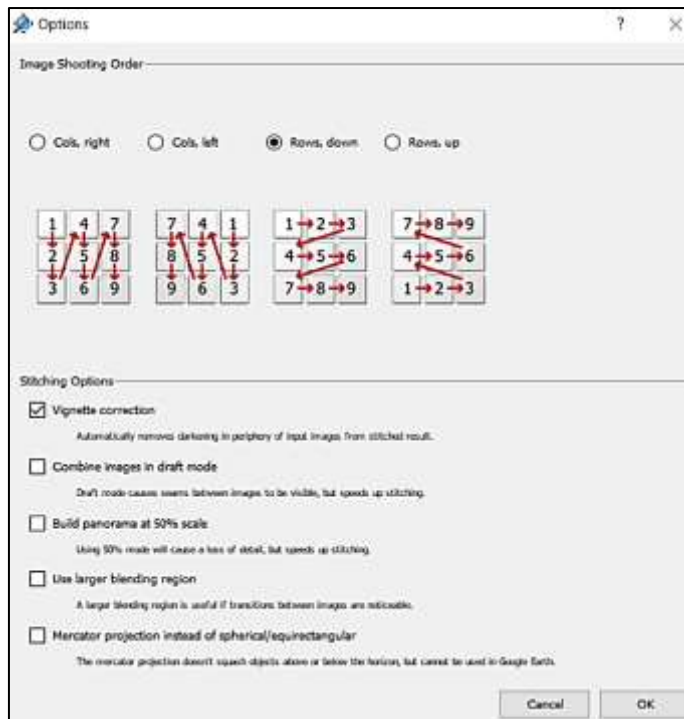
Fuente: La presente investigación.

Construcción de fotografías

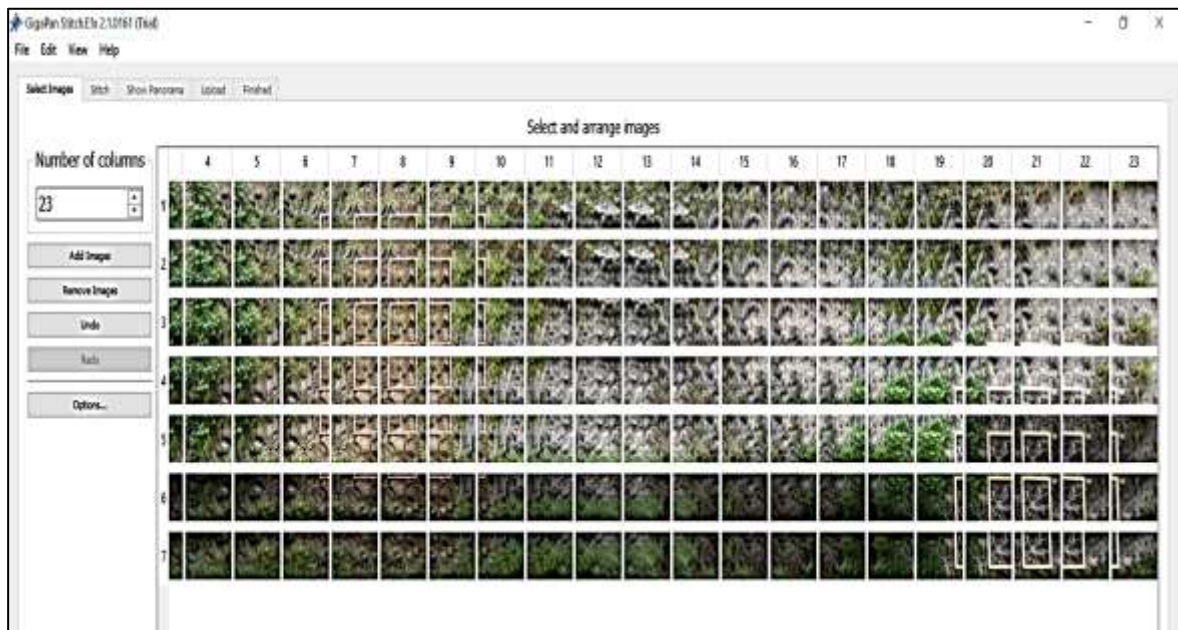
Empleando el componente GigaPan Stitch. Se realiza la unión de las fotografías tomadas en campo, logrando una imagen de alta definición y cuya área abarca un mayor tamaño.

Se sugiere el siguiente proceso para la construcción de imágenes:

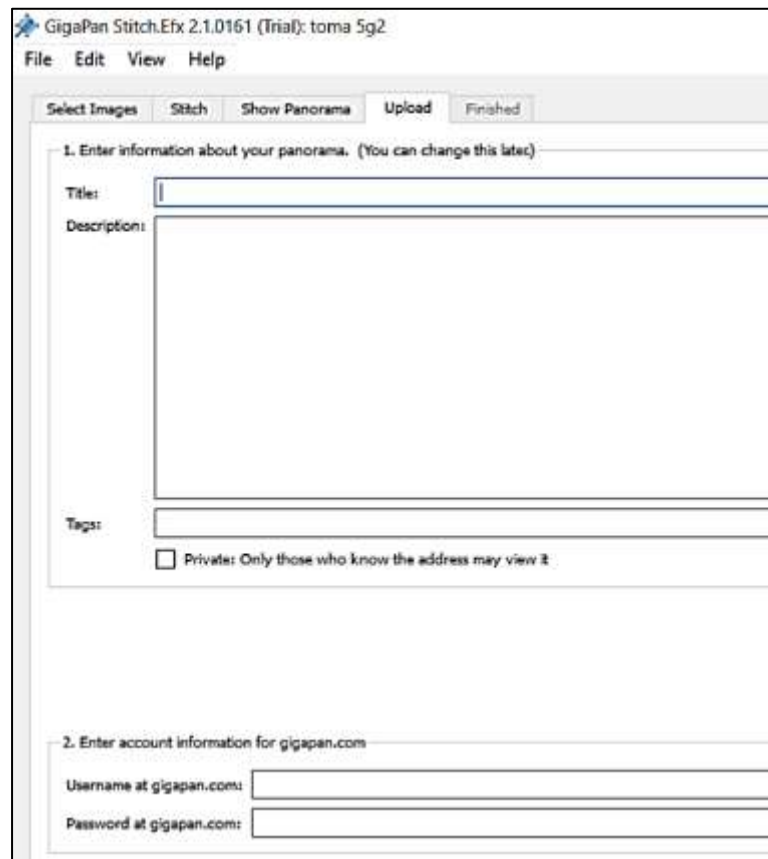
- 1- Configuración de la opción para el sentido de cargue de imágenes. Se recomienda el uso Rows, Down, si se cuenta con la toma de imágenes continuas en campo, con la configuración de equipo propuesto en la sección anterior.



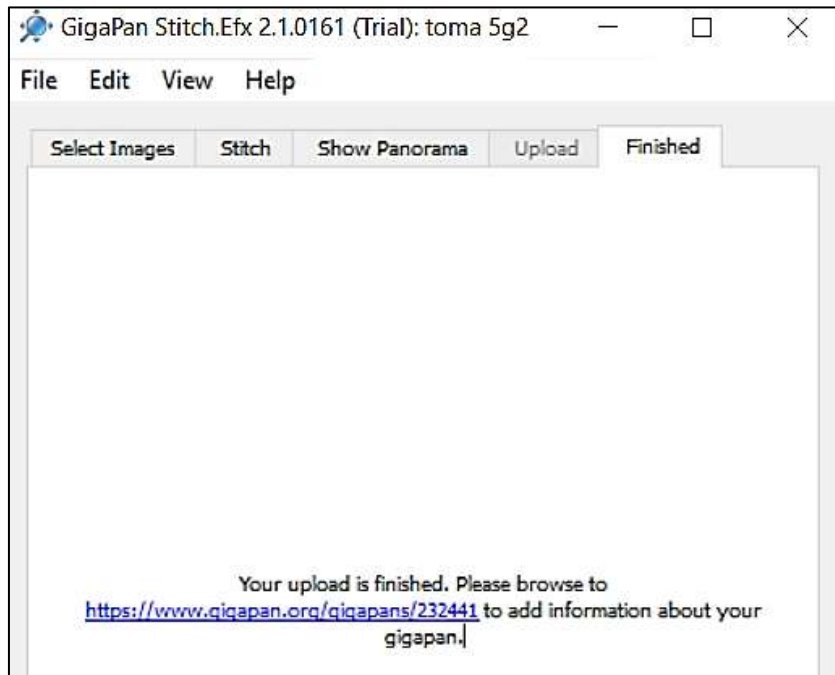
- 2- Se realiza el cargue de fotografías y se verifica que estas se generen en forma de matriz traslapándose a cada uno de sus costados.



- 3- Se carga la información para identificación de la fotografía como palabras clave, descripción de foto y claves.



- 4- Se verifica el cargue de la fotografía en plataforma, se generará un link de la página oficial.



Fotografías cargadas en plataforma

Se cargan las tomas en plataforma Gigapan® en los siguientes enlaces:

Figura 3-72: Toma cargada en Gigapan.



Fuente: La presente investigación.

Tabla 3-20: Descripción y ruta de fotografías cargadas en plataforma GigaPan.

No de toma	Descripción	Enlace
1	Marco No 1	http://gigapan.com/gigapans/232425
2	Marco No 2	http://gigapan.com/gigapans/232423
3	Marco No 3	http://gigapan.com/gigapans/232422
4	Fotografía general del sector marco de referencia No 1 y 2	
5	Fotografía general del sector marco de referencia No 3 y 4	http://gigapan.com/gigapans/232433
6	Marco No 4	http://gigapan.com/gigapans/232354
7	Fotografía BIM Rocks	http://gigapan.com/gigapans/232426

Fuente: La presente investigación.

3.4 Selección fotografías sitios de estudio

Del registro fotográfico tomado, se seleccionan 4 sitios de casos de estudio para el cálculo de proporción bloque-matriz.

Figura 3-73: Punto No 1- para análisis en dos dimensiones, cálculo de porcentajes bloque-matriz.



Fuente: La presente investigación.

Figura 3-74: Punto No 2- para análisis en dos dimensiones, cálculo de porcentajes bloque-matriz



Fuente: La presente investigación.

Figura 3-75: Punto No 3 para análisis en dos dimensiones, cálculo de porcentajes bloque-matriz.



Fuente: La presente investigación.

Figura 3- 76: Punto No 4 para análisis en dos dimensiones, cálculo de porcentajes bloque-matriz.



Fuente: La presente investigación.

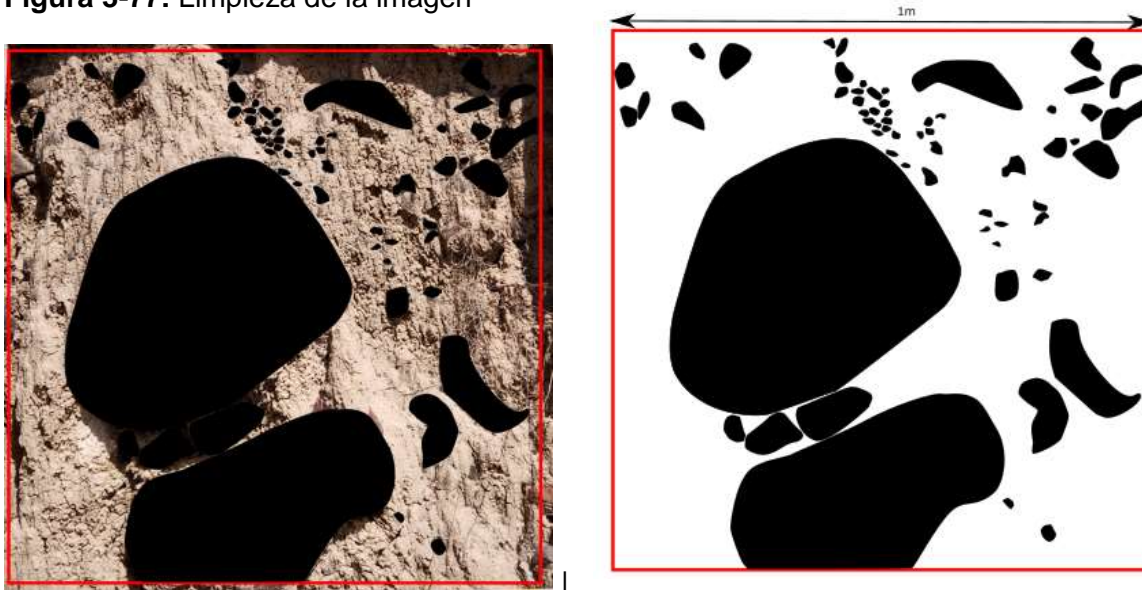
3.5 Procesamiento de fotografías mediante software Imagen J

3.5.1 Procedimiento cálculo de proporción bloque- matriz.

Mediante el uso del programa Imagen J, Inkscape y software Excel, se propone realizar el siguiente proceso:

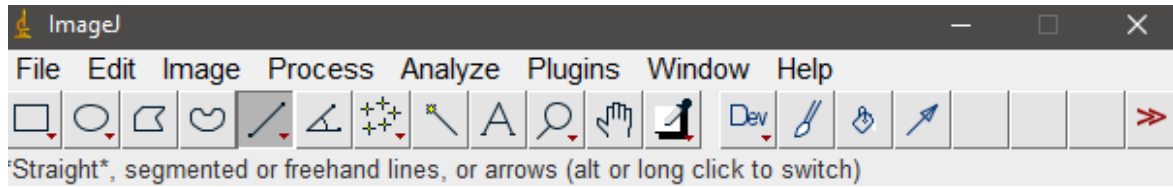
- 1- Mediante el software Inkscape con la herramienta curva Bézier y líneas rectas, se dibuja manualmente en programa os bloques de roca inmersos en la matriz, dejando el interior de cada polígono relleno de negro. Posteriormente se elimina foto original y se deja el marco una escala de medida conocida, generando una imagen en blancos y negros.

Figura 3-77: Limpieza de la imagen



Fuente: La presente investigación.

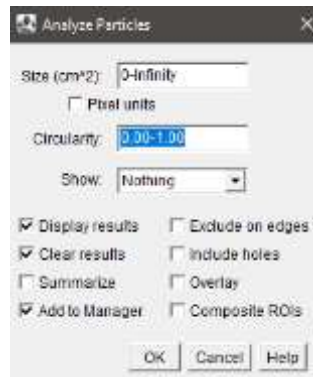
- 2- Mediante el uso del programa de software libre imagen J, se realizan los siguientes pasos:
 - Files- Open – Cargue de archivo – abrir
 - Se transforma la imagen a 8 bits usando la herramienta image- Type- 8 bits.
 - Se escala la imagen usando la herramienta Straight, para generar una línea sobre la escala conocida, - analyze -set scale – se introduce la escala conocida en este caso 100 cm – ok



- Se calcula los límites de análisis usando la herramienta Image – Adjust – Threshold- Deslazando los rangos de cobertura, se confirma que se seleccione las zonas en negro, modificándose así su color a rojo.

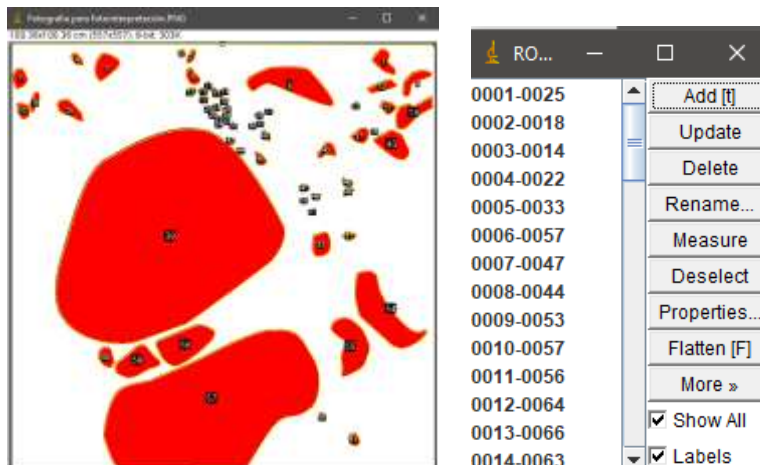
(Las partículas de bloques se observan con formas roca o color diferente a la matriz de suelo)

- Se realiza análisis de cada partícula usando las herramientas – Analyze – Analyze Particles (Si se requiere se puede cambiar el rango de las áreas que se requiere analizar). Se deja seleccionado display results, clear results, add to manager.



- Se presentará la imagen con una marca de conteo y se abrirá cuadro de resultados para cada conteo y área obtenida.

Figura 3-78: Interpretación del software ImagenJ para calculo y conteo de áreas.



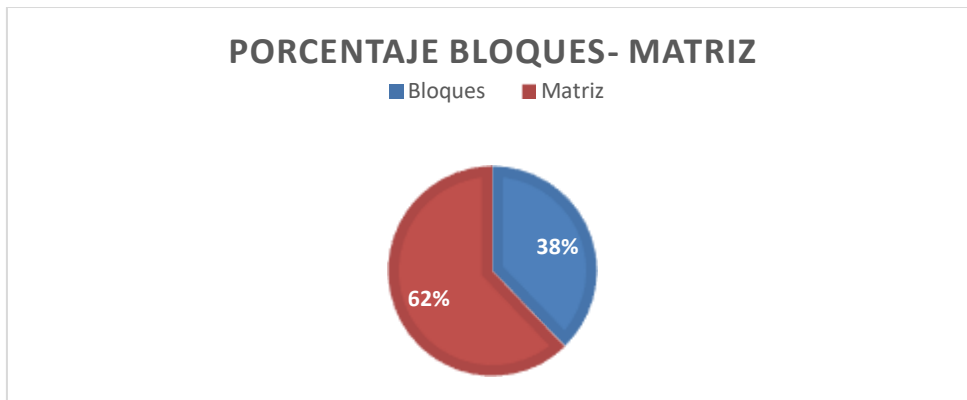
Fuente: La presente investigación.

- Se procesa la información transfiriendo los valores que resultan a una hoja de cálculo y se grafican como porcentajes de áreas, para ello se propone el uso de la siguiente tabla:

Tabla 3-21: Calculo de porcentaje de áreas en marco de referencia.

Descripción	Valor	Unidad	Porcentaje
Área total (T)			
Área de bloques (B)			
Área de matriz (M= T-B)			

Figura 3-79: Ejemplo calculo porcentaje bloque-matriz.



Fuente: La presente investigación.

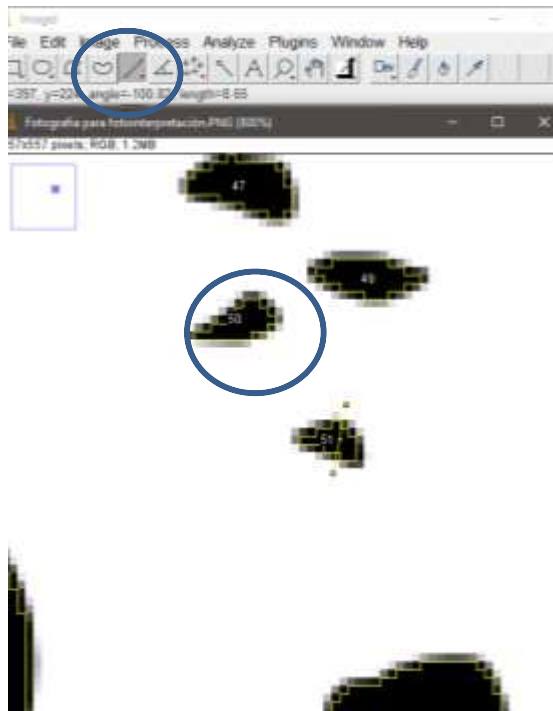
La información anterior se puede procesar por tamaños de bloques, como se propone en la siguiente tabla y gráfica:

Tabla 3-22- Cálculo de proporciones de tamaños.

Rango de Área cm2	Área cm2	Porcentajes	Tamaños	
			Máximo	Mínimo
entre rango 1 cm2				
entre rango 2cm2				
entre rango 3 cm2				

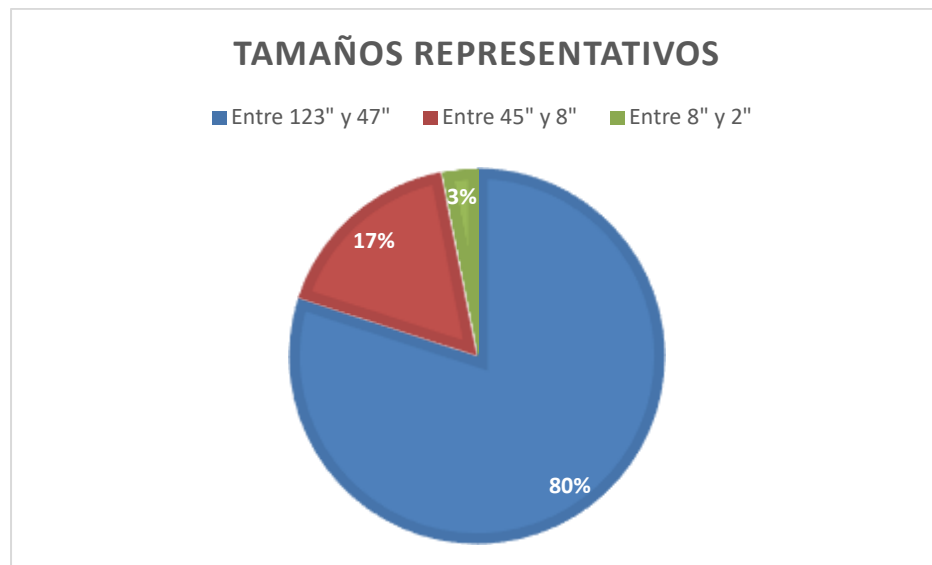
Dichos tamaños se pueden obtener mediante la herramienta Straight, y zoom sobre imagen y lectura sobre la barra, como se indica en la siguiente ilustración:

Figura 3-80: Herramienta sobre ImagenJ para cálculo de tamaños.



Fuente: La presente investigación.

Figura 3-81: Ejemplo cálculo de tamaños representativos.

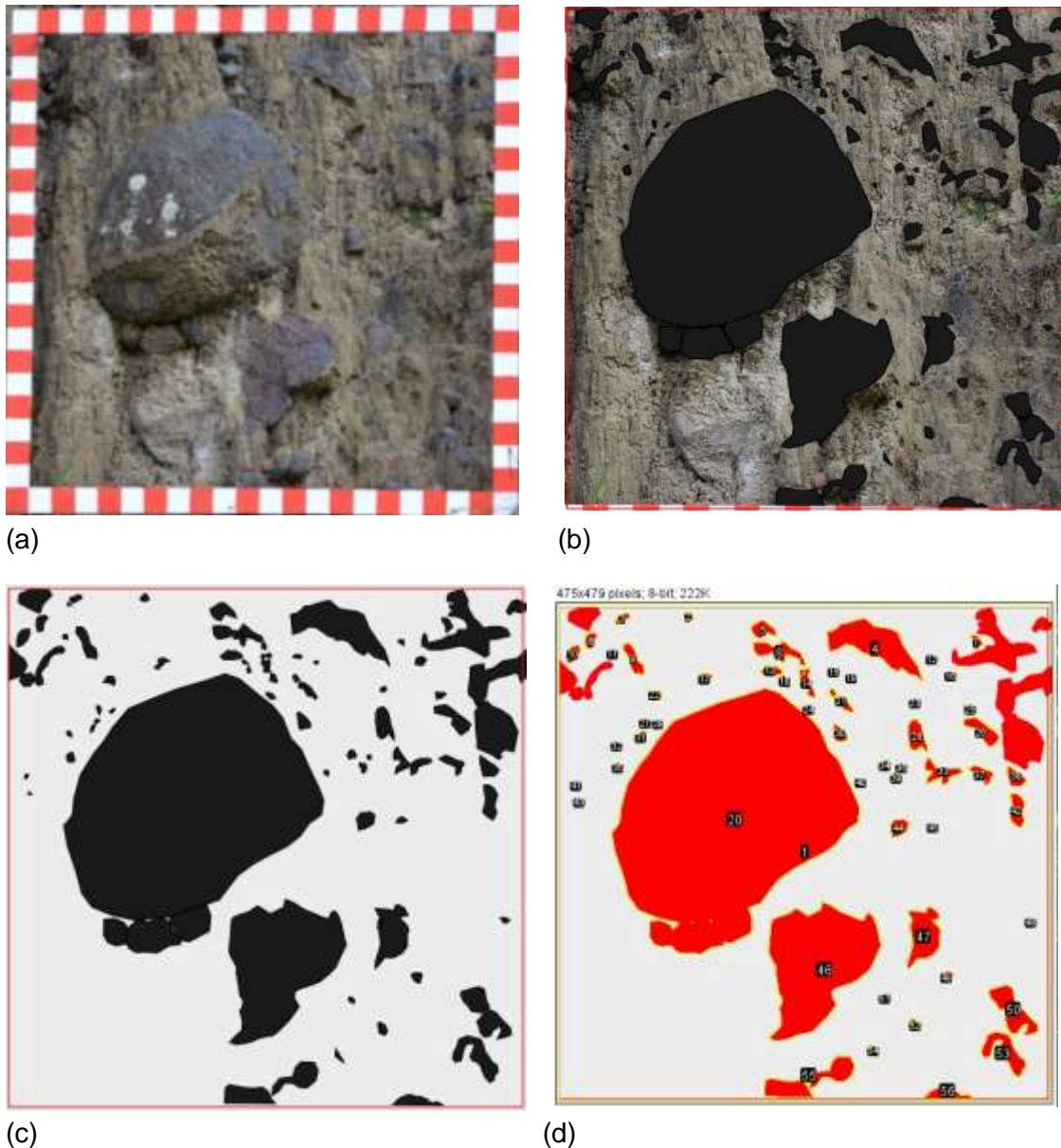


Fuente: La presente investigación.

3.5.2 Procesamiento de información para cálculo de proporción bloque-matriz

Se realiza el procedimiento descrito anteriormente para el cálculo de la proporción mediante procesamiento de imagen, para el **marco de estudio No 1**.

Figura 3-82: Procesamiento de imagen marco No 1 zona de estudio BIM Soil.



- (a) Fotografía en Área de estudio
- (b) Identificación de bloques
- (c) Transformación a imagen bloques-matriz
- (d) Procesamiento de Imagen en software

Fuente: La presente investigación.

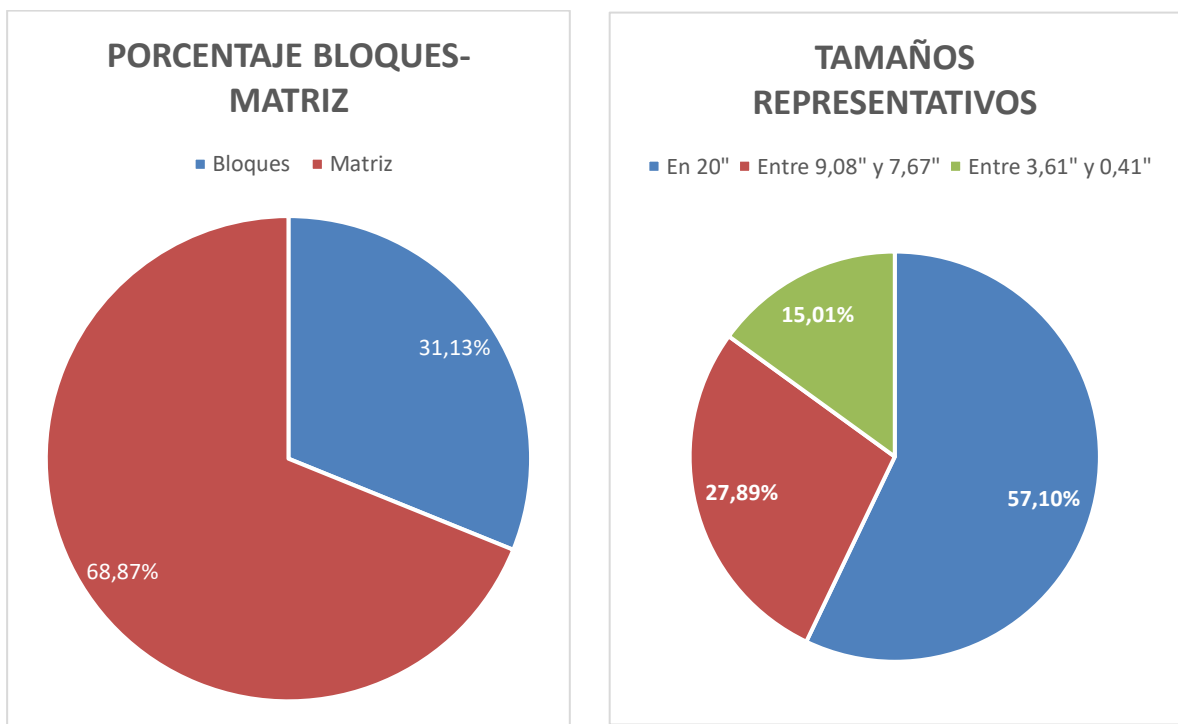
Tabla 3-23: Procesamiento de información marco de estudio No 1.

Rango de Area cm2	Area cm2	Porcentajes	Tamaños (Diámetros)			
			Máximo		Mínimo	
			cm	Pulgadas	cm	Pulgadas
entre 2000-1000 cm2	1777,588	57,10%	50,79	20,00	50,79	20,00
entre 1000-100 cm2	868,063	27,89%	23,06	9,08	19,47	7,67
entre 100-0 cm2	467,309	15,01%	9,17	3,61	1,05	0,41
TOTAL	3112,96					

Descripción	Valor	Unidad	Porcentaje
Área total (T)	10000	cm2	100,00%
Área de bloques (B)	3112,96	cm2	31,13%
Área de matriz (M= T-B)	6887,04	cm2	68,87%

Fuente: La presente investigación.

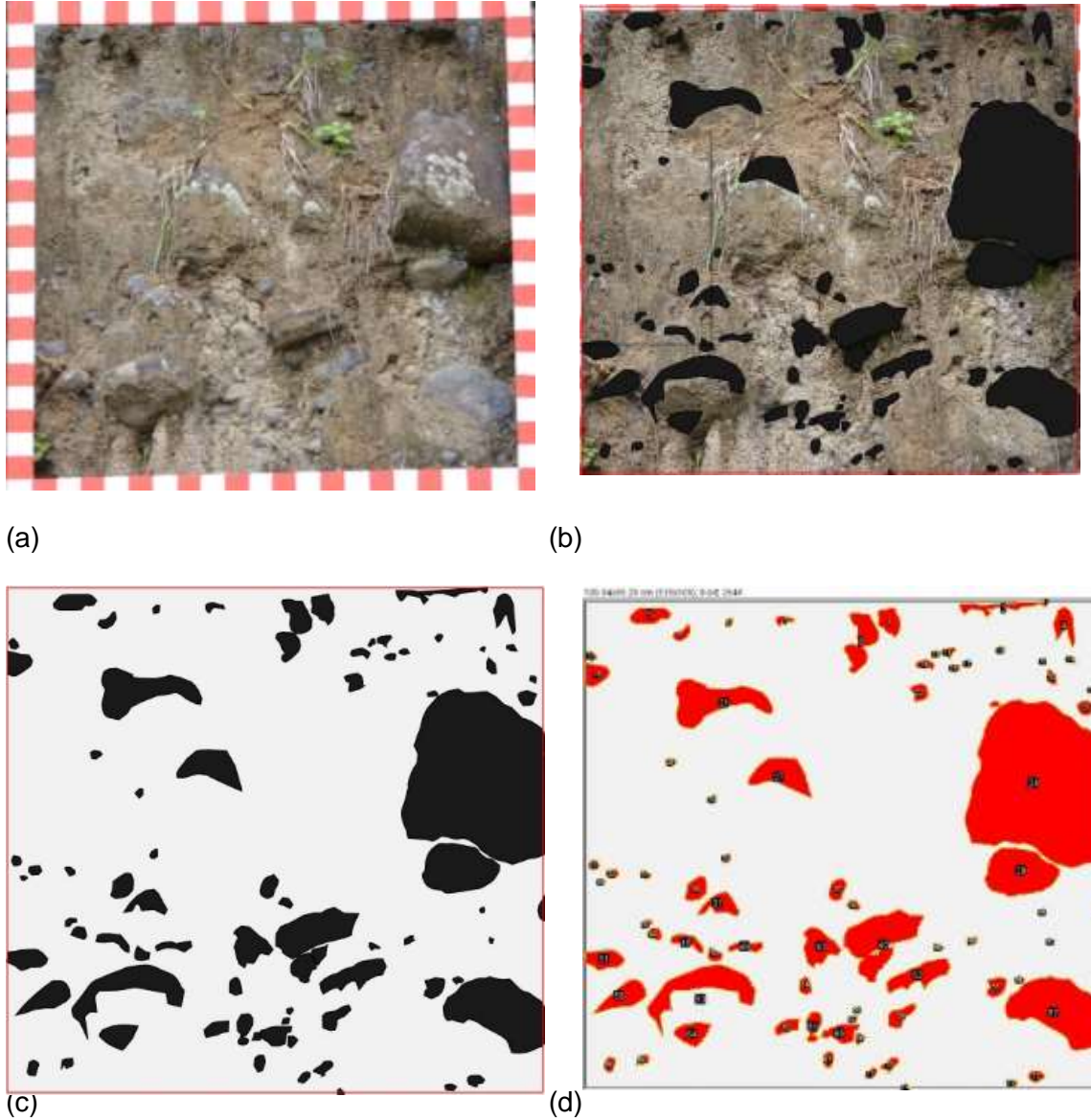
Figura 3-83: Graficas para análisis de porcentajes marco No 1.



Fuente: La presente investigación.

Se realiza el procedimiento descrito anteriormente para el cálculo de la proporción mediante procesamiento de imagen, para el **marco de estudio No 2**.

Figura 3-84: Procesamiento de imagen marco No 2 zona de estudio BIM Soil.



- (a) Fotografía en Área de estudio
 - (b) Identificación de bloques
 - (c) Transformación a imagen bloques-matriz
 - (d) Procesamiento de Imagen en software
- Fuente: La presente investigación.

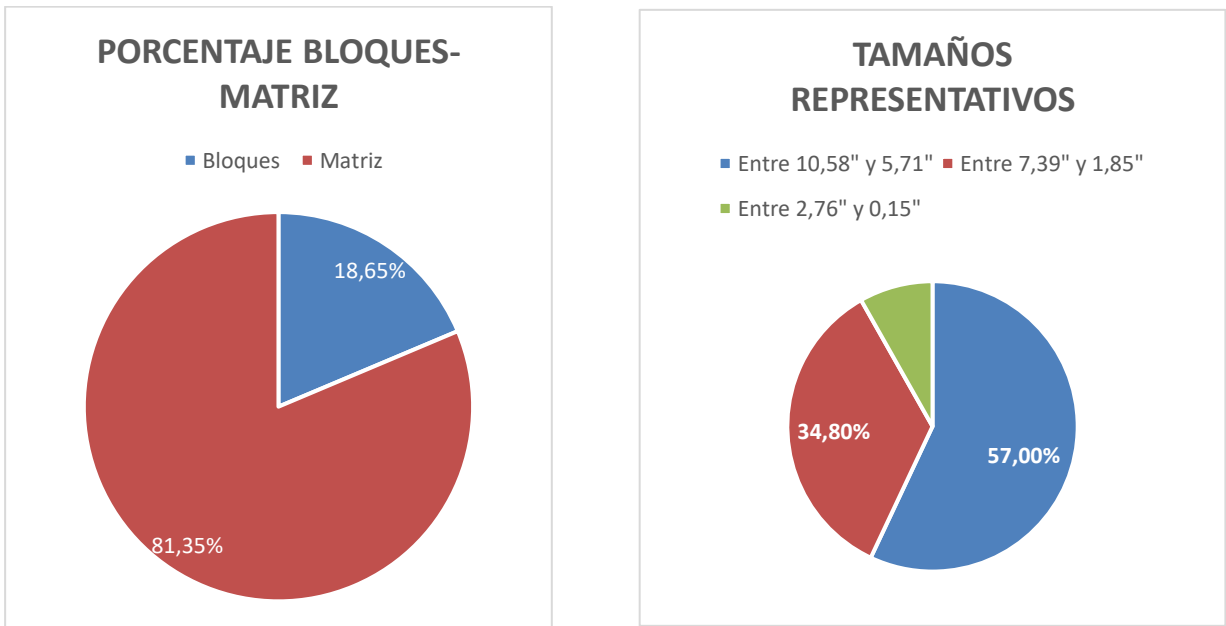
Tabla 3-24: Procesamiento de información marco de estudio No 2.

Rango de Área cm2	Área cm2	Porcentajes	Tamaños (Diámetros)			
			Máximo		Mínimo	
			cm	Pulgadas	cm	Pulgadas
entre 700-100 cm2	1063,139	57,00%	26,87	10,58	14,5	5,71
entre 100-10 cm2	649,084	34,80%	18,77	7,39	4,69	1,85
entre 10-0 cm2	152,834	8,19%	7	2,76	0,38	0,15
TOTAL	1865,057					

Descripción	Valor	Unidad	Porcentaje
Área total (T)	10000	cm2	100,00%
Área de bloques (B)	1865,057	cm2	18,65%
Área de matriz (M= T-B)	8134,943	cm2	81,35%

Fuente: La presente investigación.

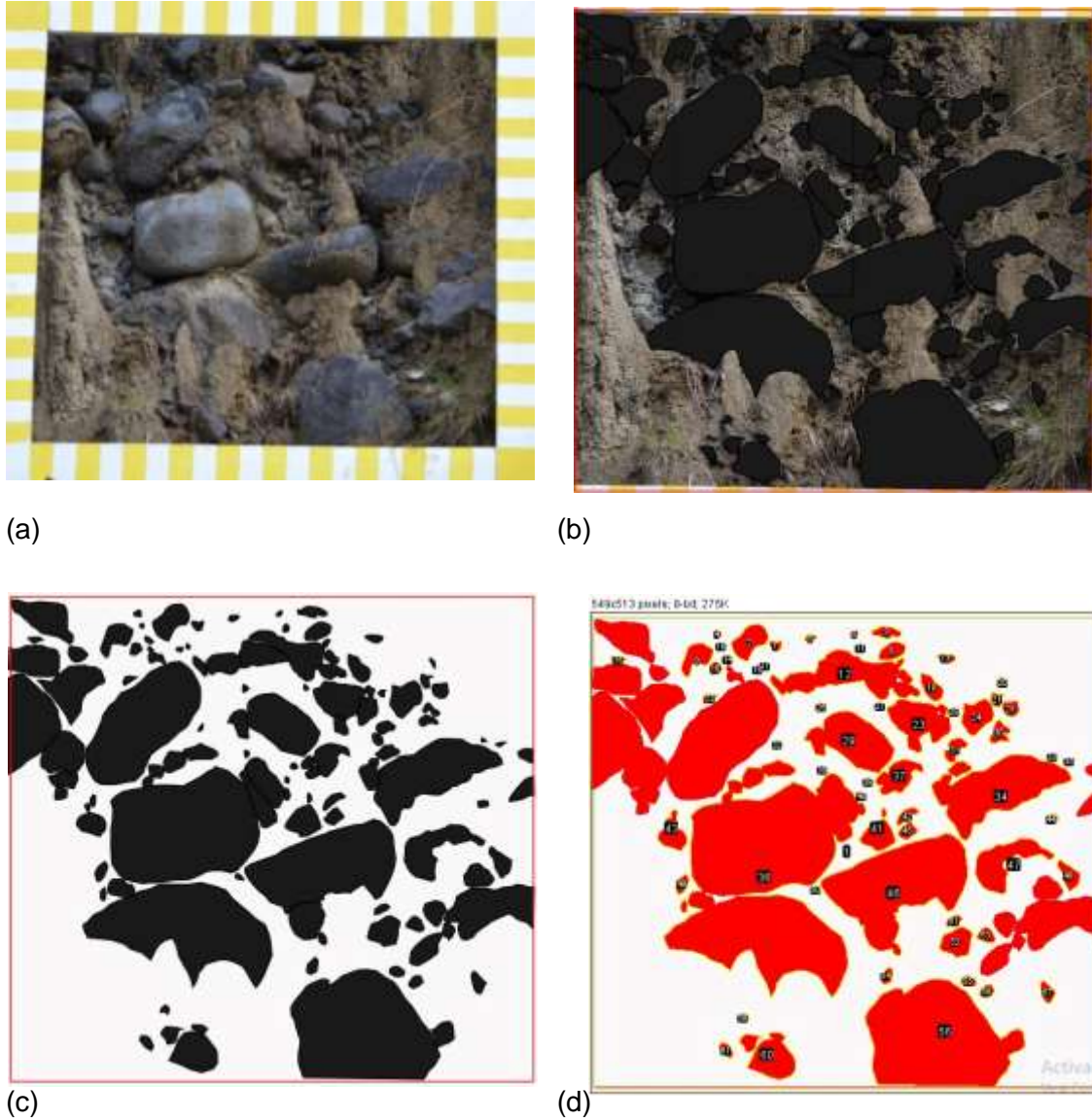
Figura 3-85: Graficas para análisis de porcentajes marco No 2.



Fuente: La presente investigación.

Se realiza el procedimiento descrito anteriormente para el cálculo de la proporción mediante procesamiento de imagen, para el **marco de estudio No 3**.

Figura 3-86: Procesamiento de imagen marco No 3 zona de estudio BIM Soil.



- (a) Fotografía en Área de estudio
 - (b) Identificación de bloques
 - (c) Transformación a imagen bloques-matriz
 - (d) Procesamiento de Imagen en software
- Fuente: La presente investigación.

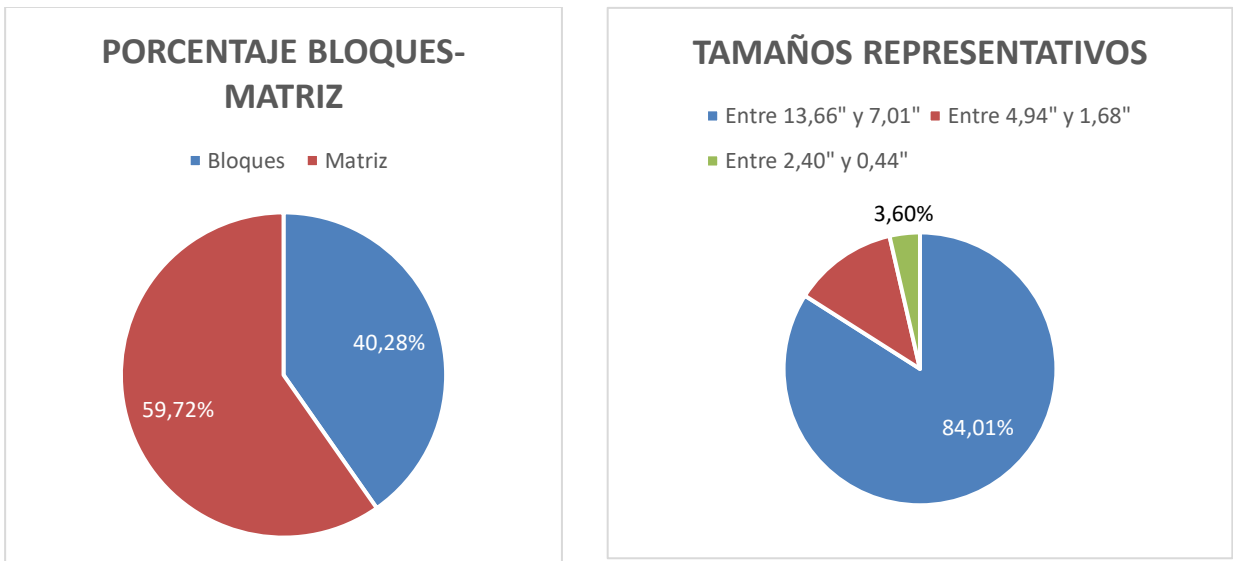
Tabla 3-25: Procesamiento de información marco de estudio No 2.

Descripción	Valor	Unidad	Porcentaje
Área total (T)	10000	cm ²	100,00%
Área de bloques (B)	4027,582	cm ²	40,28%
Área de matriz (M=T-B)	5972,418	cm ²	59,72%

Rango de Área cm ²	Area cm ²	Porcentajes	Tamaños (Diámetros)			
			Máximo		Mínimo	
			cm	Pulgadas	cm	Pulgadas
entre 1100-100 cm ²	3383,741	84,01%	34,69	13,66	17,81	7,01
entre 100-10 cm ²	499,041	12,39%	12,56	4,94	4,27	1,68
entre 10-0 cm ²	144,800	3,60%	6,09	2,40	1,11	0,44
TOTAL	4027,582					

Fuente: La presente investigación.

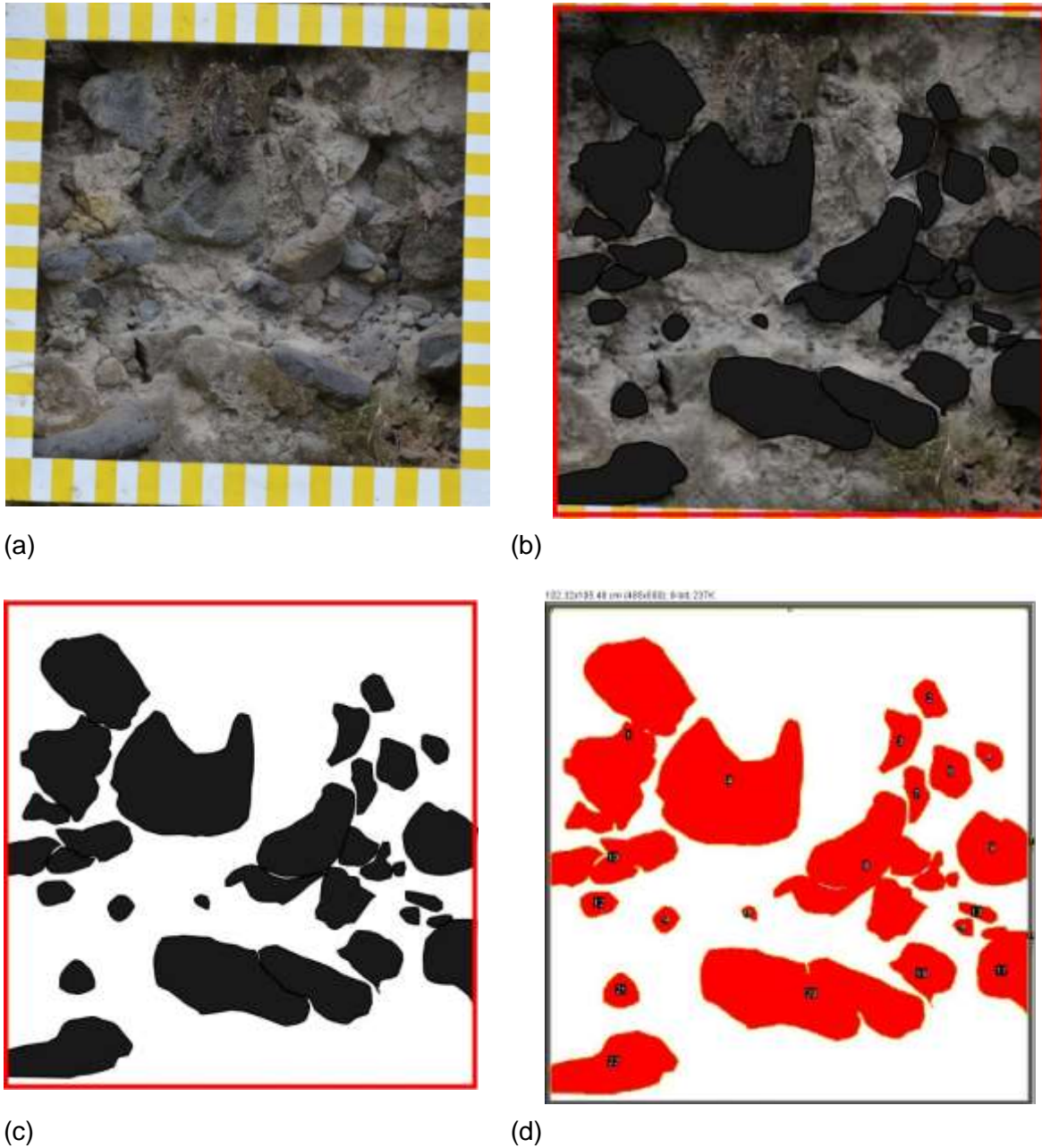
Figura 3-87: Graficas para análisis de porcentajes marco No 3.



Fuente: La presente investigación.

Se realiza el procedimiento descrito anteriormente para el cálculo de la proporción mediante procesamiento de imagen, para el **marco de estudio No 4**.

Figura 3- 88: Procesamiento de imagen marco No 1 zona de estudio BIM Soil.



- (a) Fotografía en Área de estudio
 - (b) Identificación de bloques
 - (c) Transformación a imagen bloques-matriz
 - (d) Procesamiento de Imagen en software
- Fuente: La presente investigación.

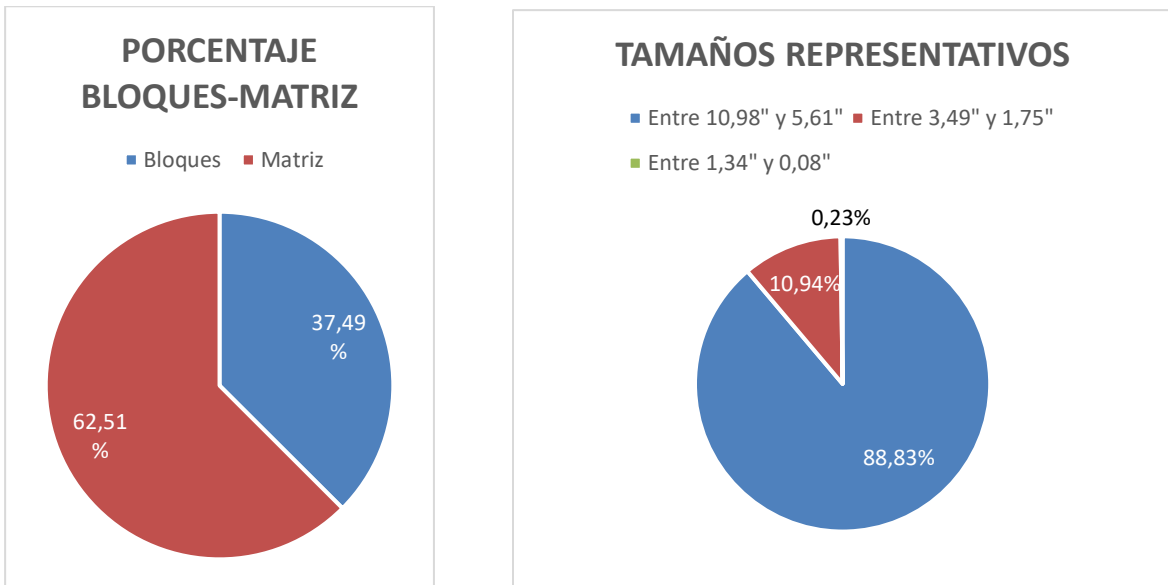
Tabla 3-26: Procesamiento de información marco de estudio No 2.

Descripción	Valor	Unidad	Porcentaje
Área total (T)	10000	cm ²	100,00%
Área de bloques (B)	3748,53	cm ²	37,49%
Área de matriz (M= T-B)	6251,47	cm ²	62,51%

Rango de Área cm ²	Área cm ²	Porcentajes	Tamaños (Diámetros)			
			Máximo		Mínimo	
			cm	Pulgadas	cm	Pulgadas
entre 700-100 cm ²	3329,969	88,83%	27,88	10,98	14,26	5,61
entre 100-10 cm ²	410,004	10,94%	8,87	3,49	4,45	1,75
entre 10-0 cm ²	8,557	0,23%	3,4	1,34	0,21	0,08
TOTAL	3748,53					

Fuente: La presente investigación.

Figura 3-89: Graficas para análisis de porcentajes marco No 4.



Fuente: La presente investigación.

3.6 Procesamiento de fotografías mediante software Scion Image.

El programa Scion Image es propiedad de la compañía Scion Corporation de uso gratuito y puede ser utilizado para capturar, mostrar, analizar, mejorar, realizar mediciones y anotar imágenes digitales. Existe un manual que puede ser descargado gratuitamente, así como su versión Beta 4.0.2 (No requiere instalación).

3.6.1 Procedimiento cálculo de proporción bloque- matriz.

Mediante el uso del programa indicado en el manual del software Scionimage Beta 4.0 y asesorías externas con profesionales del medio se adapta el siguiente procedimiento. (Scion Corporation, 1998)

Paso 1 – Se usa software para manipulación de imágenes como Photoshop ®.

Paso 2 – Se recorta el área dentro del marco de referencia, se selecciona en la barra superior Imagen y luego con la herramienta recortar se marca el área al interior del marco.

Paso 3 – Con el fin de tener una imagen comparativa se duplicar la imagen, presionando en la barra superior Imagen y luego duplicar (Dejar ambas del mismo tamaño).

Paso 4 – Se transformar la copia a escala de grises seleccionando: Imagen – Modo - Escala de grises.

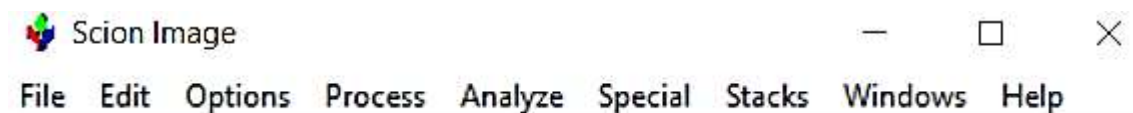
Paso 5 – Se puede invertir los colores para facilidad de vista de la imagen, dejando la matriz en blancos o negros como mejor se interprete, para ello se selecciona: Imagen - Ajustes - Invertir.

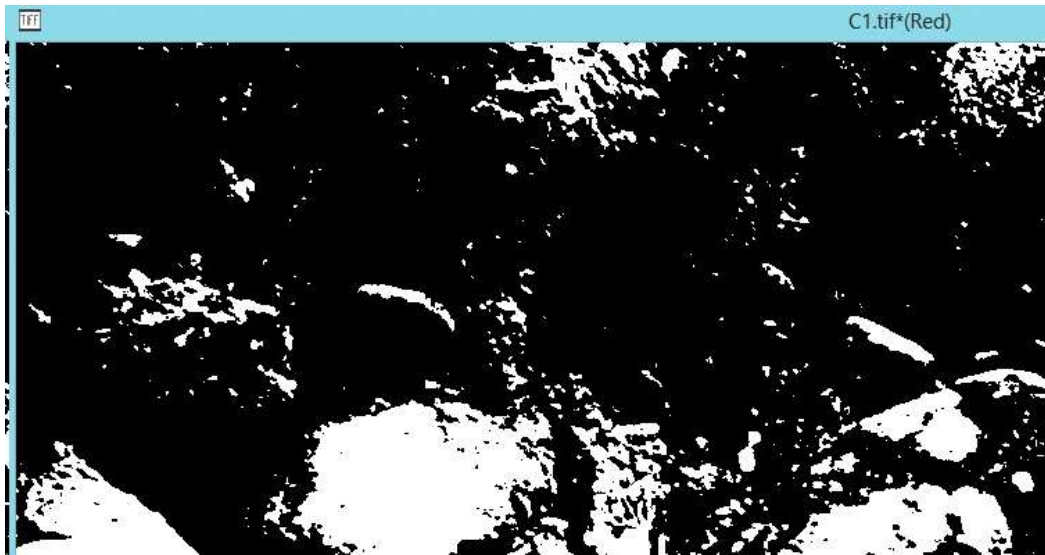
Paso 6 – Con el fin de que las áreas negras y blancas se acerquen a la realidad se ajusta la el umbral de la fotografía comparando la imagen en blancos y negros con la original, para ello se selecciona: Imagen - Ajustes - Umbral.

Paso 7 – Se guarda la imagen en formato Tiff, para ello se selecciona: Archivo- guardar como-se selecciona formato Tiff (no se comprime la imagen).

Paso 8 – Se abre el programa Scion y luego se abre la imagen previamente guardada en formato Tiff,

Figura 3-90: Paso 8 funcionamiento en Scion Imagen procesamiento de imágenes

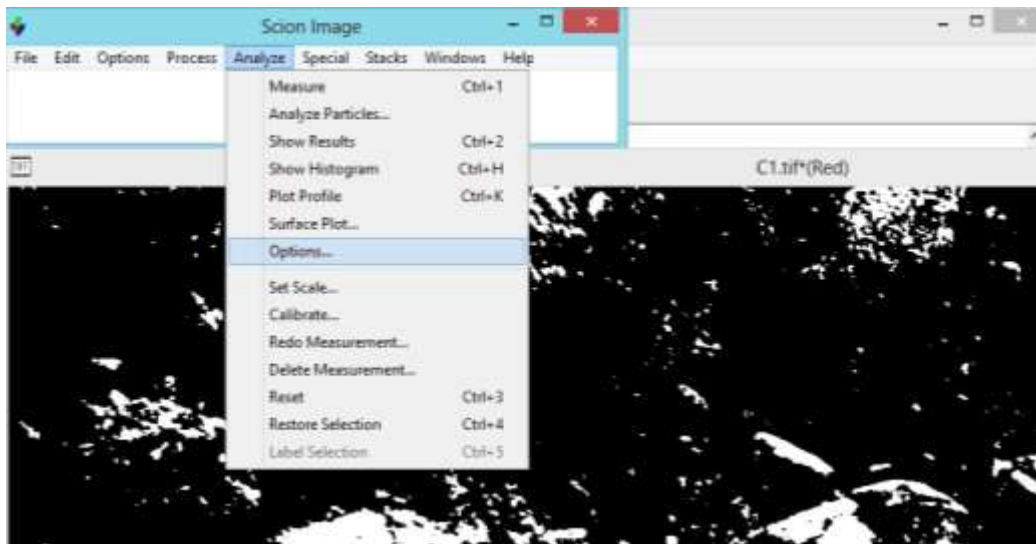




Fuente: La presente investigación tomado del uso del software.

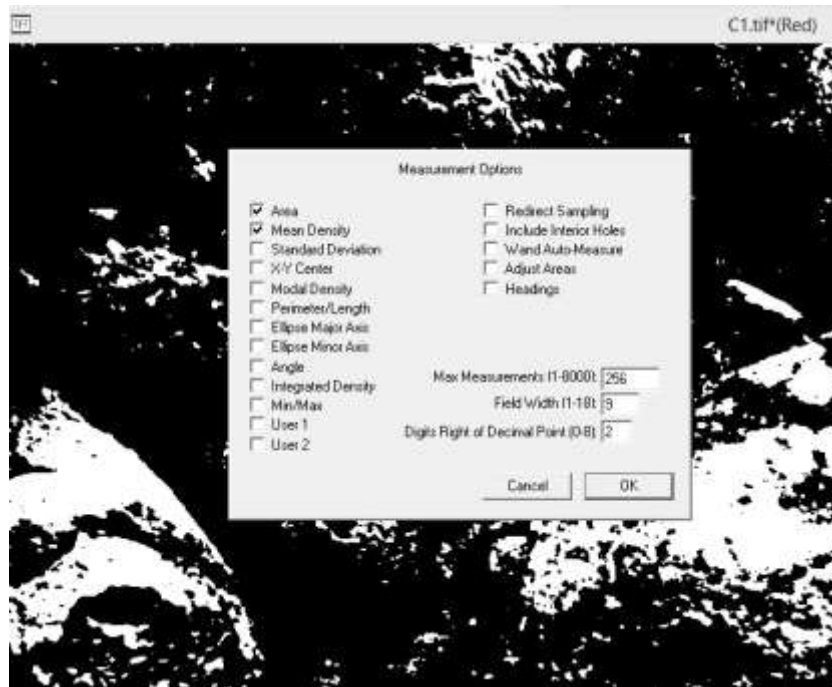
Paso 9 – Se selecciona: Analizar - Opciones en el cuadro se marcara Área y densidad media, como se observa en las siguientes imágenes.

Figura 3-91: Paso 9 funcionamiento en Scion Imagen procesamiento de imágenes.



Fuente: La presente investigación tomado del uso del software.

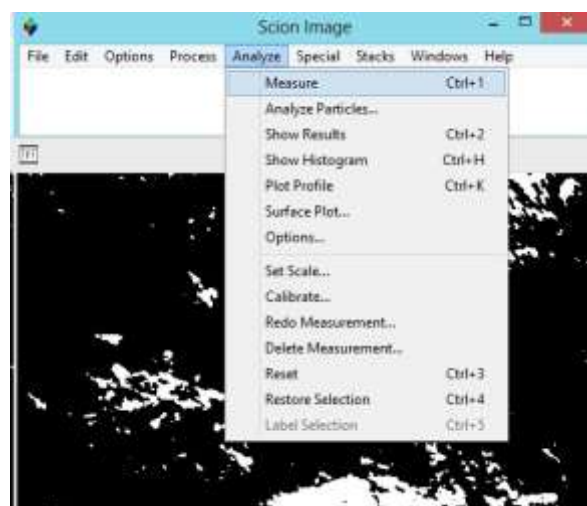
Figura 3-92: Paso 9 funcionamiento en Scion Imagen procesamiento de imágenes.



Fuente: La presente investigación tomado del uso del software.

Paso 10 – Se selecciona: Analizar (analze) – Medir (measure): da el área total (se anota el resultado llamado en este caso se llamará A al valor total, B al valor en blancos y N al valor en negros).

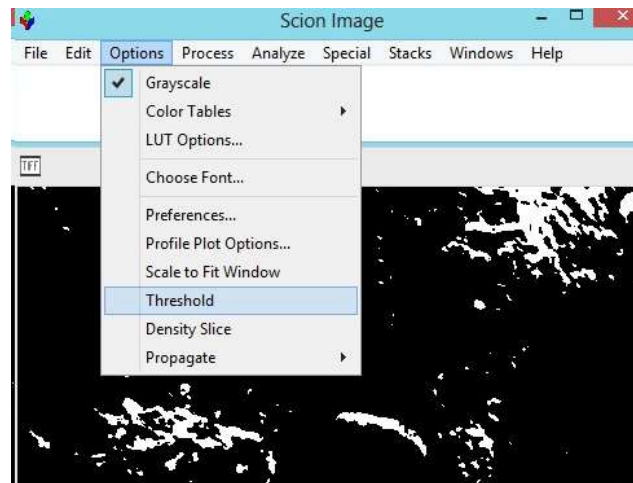
Figura 3-93: Paso 10 funcionamiento en Scion Imagen procesamiento de imágenes.



Fuente: La presente investigación tomado del uso del software.

Paso 11 – Se selecciona: Opciones – Umbral (Threshold)

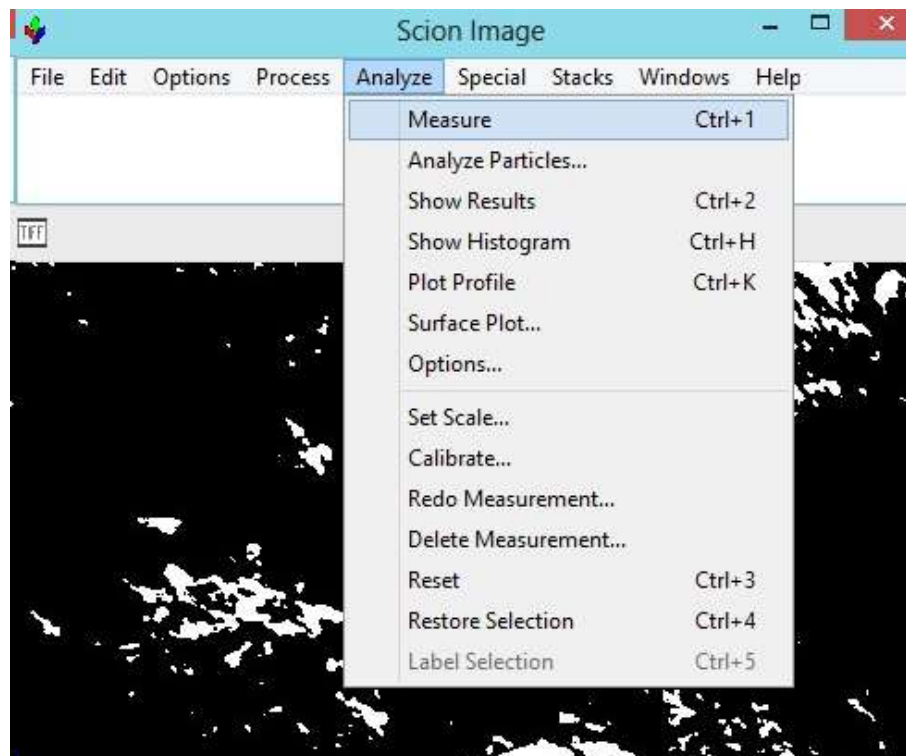
Figura 3-94: Paso 10 funcionamiento en Scion Imagen procesamiento de imágenes.



Fuente: La presente investigación tomado del uso del software.

Paso 12 – Se selecciona: Analizar – Medir (Meansute) se anota el resultado, ese será el valor del área en negro.

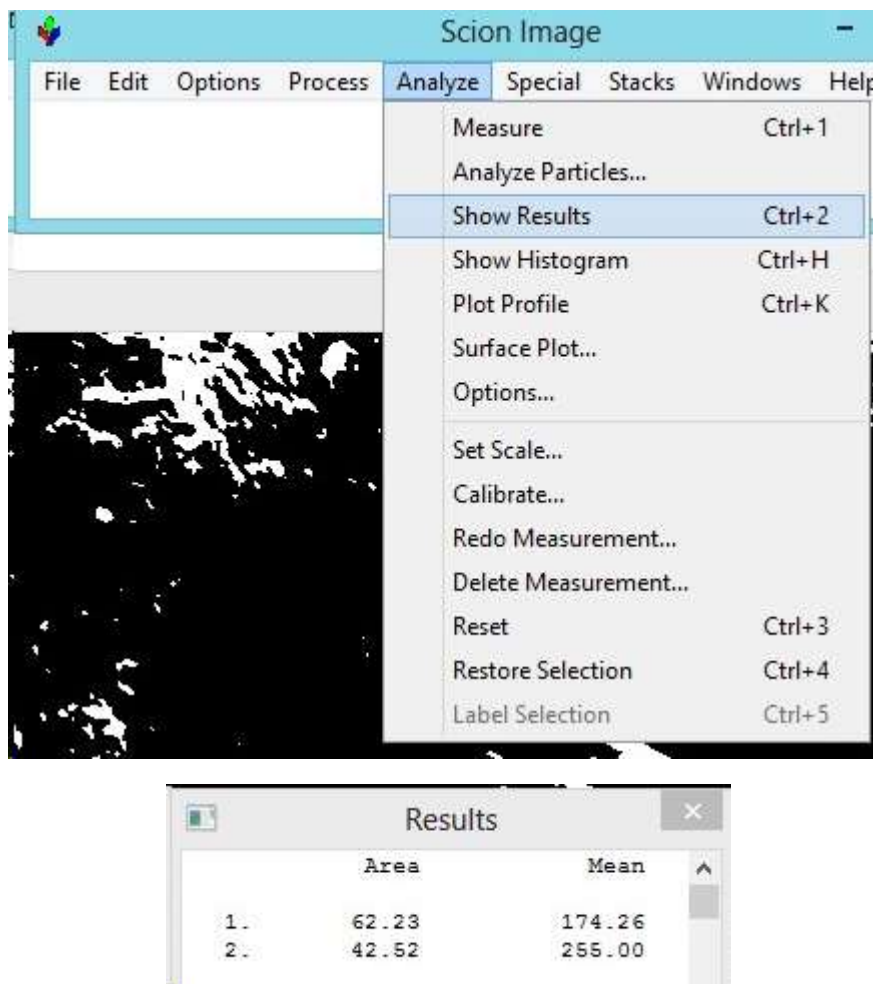
Figura 3-95: Paso 12 Paso 10 funcionamiento en Scion Imagen procesamiento de imágenes.



Fuente: La presente investigación tomado del uso del software.

Paso 13 – Si se quiere se podrá observar los resultados obtenidos en la opción así; Analizar, mostrar resultados (show results)

Figura 96 Paso 13 funcionamiento en Scion Imagen procesamiento de imágenes.



Fuente: La presente investigación tomado del uso del software.

Paso 14- Se calcular el porcentaje en base a los resultados de $(A= N+B)$. $\%N= N/A *100$

3.6.2 Procesamiento de información para cálculo de proporción bloque-matriz

Figura 3-97: Imagen procesada a blancos y negros marco 1.



Fuente: La presente investigación.

Figura 3-98: Imagen procesada a blancos y negros marco 2.



Fuente: La presente investigación.

Figura 3-99: Imagen procesada a blancos y negros marco 3.



Fuente: La presente investigación.

Figura 3-100: Imagen procesada a blancos y negros marco 4.



Fuente: La presente investigación.

3.7 Resultados del cálculo de proporción bloque-matriz

Se presentan los resultados para el cálculo de la proporción mediante procesamiento de imagen.

Figura 3-101 Localización de puntos toma GigaPan (r).



Fuente: La presente investigación.

Se indican los resultados obtenidos para la determinación de porcentajes bloque matriz, así:

Tabla 3-27: Porcentajes bloque-matriz en marcos de referencia mediante Imagen J

Punto de análisis	Matriz	Bloques	Total	Tamaño máximo	Tamaño mínimo	Relación de tamaños
Punto 1	31,13%	68,87%	100,00%	50,79	1,05	0,021
Punto 2	18,65%	81,35%	100,00%	26,87	0,38	0,014
Punto 3	40,28%	59,72%	100,00%	34,69	1,11	0,032
Punto 4	37,49%	62,51%	100,00%	27,88	0,21	0,008
Promedio	31,89%	68,11%	100,00%			

Fuente: La presente investigación.

Tabla 3-28: Porcentaje de bloque-matriz en marcos de referencia Scion Imagen

Punto de análisis	A Valor total	N Valores negros	B Valor Blancos	%N Porcentaje negros Bloques	%B Porcentaje Blancos Matriz
Punto 1	51,96	36,05	15,91	69,4%	30,6%
Punto 2	62,23	42,52	19,71	68,3%	31,7%
Punto 3	70,29	52,31	17,98	74,4%	25,6%
Punto 4	65,00	55,37	9,63	85,2%	14,8%
Promedio				74,3%	25,7%

Fuente: La presente investigación.

Del cuadro anterior se puede concluir:

- Se observa que entre la interpretación de imágenes en el software imagen J y Scion image existe una diferencia en el porcentaje que representa los bloques y la matriz lo anterior debido a la subjetividad en quien usa el software en este caso siendo la misma persona se concluye porcentajes diferentes, por lo anterior se recomienda para la disminución del error generar iteraciones en el procesamiento de las fotografías para disminuir el error entre ambo programas y generar un mayor número de muestras.
- Para el talud analizado, el comportamiento mecánico no estaría determinado únicamente por la matriz, puesto que el porcentaje de bloques tiende al 68%%, y según (Lindquist, 1994) o (Medley, 1994) cuando el porcentaje de bloques está en un rango entre el 25% y el 75% el comportamiento mecánico es un conjunto entre los parámetros mecánicos como cohesión y ángulo de fricción tanto de los bloques como de la matriz.
- Para el caso del terreno de los bloques de roca y la matriz de suelo, por los dos métodos de fotointerpretación se observó que estarían dentro del rango de los límites del 25% y 75% de bloques, inciden sobre la resistencia del mismo, tanto el ángulo de fricción y cohesión de matriz, como el ángulo de fricción de los bloques. En un caso hipotético, el ángulo de fricción aumentaría a medida que la cantidad de bloques pequeños de roca aumente, y disminuiría la cohesión a medida que el comportamiento del conjunto tienda a ser un bimrock.

- Finalmente, una de las recomendaciones geotécnicas para garantizar la estabilidad del terreno a largo plazo sería garantizar el trabajo conjunto de ambos elementos. Por ello, si bien un análisis de estabilidad indica una estabilidad del talud, se deberán realizar obras civiles tales que garanticen el trabajo conjunto del bloque matriz evitando el desprendimiento de bloques o de matriz a causa de la meteorización, entre las opciones para evitar dicha meteorización estarían las mallas triple torción ancladas, protecciones de mantos verdes, concretos lanzados, etc.
- Es importante resaltar que las soluciones geotécnicas que se propongan deben estar fundamentadas técnicamente considerando asentamientos, desplazamientos, periodos de diseño entre otros, algunos ejemplos y ampliaciones de teorías las expone el autor (Bowles, 1997)

3.7.3 Caracterización mediante el método de Brand

Uno de los métodos propuestos para clasificación de horizontes corresponde al propuesto por Brand en el año 1998 publicado en “Guide to Rock and Soil Descriptions ,Geoguide 3. Hong Kong”, asignando el porcentaje de roca respecto a la matriz, es importante mencionar que este tipo de clasificaciones son comunes en Colombia al estar localizada en la región tropical o en los llamados suelos tropicales.

Tabla 3-29 Clasificación suelo roca método de Brand

Descripción de la zona	Símbolo	Características de la zona
Suelo residual	RS	Es un suelo residual derivado de la meteorización in situ, la estructura de la masa, la textura y la fábrica del material están completamente destruidas, es 100% suelo.
Roca parcialmente meteorizada 0/30% roca	PW 0/30	Tiene menos de un 30% de roca, el suelo preserva la estructura y fábrica del material parental. El contenido de roca no afecta el desempeño al esfuerzo cortante de la masa, pero las discontinuidades heredadas si pueden llegar a influenciarlo (saprolito).
Roca parcialmente meteorizada 30/50% roca	PW 30/50	Posee de un 30% a 50% de contenido de roca. El contenido de roca y las discontinuidades heredadas afectan su resistencia al esfuerzo cortante.

Descripción de la zona	Símbolo	Características de la zona
Roca parcialmente meteorizada 50/90% roca	PW 50/90	50% a 90% de contenido de roca. Posee una estructura entrelazada de discontinuidades.
Roca parcialmente meteorizada 90/100% roca	PW 90/100	Posee un volumen de roca mayor a 90%, se presenta una pequeña cantidad de material convertido a suelo a lo largo de las discontinuidades.
Roca fresca	UW 100% roca.	Puede presentarse una pequeña decoloración a lo largo de las discontinuidades.

PW= Parcialmente meteorizado del inglés "*Partially weathered*"

UW= No meteorizado del inglés "*Not weathered*"

Fuente: (Brand, 1998)

De la tabla anterior para el caso de estudio se clasificará como: Roca parcialmente meteorizada 50/90% roca

Nota: Para el caso de litologías volcánicas, la formación de mezclas bloque-matriz esta dada por el origen geológico independientemente de la meteorización a la cual pueda verse expuesta por las condiciones propias de la meteorización como son factores climáticos, biológicos, químicos, entre otros.



4. Influencia de la proporción bloque-matriz en la estabilidad de taludes.

Para la geotecnia vial, conocer los parámetros de resistencia y topografía del sector permite calcular el factor de seguridad, con dicho valor se analizar si un talud es estable o inestable. A su vez si de determinar la influencia de la proporción bloque-matriz por medio del porcentaje de bloques, permite general un modelo que satisfaga la necesidad de las obras conforme el terreno de la manera más eficiente, eficaz y económica, se analiza la influencia de porcentaje de bloques en matriz en los siguientes numerales.

4.1 Asignación de valores característicos a las litologías

Primero: Partiendo del registro fotográfico en las litologías identificada, en la siguiente tabla se establece nomenclatura para los estratos litológicos y su comportamiento en relación a porcentaje bloque-matriz, más probable.

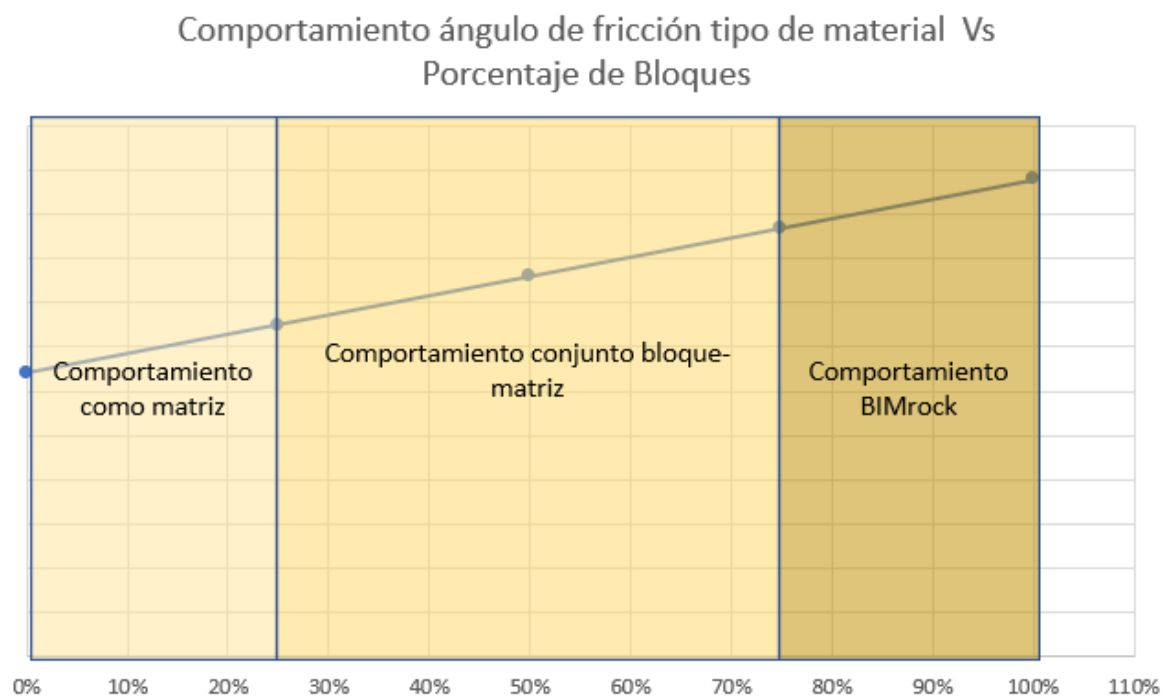
Tabla 4-30: Comportamiento según el tipo de material

Litología	Estrato	Fotografía	Material
TQvf Flujo de Cenizas y Pumitas	Estrato 3		Bloque-Matriz
TQvi Lavas Matriz	Estrato 2B		Matriz
TQvi Lavas BIM	Estrato 2A		Bloque Matriz
Roca de Rigidez Media	Estrato 1		BIM rock

Fuente: La presente investigación.

Segundo: Se construye grafica comportamiento según el tipo de material para ángulo de fricción vs porcentaje de bloques, se establecen los limites en el cambio de comportamiento al 25% y al 75% como lo recomienda (Lindquist, 1994)

Figura 4-102: Grafica comportamiento ángulo de fricción tipo de material Vs porcentaje de bloques.



Fuente: La presente investigación.

Tercero: Se establece un rango de parámetros posibles máximos y mínimos para el sector de estudio respecto al comportamiento del ángulo de fricción según tipo de material, se usa como criterio en límite superior los parámetros establecidos por la ANI en la siguiente tabla.

Tabla 4-31: Parámetros geotécnicos ANI

Descripción	ϕ (°) Angulo de fricción	C (ton/m ²)	C (KPa)
Bloque de roca porifica meteorizada de color gris, con presencia de ceniza volcánica de grano medio y gravas, vetas negras.	42,0	1,13	11,1
Limo arenoso arcilloso	32,0	0	0
Suelo muy denso	54,5	0	0
Arena de grano grueso	42,0	0,41	4,06

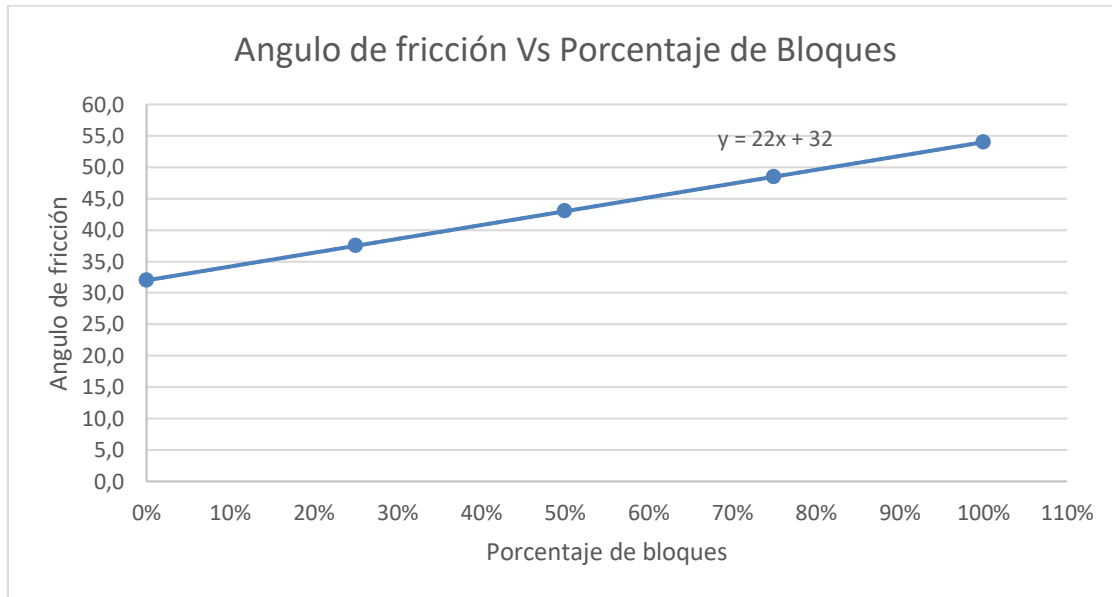
Fuente: (ANI, 2019)

Valor máximo para ángulo de fricción: 32

Valor mínimo para ángulo de fricción: 54

Cuarto: Se construye grafica variación ángulo de fricción Vs porcentaje de bloques, se usa como criterio en límite superior los parámetros establecidos por la ANI en la siguiente tabla.

Figura 4-103: Grafica variación ángulo de fricción Vs porcentaje de bloques



Fuente: La presente investigación.

Quinto: Se lee los valores para ángulo de fricción de las grafica construida en numeral anterior, usando la ecuación de la gráfica anterior, para los diferentes porcentajes de bloques según las litologías observadas en campo.

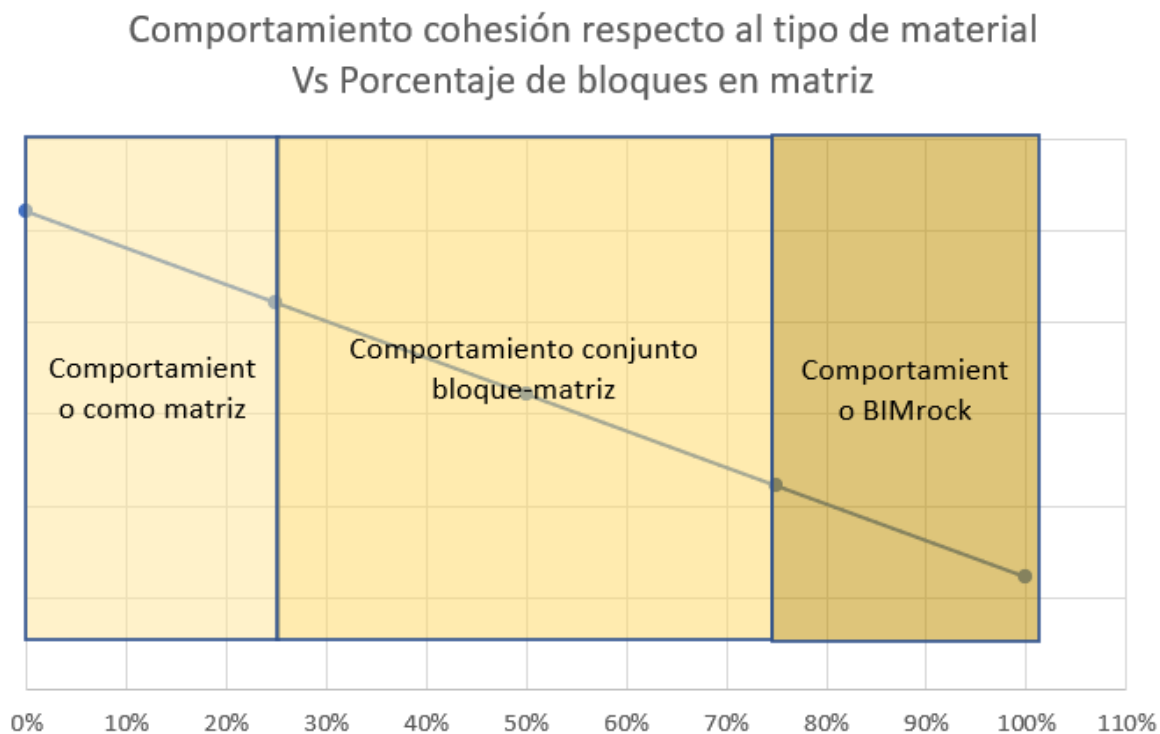
Tabla 4-32: Asignación de ángulo de fricción a litologías volcánicas.

Descripción	Porcentaje de bloques	ϕ (°) Angulo de fricción °
TQvf Flujo de Cenizas y Pumitas	40%	41,0
TQvl Lavas Matriz	20%	36,0
TQvl Lavas BIM	68%	47,0
Roca de Rigidez Media	10%	52,0

Fuente: La presente investigación.

Sexto: Se construye grafica comportamiento según el tipo de material para cohesión vs porcentaje de bloques, se establecen los limites en el cambio de comportamiento al 25% y al 75% como lo recomienda (Lindquist, 1994)

Figura 4-104 Grafica comportamiento cohesión vs porcentaje de bloques acorde al tipo de material



Fuente: La presente investigación.

Séptimo: Se establece un rango de parámetros posibles máximos y mínimos para el sector de estudio respecto al comportamiento de la cohesión según tipo de material, se usa como criterio en límite superior los parámetros establecidos por la ANI en la siguiente tabla.

Tabla 4-33: Valores geotécnicos asignados por la concesionaria unión vial del sur.

Roca	γ	σ_c	GSI	mi	D	C'	ϕ'
	KN/m ³	MPa				KN/m ²	°
Andesita	24.5	20	55	25	0.7	261	50
TQsv IIB	19.0	10	50	19	0.7	189	39
TQsv IIA	19.0	6.5	45	19	0.7	142	33
Aglomerado IIB	21.0	15	50	19	0.7	165	45
Aglomerado IIA	19.0	5.0	45	19	0.7	119	32

Fuente: (Union Vial del sur, 2023)

Se toma como límite valor máximo el valor de la andesita para el 0% de bloques siendo el 100% la cohesión cero, se grafica con los puntos de la siguiente tabla.

Tabla 4-34: Valores geotécnicos asignados por la ANI.

Tipo de material	C'		ϕ' °
	T/m2	KN/m2	
Bloque de roca porfirica meteorizada de color gris, con presencia de ceniza volcánica de grano medio y gravas color café vetas negras	5 Ver nota 1	49	33

Nota 1: Parámetro de resistencia obtenido en el informe de DEVINAR para la evaluación de cimentación de pilas en el puente Guáitara, dado que los sondeos realizados en el 2008 se encuentran en esta zona.

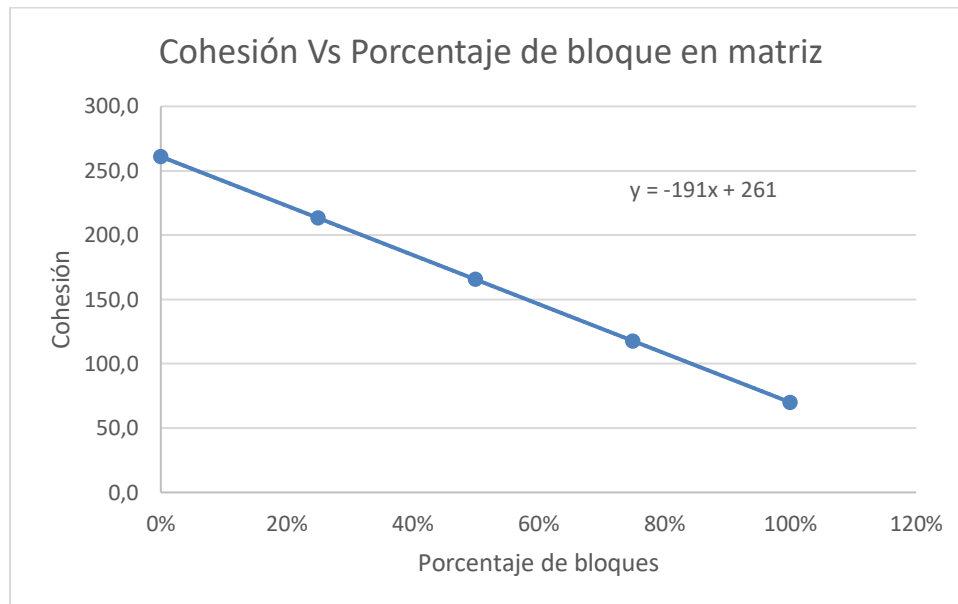
Nota 2: Se realiza una corrección en el valor dado que en la calibración del modelo el uso de 49 KN/m2 se presentaba una inestabilidad en condiciones naturales sobre el perfil No 4, por ello dado que el rango de cohesión es mas alto se aumenta la cohesión hasta la estabilidad del perfil No 4 con una cohesión de 70 KN/m2

Octavo: Se construye grafica variación cohesión Vs porcentaje de bloques, usando los rangos establecidos en el numeral anterior y leyéndose de la gráfica obtenida.

Tabla 4-35: Variación cohesión Vs porcentaje de bloques

Porcentaje de bloques	Cohesión KPa	Comportamiento
0%	261,0	Matriz
25%	213,3	Bloque matriz
50%	165,5	Bloque matriz
75%	117,8	Bloque matriz
100%	70,0	BIM rock

Fuente: La presente investigación.

Figura 105 Grafica variación ángulo de fricción Vs porcentaje de bloques

Fuente: La presente investigación.

Noveno: Se lee de la gráfica anterior los valores correspondientes a cada porcentaje bloque matriz según las litologías volcánicas establecida para los perfiles.

Tabla 4-36:Asignación de cohesión a litologías volcánicas

Descripción	Porcentaje de bloques	Cohesión KPa
TQvf Flujo de Cenizas y Pumitas	40%	185,0
TQvl Lavas Matriz	20%	223,0
TQvl Lavas BIM	68%	131,0
Roca de Rigidez Media	90%	89,0

Fuente: La presente investigación.

Con la asignación de parámetros geotécnicos a los materiales se propone realizar análisis de estabilidad de taludes y con ello identificar la incidencia de la proporción bloque-matriz.

Partiendo de la información suministrada por parte de la (ANI, 2019) y (Union Vial del sur, 2023), se asignan parámetros de resistencia mecánica en base a los siguientes criterios:

- 1- Rangos establecidos según información existente de la zona para caracterización geotécnica del sector: peso unitario, ángulo de fricción y cohesión
- 2- Altura para el cambio de estratos usando la línea sísmica realizada en la zona y topografía levantada con dron en el sector.
- 3- Influenciada por inspección visual en campo si cuenta o no con presencia de bloques en matriz.
- 4- Aumento o disminución del porcentaje bloque matriz para asignación de cohesión y ángulo de fricción.

Tabla 4-37: Resumen parámetros empleados y criterios para calibración de modelo.

		Porcentaje de bloques	Peso unitario natural	Angulo de fricción	Cohesión	Tipo de perfil	Criterio para asignación de parámetros
Descripción	Estrato		KN/m3	°	KPa		
TQvf Flujo de Cenizas y Pumitas	Estrato 3	40%	19	41,00	185,00	Perfil Tipo C Suelos muy densos o roca blanda	Corresponde a un estrato con propiedades mecánicas similares al estrato TQVL cuenta con un mayor porcentaje de bloques-matriz por lo anterior mayor ángulo de fricción, su cohesión se considera similar al estrato TQVL.
TQvl Lavas Matriz	Estrado 2B	20%	19	36,00	223,00		Corresponde a un estrato con baja presencia de bloques y con una mayor proporción de matriz
TQvl Lavas BIM	Estrato 2A	68%	19	47,00	131,00		Corresponde a un estrato con proporción bloque matriz del 68% matriz 32% de bloques, considerándose en base a criterio de autores como liquinds o medley con un mayor ángulo de fricción y una menor fricción que un estrato netamente de matriz.
Roca de Rigidez Media	Estrato 1	90%	19	52,00	89,00	Perfil Tipo B Roca de Rigidez Media	Corresponde a un estrato según línea sísmica bajo los 1730 msnm considerándose como el estrato con mayores propiedades de resistencia mecánica. Se realiza corrección en valor de ángulo de fricción para el estrato de roca de rigidez media puesto que según análisis dados por concesionaria el ángulo de fricción para el estrato corresponde a 50

Fuente: La presente investigación.

4.2 Construcción secciones de estudio

Topografía para estudio

Partiendo del vuelo mediante dron, se generan curvas de nivel para entender el relieve y, posteriormente, realizar análisis de estabilidad.

Figura 4-106: Plano topográfico sector de estudio.

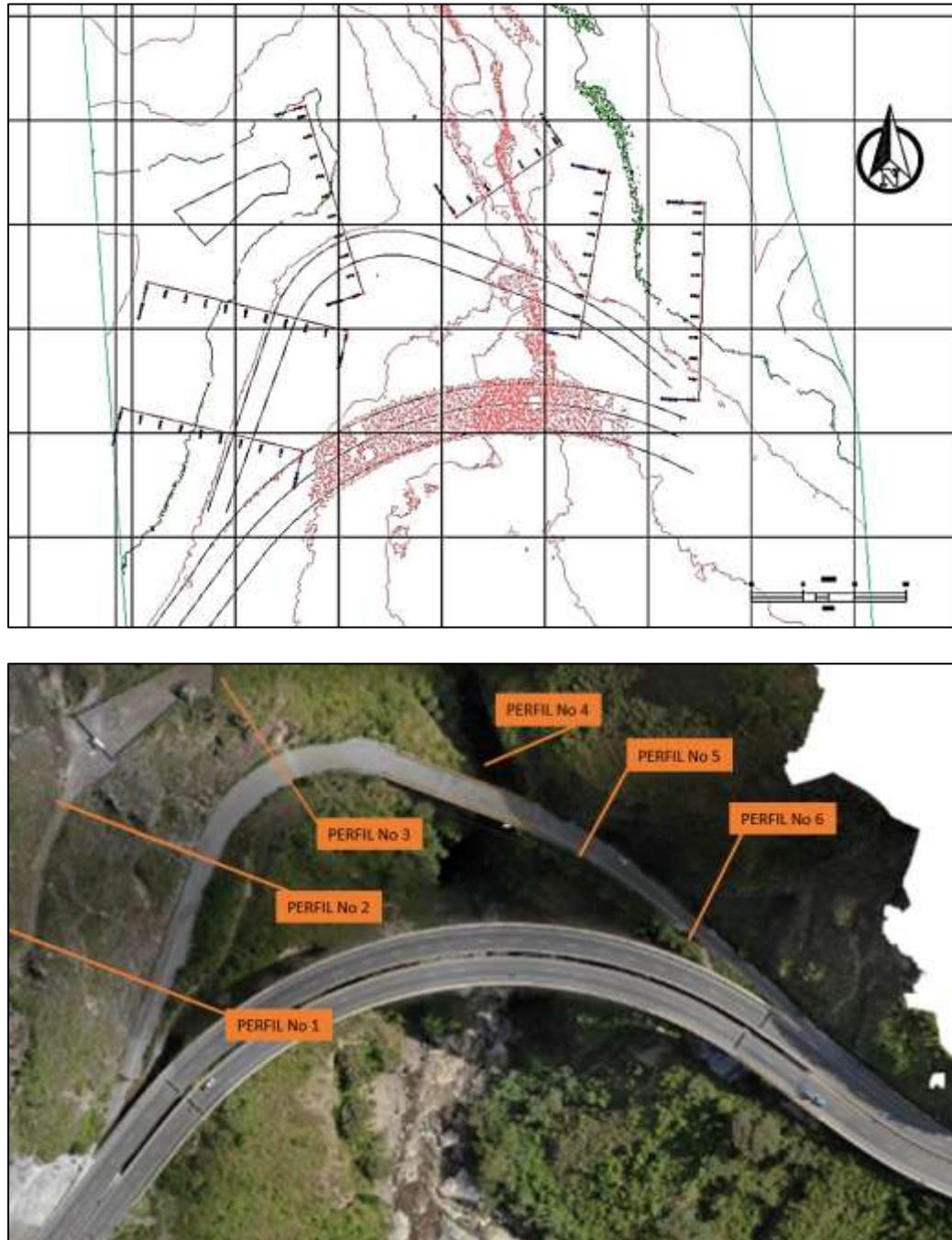


Fuente: La presente investigación.

Construcción de perfil

Partiendo de la topografía generada, se construyen 6 perfiles para construcción mediante la topografía y los estratos definidos para las secciones y posterior análisis para chequeo de estabilidad, como se indica a continuación.

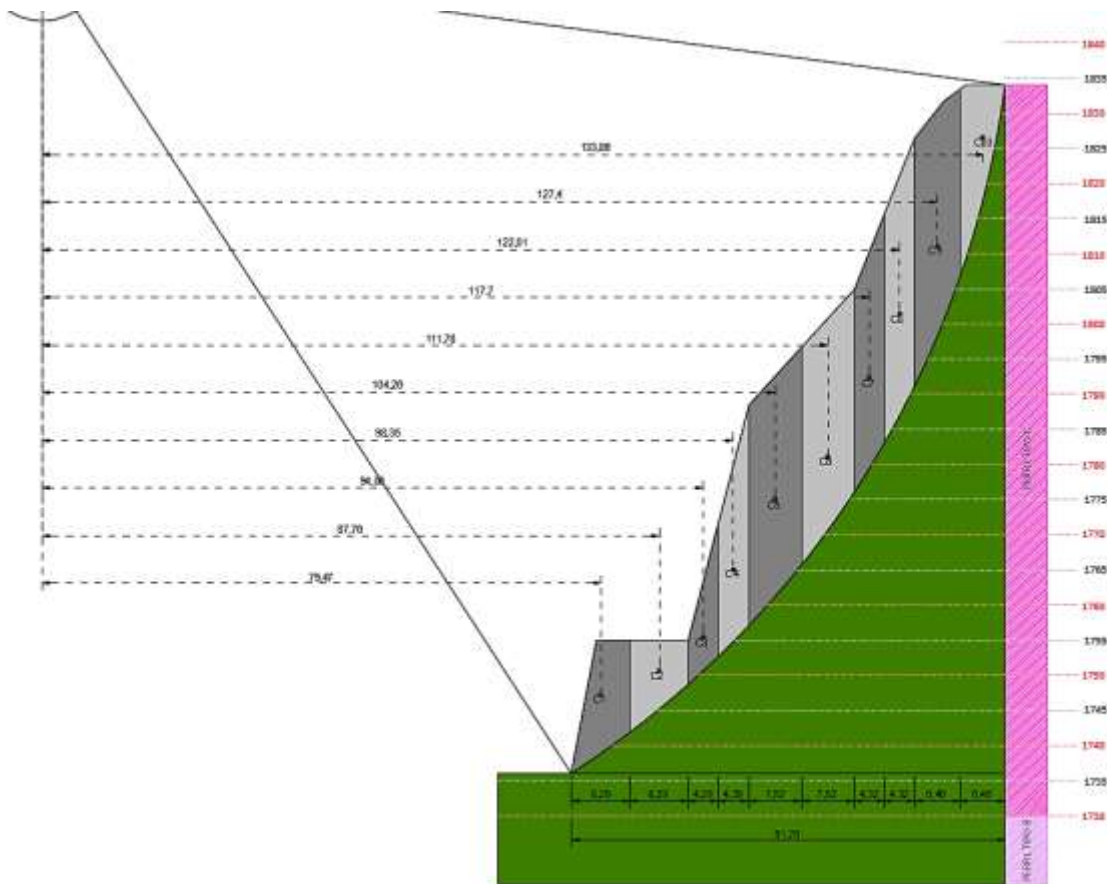
Figura 4- 107: Vista en planta perfiles para análisis de estabilidad.



Fuente: La presente investigación.

Analizando las secciones marcadas en la figura anterior, se construyen los siguientes perfiles:

Figura 4-108: Corte del terreno sobre perfil No 1.



Fuente: La presente investigación.

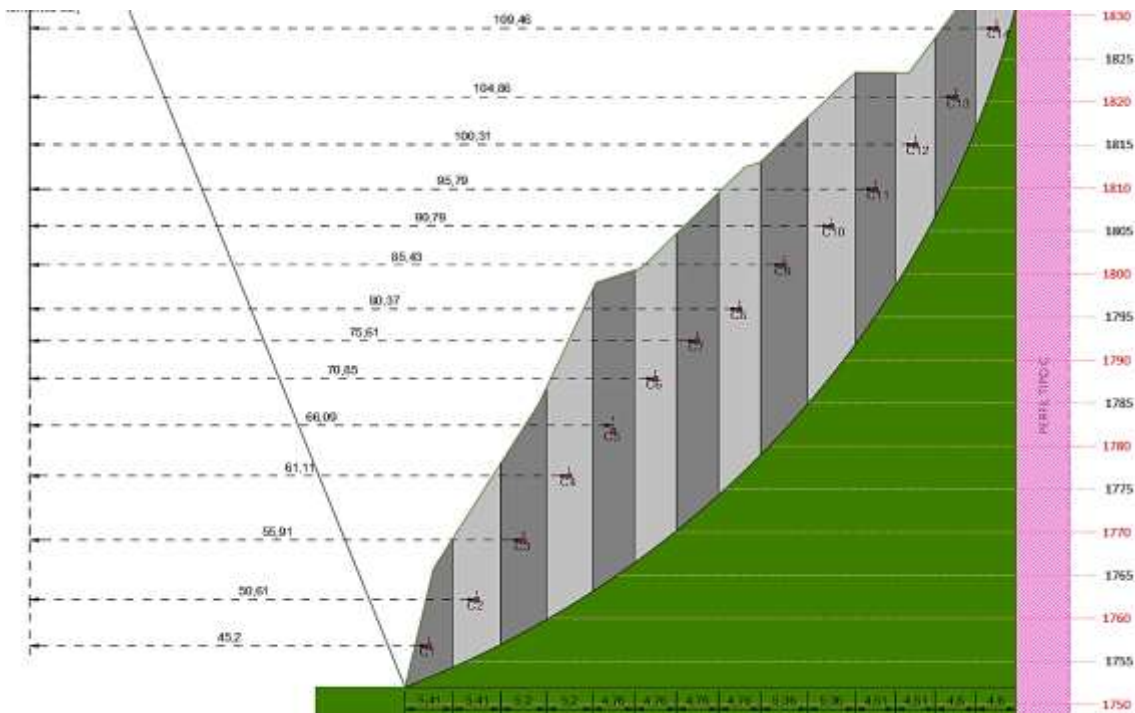
Tabla 4-38: Parámetros para análisis de estabilidad perfil No 1.

Material	Unidad	Estrato 3
	Tipo	TQvf Flujo de Cenizas y Pumitas
Peso unitario natural	KN/m ³	19
Angulo de fricción	°	41
Cohesión	KPa	185

Nota: los datos se toman de la tabla llamada "Resumen parámetros empleados y criterios para calibración de modelo."

Fuente: La presente investigación.

Figura 4-109: Corte del terreno sobre perfil No 2.



Fuente: La presente investigación.

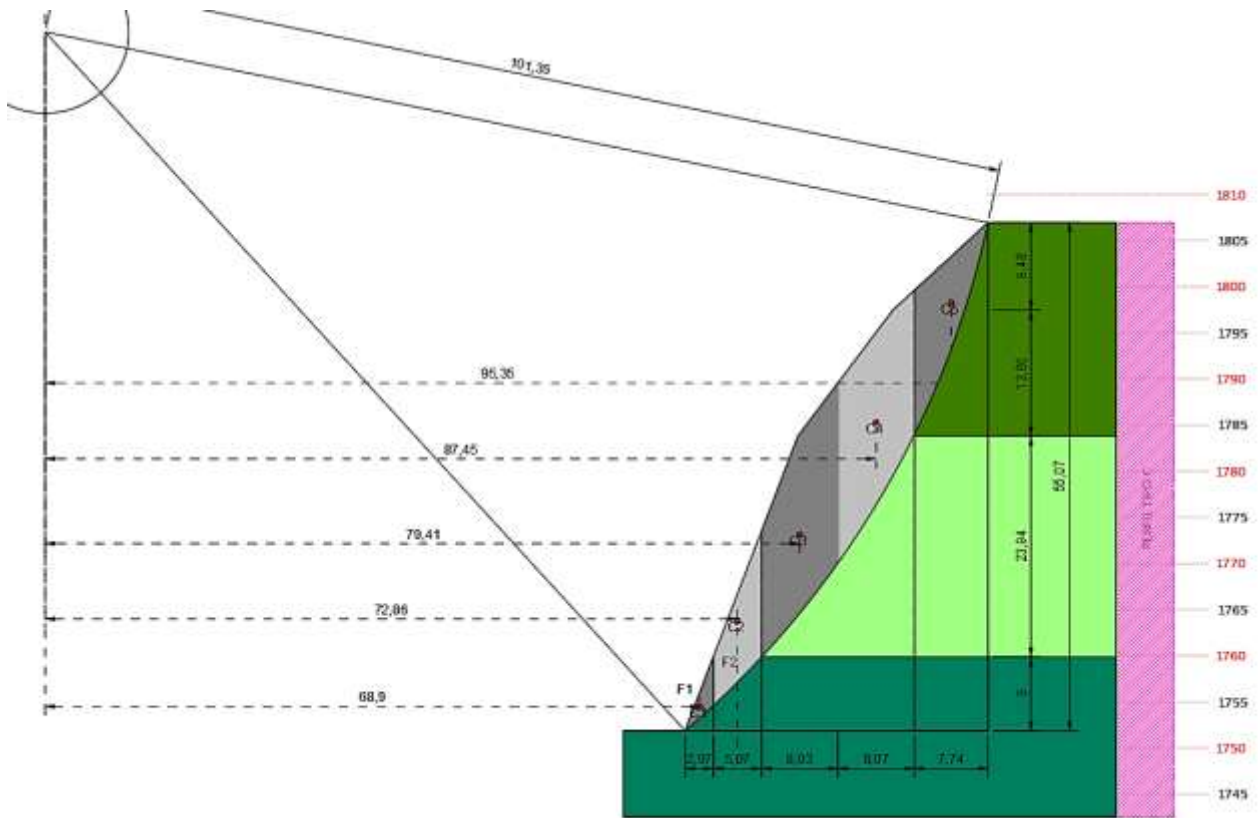
Tabla 4-39: Parámetros para análisis de estabilidad perfil No 2.

Material	Unidad	Estrato 3
	Tipo	TQvf Flujo de Cenizas y Pumitas
Peso unitario natural	KN/m ³	19
Angulo de fricción	°	41
Cohesión	KPa	185

Nota: los datos se toman de la tabla llamada “Resumen parámetros empleados y criterios para calibración de modelo.”

Fuente: La presente investigación.

Figura 4-110: Corte del terreno sobre perfil No 3.



Fuente: La presente investigación.

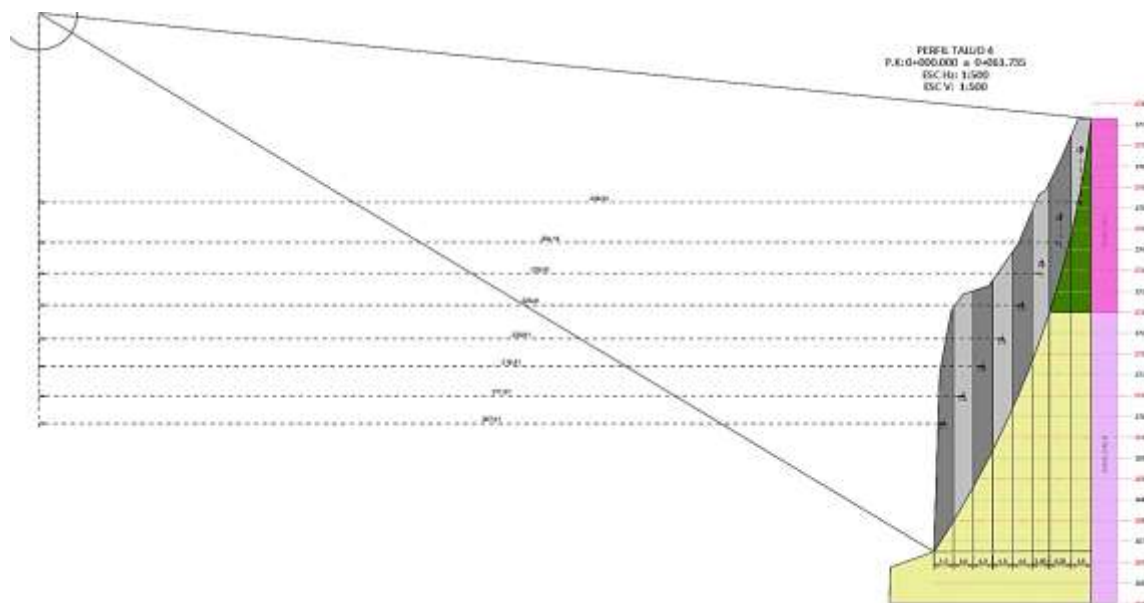
Tabla 4-40: Parámetros para análisis de estabilidad perfil No 3.

	Unidad	Estrato 2A	Estrato 2B	Estrato 3
Material	Tipo	TQvl Lavas BIM	TQvl Lavas Matriz	TQvf Flujo de Cenizas y Pumitas
Peso unitario natural	KN/m3	19	19	19
Angulo de fricción	°	47	36	41
Cohesión	KPa	131	223	185

Nota: los datos se toman de la tabla llamada "Resumen parámetros empleados y criterios para calibración de modelo."

Fuente: La presente investigación.

Figura 4-111: Corte del terreno sobre perfil No 4.



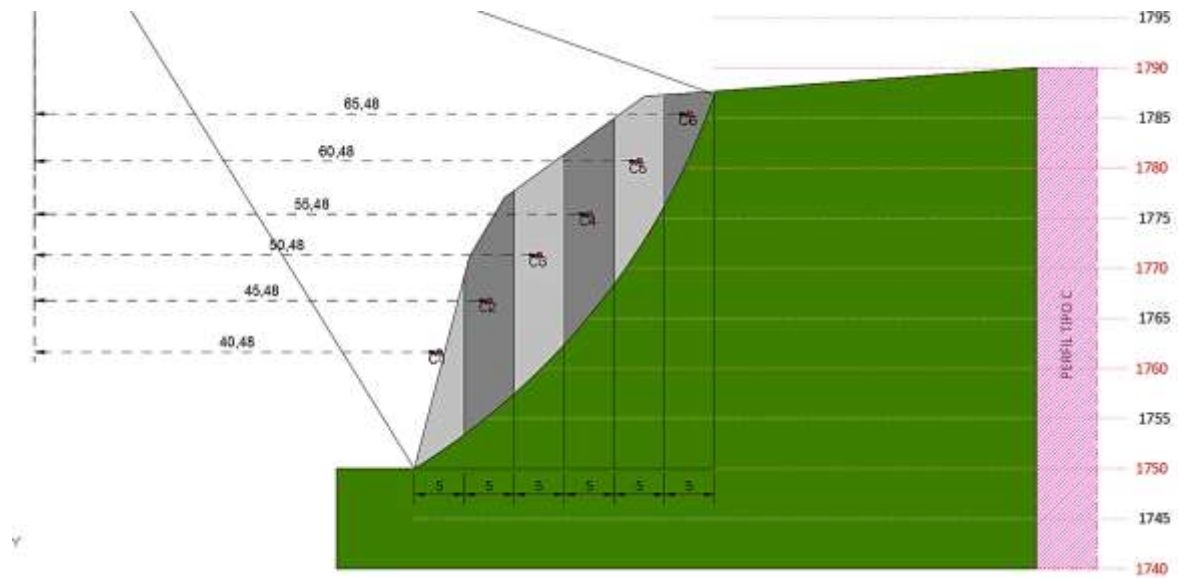
Fuente: La presente investigación.

Tabla 4-41: Parámetros para análisis de estabilidad perfil No 4.

	Unidad	Estrato 1	Estrato 2A
Material	Tipo	Roca de Rigidez Media	TQvl Lavas BIM
Peso unitario natural	KN/m ³	19	19
Angulo de fricción	°	52	47
Cohesión	KPa	89	131

Nota: los datos se toman de la tabla llamada “Resumen parámetros empleados y criterios para calibración de modelo.”

Fuente: La presente investigación.

Figura 4-112: Corte del terreno sobre perfil No 5

Fuente: La presente investigación.

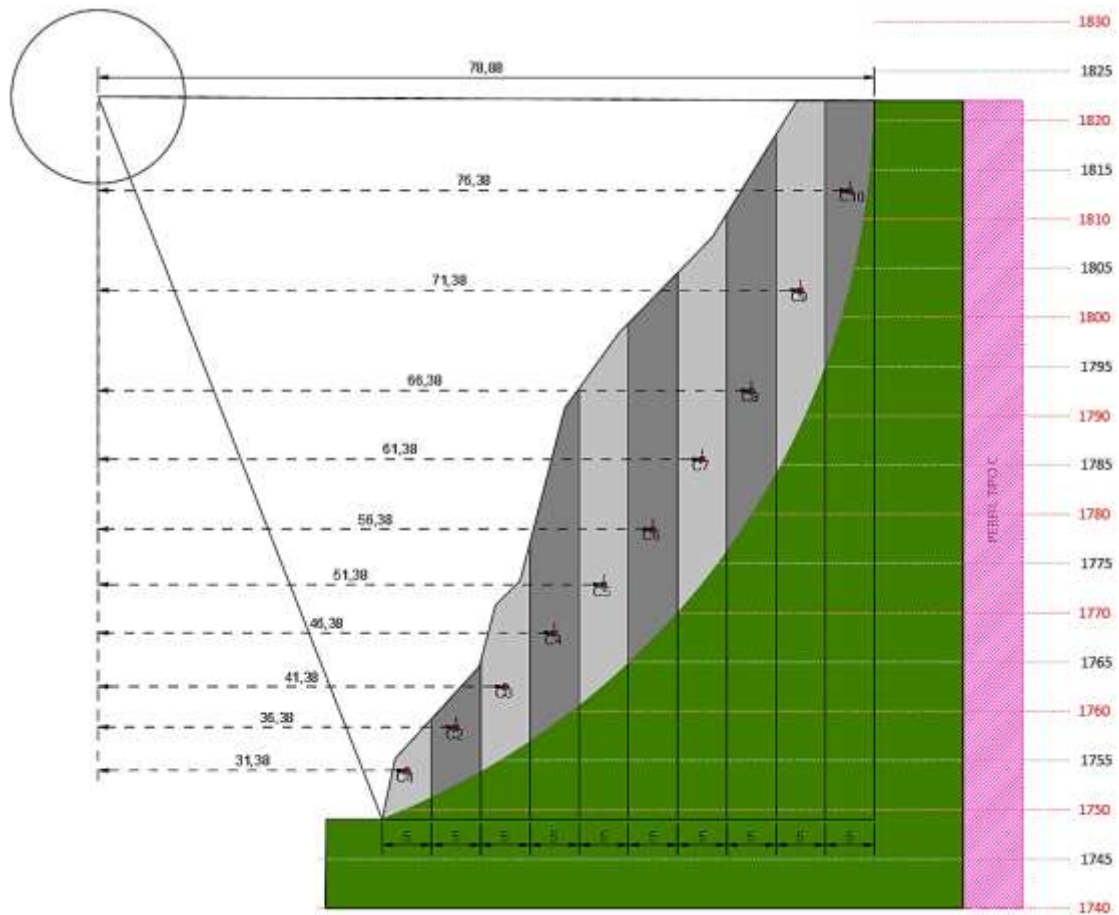
Tabla 4-42: Parámetros para análisis de estabilidad perfil No 5.

	Unidad	Estrato 2A
Material	Tipo	TQvl Lavas BIM
Peso unitario natural	KN/m ³	19
Angulo de fricción	°	47
Cohesión	KPa	131

Nota: los datos se toman de la tabla llamada "Resumen parámetros empleados y criterios para calibración de modelo."

Fuente: La presente investigación.

Figura 4-113: Corte del terreno sobre perfil No 6.



Fuente: La presente investigación.

Tabla 4-43: Parámetros para análisis de estabilidad perfil No 6.

	Unidad	Estrato 3 TQvf
Material	Tipo	Flujo de Cenizas y Pumitas
Peso unitario natural	KN/m ³	19
Angulo de fricción	°	41
Cohesión	KPa	185

Nota: los datos se toman de la tabla llamada "Resumen parámetros empleados y criterios para calibración de modelo."

Fuente: La presente investigación.

4.3 Cálculos de estabilidad sobre perfiles de estudio

A continuación con los perfiles topográficos, se presenta el cálculo de la estabilidad del talud para el perfil No 1 mediante métodos convencionales de estabilidad como son Fellenius y Bishop Simplificado, para ello se toma la topografía generada del perfil No 1 la asignación de parámetros según tabla 4-35 para los estratos identificados en el perfil, esto servirá para determinar qué tan estable o inestable se encuentra el talud con los parámetros asignados, el presente proceso se repite para el perfil No 2,3,4 y 5.

Los siguientes análisis son estáticos es decir no consideran la incidencia sísmica.

Tabla 4-44: Análisis de estabilidad perfil No 1.

r (m)					Estrato	Estrato	Estrato	Fellenius	Bishop Simplificado						
	138,25								TQvf Flujo de Cenizas y Pumitas	TQvf Flujo de Cenizas y Pumitas	TQvf Flujo de Cenizas y Pumitas	FS (Semilla)	1,65		
			$\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{a}{r} \right)$	$\Delta L (m)$											
Dovela	b (m)	a (m)	$\alpha (^{\circ})$	$\Delta L = \frac{b}{\cos \alpha}$	Área (m2) Total	$\gamma \left(\frac{KN}{m^3} \right)$	W	C' (KN/m2)	$\phi (^{\circ})$	U (KN/m2)	M actuante (KN/m-m)	Mr Fellenius (KN/m-m)	$C' \Delta l \cos \alpha + (W - \mu \Delta l \cos \alpha) \tan \phi$	$m \alpha = \cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi}{F_s}$	Mr Bishop (KN/m-m)
C1	8,29	79,47	35,09	10,13	101,13	19	1921,44	185	41	0	1104,50	3241,00	3203,93	1,12	2857,8
C2	8,29	87,76	39,40	10,73	81,67	19	1551,72	185	41	0	985,02	3027,10	2882,54	1,11	2603,6
C3	4,29	94,6	43,18	5,88	54,80	19	1041,15	185	41	0	712,42	1748,33	1698,71	1,09	1558,8
C4	4,29	98,35	45,35	6,10	108,88	19	2068,66	185	41	0	1471,63	2393,09	2591,91	1,08	2405,3
C5	7,52	104,26	48,95	11,45	236,40	19	4491,56	185	41	0	3387,27	4682,54	5295,66	1,05	5024,2
C6	7,52	111,78	53,95	12,78	227,25	19	4317,75	185	41	0	3491,05	4572,84	5144,56	1,01	5071,4
C7	4,32	117,7	58,36	8,24	133,44	19	2535,27	185	41	0	2158,41	2679,61	3003,07	0,97	3086,0
C8	4,32	122,01	61,95	9,19	147,13	19	2795,50	185	41	0	2467,12	2842,27	3229,29	0,94	3453,0
C9	6,46	127,4	67,15	16,64	205,48	19	3904,12	185	41	0	3597,72	4395,44	4588,90	0,87	5251,5
C10	6,46	133,86	75,52	25,84	101,28	19	1924,36	185	41	0	1863,25	5198,61	2867,92	0,76	3773,0
											21238,40	34780,82			35084,84
											FS Fellenius	1,64	FS Bishop	1,65	

Fuente: La presente investigación.

Tabla 4-45: Análisis de estabilidad perfil No 2.

r (m)	115,05		$\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{a}{r} \right)$	$\Delta L (m)$		Estrato		Estrato				Fellenius	Bishop Simplificado		
						TQvf Flujo de Cenizas y Pumitas	W	TQvf Flujo de Cenizas y Pumitas	C' (KN/m2)				TQvf Flujo de Cenizas y Pumitas	ϕ (°)	U (KN/m2)
Dovela	b (m)	a (m)	α (°)	$\Delta L = \frac{b}{\cos \alpha}$	Área (m2) Total	$\gamma \left(\frac{KN}{m^3} \right)$	W	C' (KN/m2)	ϕ (°)	U (KN/m2)	M actuante (KN/m-m)	Mr Fellenius (KN/m-m)	C' $\Delta l \cos \alpha + (W - \mu \Delta l \cos \alpha) \tan \phi$	$m \alpha = \cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi}{F_s}$	Mr Bishop (KN/m-m)
1	5,41	45,2	23,13	5,88	50,02	19	950,38	185	41	0	373,38	1848,09	1827,00	1,11	1646,9
2	5,41	50,61	26,10	6,02	97,41	19	1850,79	185	41	0	814,15	2559,31	2609,72	1,11	2350,1
3	5,20	55,91	29,08	5,95	123,71	19	2350,49	185	41	0	1142,25	2886,47	3005,25	1,11	2710,7
4	5,20	61,11	32,08	6,14	161,03	19	3059,57	185	41	0	1625,12	3388,85	3621,64	1,10	3281,1
5	4,76	66,09	35,06	5,82	166,02	19	3154,38	185	41	0	1812,02	3320,31	3622,66	1,10	3305,5
6	4,76	70,85	38,01	6,04	162,25	19	3082,75	185	41	0	1898,42	3229,05	3560,39	1,09	3280,6
7	4,76	75,61	41,09	6,32	165,95	19	3153,05	185	41	0	2072,16	3234,22	3621,50	1,07	3381,1
8	4,76	80,37	44,31	6,65	166,59	19	3165,21	185	41	0	2211,11	3199,48	3632,08	1,05	3449,6
9	5,36	85,43	47,95	8,00	180,63	19	3431,97	185	41	0	2548,40	3478,70	3974,97	1,03	3865,2
10	5,36	90,79	52,10	8,73	174,26	19	3310,94	185	41	0	2612,78	3382,23	3869,76	1,00	3887,9
11	4,51	95,79	56,37	8,14	127,69	19	2426,11	185	41	0	2019,97	2674,50	2943,34	0,96	3078,9
12	4,51	100,31	60,68	9,21	100,28	19	1905,32	185	41	0	1661,21	2514,84	2490,62	0,91	2734,6
13	4,60	104,86	65,70	11,18	85,28	19	1620,32	185	41	0	1476,81	2647,81	2259,52	0,85	2653,2
14	4,60	109,46	72,07	14,94	35,55	19	675,45	185	41	0	642,63	2944,51	1438,16	0,77	1874,1
											22910,41	41308,35			41499,43
											FS Fellenius	1,80		FS Bishop	1,81

Fuente: La presente investigación.

Tabla 4-46: Análisis de estabilidad perfil No 3.

r (m)						Estrato				Estrato			Estrato			Estrato			Fellenius	Bishop Simplificado								
	$\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{a}{r} \right)$	ΔL (m)	TQvl Lavas BIM	TQvl Lavas Matriz	TQvl Flujo de Cenizas y Pumitas	TQvl Lavas BIM	TQvl Lavas Matriz	TQvl Flujo de Cenizas y Pumitas	TQvl Lavas BIM	TQvl Lavas Matriz	TQvl Flujo de Cenizas y Pumitas	TQvl Lavas BIM	TQvl Lavas Matriz	TQvl Flujo de Cenizas y Pumitas	U (KN/m2)	M actuante (KN/m-m)	Mr Fellenius (KN/m-m)	FS (Semilla)		3,22								
Dovela	b (m)	a (m)	α (°)	$\Delta L = \frac{b}{\cos \alpha}$	Área (m2)	Área (m2)	Área (m2)	Área (m2) Total	$\frac{KN}{m^3}$	γ	$\frac{KN}{m^3}$	γ	$\frac{KN}{m^3}$	γ	W	C' (KN/m2)	C' (KN/m2)	C' (KN/m2)	ϕ (°)	ϕ (°)	ϕ (°)	U (KN/m2)	M actuante (KN/m-m)	Mr Fellenius (KN/m-m)	$C' \Delta l \cos \alpha + (W - \mu \Delta l \cos \alpha) \tan \phi$	$m \alpha = \cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi}{F_s}$	Mr Bishop (KN/m-m)	
1	2,97	68,84	42,00	4,00	7,85		7,85	7,85	19	19	19	19	149,15	131	223	185	47	36	41	0	99,80	642,39	642,39	549,01	0,97	568,3		
2	5,07	75,35	47,09	7,45	48,17		48,17	48,17	19	19	19	19	915,23	131	223	185	47	36	41	0	670,29	1643,71	1643,71	1645,63	0,92	1779,4		
3	16,13	84,22	54,94	28,08	145,43		145,43	145,43	19	19	19	19	2763,17	131	223	185	47	36	41	0	2261,91	7415,53	7415,53	5604,55	0,76	7383,4		
4	16,13	84,22	54,94	28,08	147,85		147,85	147,85	19	19	19	19	2809,15	131	223	185	47	36	41	0	2299,55	7434,72	7434,72	5637,96	0,76	7427,4		
5	7,74	94,22	66,32	19,27		72,18	72,18	72,18	19	19	19	19	1371,42	131	223	185	47	36	41	0	1255,93	4043,80	4043,80	2624,06	0,65	4043,9		
																							6587,48	21180,15			21202,43	
																								FS Fellenius	3,22		FS Bishop	3,22

Fuente: La presente investigación.

Tabla 4-47: Análisis de estabilidad perfil No 4.

r (m)						Estrato				Estrato			Estrato			Fellenius	Bishop Simplificado											
	$\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{a}{r} \right)$	ΔL (m)	Roca de Rigidez Media	TQvl Lavas BIM	Área	Roca de Rigidez Media	TQvl Lavas BIM	Área (m2) Total	$\frac{KN}{m^3}$	γ	$\frac{KN}{m^3}$	γ	$\frac{KN}{m^3}$	γ	W		C' (KN/m2)	C' (KN/m2)	C' (KN/m2)	ϕ (°)	ϕ (°)	U (KN/m2)	M actuante (KN/m-m)	Mr Fellenius (KN/m-m)	FS (Semilla)		1,01	
Dovela	b (m)	a (m)	α (°)	$\Delta L = \frac{b}{\cos \alpha}$	Área (m2)	Área (m2)	Área (m2) Total	$\frac{KN}{m^3}$	γ	$\frac{KN}{m^3}$	γ	$\frac{KN}{m^3}$	γ	W	C' (KN/m2)	C' (KN/m2)	C' (KN/m2)	ϕ (°)	ϕ (°)	ϕ (°)	U (KN/m2)	M actuante (KN/m-m)	Mr Fellenius (KN/m-m)	$C' \Delta l \cos \alpha + (W - \mu \Delta l \cos \alpha) \tan \phi$	$m \alpha = \cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi}{F_s}$	Mr Bishop (KN/m-m)		
1	4,50	207,41	58,80	8,69	175,66		175,66	175,66	19	19	19	19	3337,54	89	131	52	47	0	2854,71	2986,20	2986,20	4672,36	1,60	2916,5				
2	4,50	211,91	60,91	9,26	223,95		223,95	223,95	19	19	19	19	4255,05	89	131	52	47	0	3718,45	3471,39	3471,39	5846,72	1,59	3668,9				
3	4,50	216,41	63,18	9,97	195,99		195,99	195,99	19	19	19	19	3723,81	89	131	52	47	0	3323,31	3038,02	3038,02	5166,76	1,58	3265,7				
4	4,50	220,91	65,64	10,91	176,48		176,48	176,48	19	19	19	19	3353,12	89	131	52	47	0	3054,71	2741,07	2741,07	4692,30	1,57	2994,7				
5	4,50	225,41	68,37	12,21	163,87		163,87	163,87	19	19	19	19	3113,53	89	131	52	47	0	2894,23	2555,53	2555,53	4385,64	1,55	2835,5				
6	3,95	229,91	71,46	12,42	134,7		134,70	134,70	19	19	19	19	2559,30	89	131	52	47	0	2426,53	2147,21	2147,21	3627,30	1,52	2387,3				
7	5,05	234,14	74,92	19,41	139,18	139,18	139,18	139,18	19	19	19	19	2644,42	89	131	52	47	0	2553,36	2608,16	2608,16	3834,15	1,48	2584,0				
8	4,50	238,91	80,14	26,29	66,29	66,29	66,29	66,29	19	19	19	19	1259,51	89	131	52	47	0	1240,92	2615,37	2615,37	2012,60	1,42	1417,6				
																							22066,22	22162,95			22070,27	
																								FS Fellenius	1,00		FS Bishop	1,00

Fuente: La presente investigación.

Tabla 4-48: Análisis de estabilidad perfil No 5.

r (m)						Estrato				Fellenius	Bishop Simplificado				
	72,06	$\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{a}{r} \right)$				TQvl Lavas BIM	TQvl Lavas BIM	TQvl Lavas BIM	FS (Semilla)		2,08				
				$\Delta L (m)$											
Dovela	b (m)	a (m)	α (°)	$\Delta L = \frac{b}{\cos \alpha}$	Área (m2) Total	$\gamma \left(\frac{KN}{m^3} \right)$	W	C' (KN/m2)	ϕ (°)	U (KN/m2)	M actuante (KN/m-m)	Mr Fellenius (KN/m-m)	$C' \Delta l \cos \alpha + (W - \mu \Delta l \cos \alpha) \tan \phi$	$m \alpha = \cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi}{F_s}$	Mr Bishop (KN/m-m)
1	5,00	40,48	34,18	6,04	39,66	19	753,54	131	47	0	423,30	1460,25	1463,07	1,12	1309,9
2	5,00	45,48	39,13	6,45	94,75	19	1800,25	131	47	0	1136,21	2341,89	2585,53	1,10	2348,2
3	5,00	50,48	44,47	7,01	98,39	19	1869,41	131	47	1	1309,57	2348,45	2659,70	1,07	2474,6
4	5,00	55,48	50,35	7,84	89,18	19	1694,42	131	47	2	1304,56	2185,95	2472,04	1,04	2388,2
5	5,00	60,48	57,07	9,20	71,74	19	1363,06	131	47	3	1144,02	1999,46	2116,70	0,98	2167,9
6	5,00	65,48	65,32	11,98	30,38	19	577,22	131	47	4	524,51	1827,36	1273,99	0,89	1438,0
											5842,18	12163,36			12128,97
											FS Fellenius	2,08	FS Bishop	2,08	

Fuente: La presente investigación.

Tabla 4-49: Análisis de estabilidad perfil No 6.

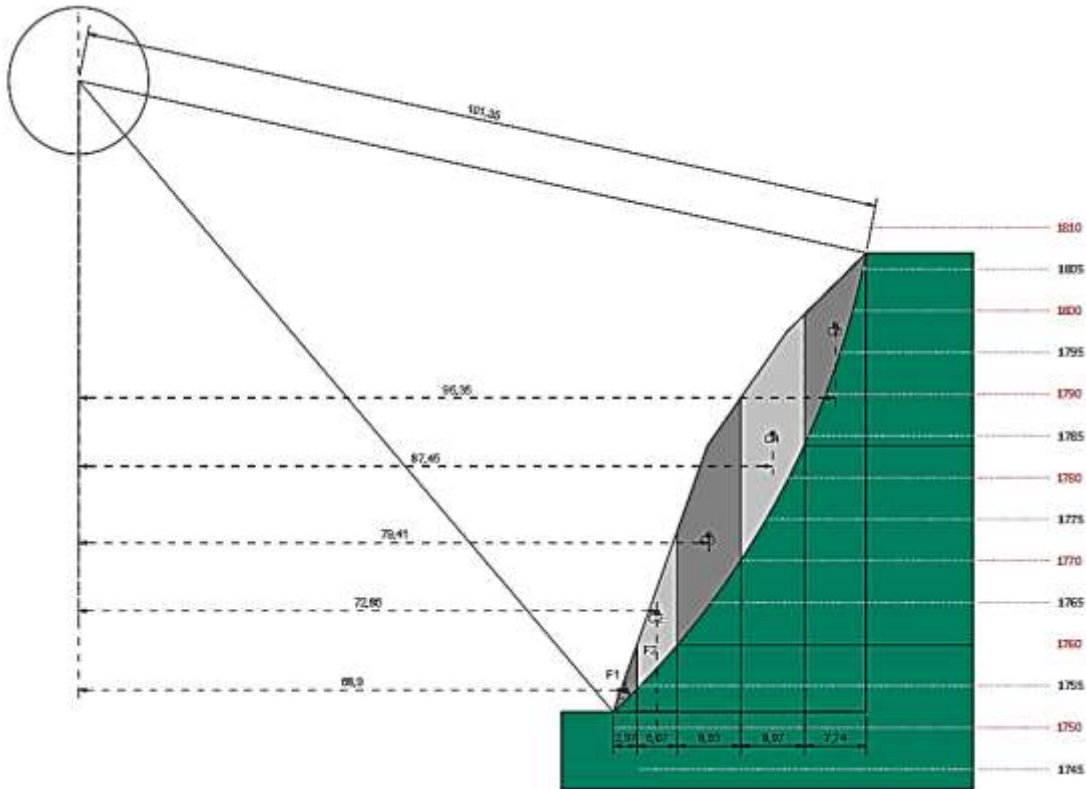
r (m)						Estrato				Fellenius	Bishop Simplificado				
	78,88	$\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{a}{r} \right)$				Flujo de Cenizas y Pumitas	Flujo de Cenizas y Pumitas	Flujo de Cenizas y Pumitas	FS (Semilla)		1,68				
				$\Delta L (m)$											
Dovela	b (m)	a (m)	α (°)	$\Delta L = \frac{b}{\cos \alpha}$	Área (m2) Total	$\gamma \left(\frac{KN}{m^3} \right)$	W	C' (KN/m2)	ϕ (°)	U (KN/m2)	M actuante (KN/m-m)	Mr Fellenius (KN/m-m)	$C' \Delta l \cos \alpha + (W - \mu \Delta l \cos \alpha) \tan \phi$	$m \alpha = \cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi}{F_s}$	Mr Bishop (KN/m-m)
1	5,00	31,38	23,44	5,45	29,09	19	552,71	185	41	0	219,88	1449,02	1405,46	1,12	1251,2
2	5,00	36,38	27,47	5,64	47,58	19	904,02	185	41	0	416,94	1739,78	1710,85	1,13	1519,5
3	5,00	41,38	31,64	5,87	80,62	19	1531,78	185	41	0	803,56	2220,13	2256,56	1,12	2009,8
4	5,00	51,38	40,64	6,59	137,82	19	2618,58	185	41	0	1705,66	2946,26	3201,30	1,10	2921,4
5	5,00	56,38	45,62	7,15	168,18	19	3195,42	185	41	0	2283,95	3265,29	3702,74	1,07	3463,1
6	5,00	56,38	45,62	7,15	173,29	19	3292,51	185	41	0	2353,34	3324,31	3787,14	1,07	3542,0
7	5,00	61,38	51,09	7,96	171,41	19	3256,79	185	41	0	2534,25	3250,89	3756,08	1,03	3644,1
8	5,00	66,38	57,30	9,26	173,29	19	3292,51	185	41	0	2770,75	3258,45	3787,14	0,98	3881,7
9	5,00	71,38	64,81	11,75	161,30	19	3064,70	185	41	0	2773,30	3307,28	3589,10	0,89	4015,5
10	5,00	76,38	75,54	20,02	90,73	19	1723,87	185	41	0	1669,23	4077,75	2423,54	0,75	3227,9
											17530,88	28839,17			29476,13
											FS Fellenius	1,65	FS Bishop	1,68	

Fuente: La presente investigación.

4.4 Influencia de la proporción bloque-matriz en la estabilidad de taludes

Partiendo de la geometría generada en sección del perfil número 3 y analizando los parámetros de resistencia para los distintos estratos encontrados en los perfiles analizados, suponiendo que el estrato se compone en la totalidad del talud de análisis, se evalúan los factores de seguridad encontrados para cada caso.

Figura 4-114: Sección analizada para cálculo de estabilidad



Fuente: La presente investigación.

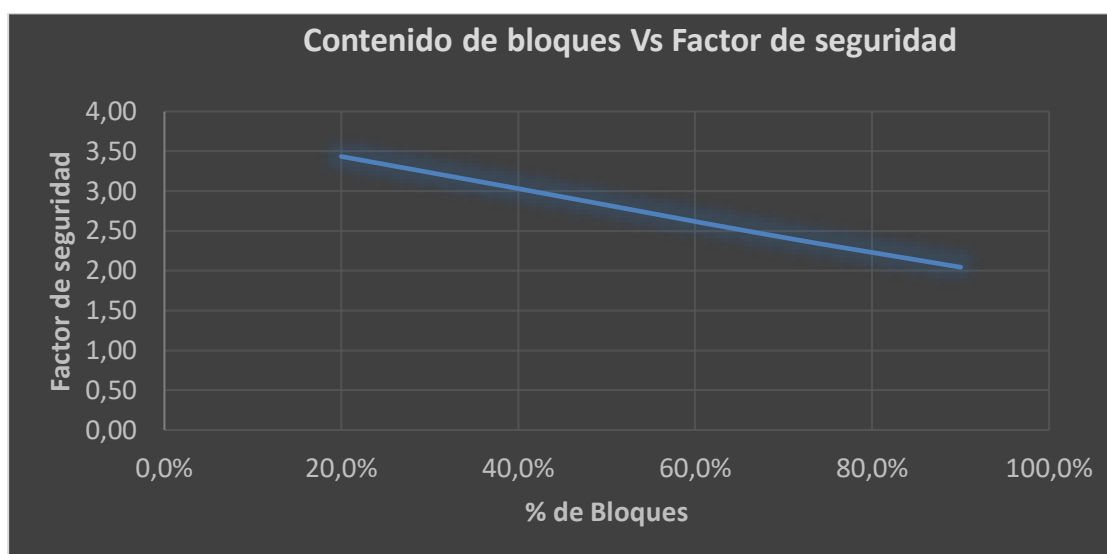
Tabla 4-50: Factores de seguridad con variación de parámetros en litologías volcánicas y porcentaje bloque matriz.

Resumen del modelo							
Estrato	Descripción	Bloque	Matriz	Peso unitario KN/m ³	ϕ (°)	C (KPa)	FS
Estrato 2A	TQvl Lavas BIM	20,0%	80%	19	36	223	3,44
Estrato 2B	TQvl Lavas Matriz	40,0%	60%	19	41	185	3,03

Resumen del modelo							
Estrato	Descripción	Bloque	Matriz	Peso unitario KN/m ³	ϕ (°)	C (KPa)	FS
Estrato 3	TQvf Flujo de Cenizas y Pumitas	68,0%	32%	19	47	131	2,46
Estrato 1	Roca de Rigidez Media	90,0%	10%	19	52	89	2,05

Fuente: La presente investigación.

Figura 4-115. Contenido de bloques Vs Factor de seguridad.



Fuente: La presente investigación).

De la gráfica anterior se puede leer la siguiente información:

Se observa una gráfica del factor de seguridad vs porcentaje de bloques, indicando una disminución del factor de seguridad en forma lineal conforme aumenta la proporción de bloques en la matriz, esto a causa de la disminución de la cohesión y aumento del ángulo de fricción, cuyo valor se determinó de las gráficas cohesión Vs porcentaje de bloques y ángulo de fricción vs porcentaje de bloques respectivamente.

Respecto a los parámetros usados en el análisis de estabilidad de los taludes, se observó que la disminución de la cohesión y aumento del ángulo de fricción disminuye el factor de seguridad para los taludes analizados.

Se puede concluir que la cohesión en el sector representa un parámetro valioso en la estabilidad de los taludes del sector y su disminución o encontrar zonas sin dicha característica pondrían en riesgo la estabilidad de las laderas.

Se recalca la importancia de realizar en estudios geotécnicos caracterizando las condiciones in situ del sector, determinando los parámetros de resistencia específicos para posterior análisis de estabilidad, esto puesto que permite conocer con certeza el grado de estabilidad del talud, para los casos en específico se observa como parámetro de alta incidencia sobre la estabilidad de taludes la cohesión.

4.5 Análisis de los factores de seguridad encontrados.

A continuación, en la siguiente tabla se muestra la estabilidad de los taludes analizados, siendo estables los taludes cuyo valor sea mayor a 1 presentando mayor estabilidad si dicho valor incrementa, para el caso del presente estudio los 6 perfiles actualmente se encuentran estables esto coincidiendo con la información del terreno en el cual las seis configuraciones del terreno se encuentran íntegros a excepción del talud No 3 donde en inspección visual se observó desprendimiento de material y afectación por meteorización.

Tabla 4-51: Resumen factores de seguridad para condiciones de campo.

Perfil	FS Fellenius	FS Bishop Simplificado	Descripción
Perfil No 1	1,64	1,65	Estable
Perfil No 2	1,80	1,81	Estable
Perfil No 3	3,22	3,22	Estable
Perfil No 4	1,00	1,00	Estable
Perfil No 5	2,08	2,08	Estable
Perfil No 6	1,65	1,68	Estable

Fuente: La presente investigación.

4.6 Modelo inestable por efecto de la proporción bloque-matriz.

Se calcula la estabilidad del talud suponiendo una variación del porcentaje bloque matriz tomando el perfil No 4. En los parámetros de modelo calibrado se retoma los valores asignados para las litologías volcánicas presentes y en la afectación de parámetros por el aumento de la proporción de bloque dentro de la matriz, se aplica el concepto de una litología con aumento de porcentaje de bloques tendiendo está a ser menos cohesiva y cuyo ángulo de fricción aumentaría.

Tabla 4-52: Variación de parámetros en perfil No 3 afectados por aumento del porcentaje de bloques.

Parámetros de resistencia afectados por disminución de bloques

	Unidad	Estrato 1	Estrato 2A
Material	Tipo	Roca de Rigidez Media	TQvl Lavas BIM
Porcentaje bloques	%	90,0%	68%
Porcentaje matriz	%	10,0%	32,0%
Peso unitario natural	KN/m ³	19	19
Angulo de fricción	°	52	47
Cohesión	KPa	89	131

Parámetros de resistencia afectados por disminución de matriz

	Unidad	Estrato 1	Estrato 2A
Material	Tipo	Roca de Rigidez Media	TQvl Lavas BIM
Porcentaje bloques	%	95%	95%
Porcentaje matriz	%	5,0%	5,0%
Peso unitario natural	KN/m ³	19	19
Angulo de fricción	°	53,00	53,00
Cohesión	KPa	80,00	80,00

Fuente: La presente investigación.

Factor de seguridad en condiciones naturales:1

Factor de Seguridad: 0.98

La disminución del factor de seguridad se justifica en:

Incremento del porcentaje de bloques del estrato roca de rigidez media pasando de 90 a 95%, generándose un aumento del ángulo de fricción pasando de 52° a 53° y disminución de la cohesión de 89 KPa a 80 KPa

Incremento del porcentaje de bloques del estrato TQvl Lavas pasando de 68% al 95%, generándose un aumento del ángulo de fricción pasando de 47° a 53° y disminución de la cohesión de 131 KPa a 80 KPa, es decir un incremento del 11% en el ángulo de fricción y disminución del 38% en la cohesión, por el aumento del porcentaje de bloques, esto siguiendo los criterios de comportamiento de los parámetros mecánicos por variación del porcentaje de bloques.

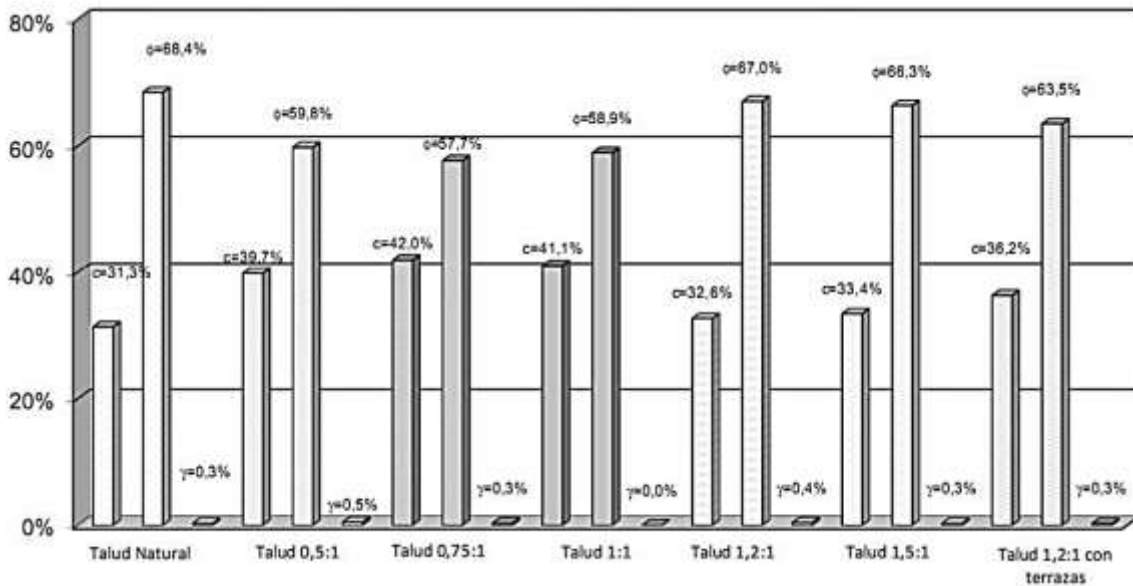
De la tabla anterior, se puede concluir que el efecto de pérdida de porcentaje de bloques ocasiona disminución de la estabilidad del talud bajando por el método del cálculo de factor de seguridad de Fellenius de un valor calculado en uno (1) a un valor de cero puntos noventa y ocho (0.98).

Según los nombrados en el párrafo anterior, el comportamiento del talud se ve afectado por el tipo de material bloque-matriz, pasando de un talud estable con un valor superior a uno (1) a un talud inestable con un valor inferior a uno (1).

Es importante resaltar la existencia del método probabilístico FOSM e índice de confianza, El análisis mediante el método FOSM es muy valioso, ya que nos permite obtener la incidencia (efecto o peso) de cada variable en la variación del factor de seguridad, y por ende en su probabilidad de falla, esto le permitirá al profesional en geotécnica generar un modelo y una alternativa de solución con un enfoque hacia la variable crítica en la estabilidad del talud.

Dicha experiencia es abordada en un caso de estudio a mayor detalle en la tesis de maestría titulada “clasificación y caracterización de suelos tropicales en un talud de la autopista Medellín – Bogotá en el tramo de vía entre marinilla y santuario” (Escobar Toro, 2011), se toma una gráfica de dicho documento, indicando como se puede representar la información.

Figura 4-116: Gráfico del peso de cada variable en la composición del factor de seguridad para el talud



Fuente: (Escobar Toro, 2011)

Tabla 4-53: Análisis de inestabilidad por efecto de la disminución del porcentaje de bloques.

r (m)	242,49		$\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{a}{r} \right)$	ΔL (m)	Área			Estrato		W	Estrato		Estrato		U (KN/m2)	M actuante (KN/m-m)	Mr Fellenius (KN/m-m)	Bishop Simplificado		
					Roca de Rigidez Media	TQvl Lavas BIM		Roca de Rigidez Media	TQvl Lavas BIM		Roca de Rigidez Media	TQvl Lavas BIM	Roca de Rigidez Media	TQvl Lavas BIM				FS (Semilla)	0,95	
Dovela	b (m)	a (m)	α (°)	$\Delta L = \frac{b}{\cos \alpha}$	Área (m2)	Área (m2)	Área (m2) Total	γ ($\frac{KN}{m^3}$)	γ ($\frac{KN}{m^3}$)		C' (KN/m2)	C' (KN/m2)	ϕ (°)	ϕ (°)			Mr Fellenius (KN/m-m)	$C' \Delta l \cos \alpha + (W - \mu \Delta l \cos \alpha) \tan \phi$	$m \alpha = \cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi}{F_s}$	Mr Bishop (KN/m-m)
1	4,50	207,41	58,80	8,69	175,66		175,66	19	19	3337,54	80	80	53	53	0	2854,71	2989,47	4789,07	1,7129	2795,9
2	4,50	211,91	60,91	9,26	223,95		223,95	19	19	4255,05	80	80	53	53	0	3718,45	3485,51	6006,64	1,7069	3519,1
3	4,50	216,41	63,18	9,97	195,99		195,99	19	19	3723,81	80	80	53	53	0	3323,31	3027,39	5301,66	1,6978	3122,7
4	4,50	220,91	65,64	10,91	176,48		176,48	19	19	3353,12	80	80	53	53	0	3054,71	2707,99	4809,74	1,6850	2854,5
5	4,50	225,41	68,37	12,21	163,87		163,87	19	19	3113,53	80	80	53	53	0	2894,23	2499,74	4491,79	1,6672	2694,3
6	3,95	229,91	71,46	12,42	134,7		134,70	19	19	2559,30	80	80	53	53	0	2426,53	2073,71	3712,31	1,6423	2260,4
7	5,05	234,14	74,92	19,41		139,18	139,18	19	19	2644,42	80	80	53	53	0	2553,36	2465,86	3913,26	1,6089	2432,2
8	4,50	238,91	80,14	26,29		66,29	66,29	19	19	1259,51	80	80	53	53	0	1240,92	2388,96	2031,43	1,5475	1312,7
																22066,220	21638,631			20991,816
																	FS Fellenius	0,98	FS Bishop	0,95

Fuente: La presente investigación.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.10 Geología

Para la elaboración de un adecuado modelo geotécnico, se requiere estudiar y comprender el entorno geológico. La zona de estudio determinará los parámetros de resistencia para obras civiles requeridas, se entenderá si existen o no factores de riesgo que amenacen la estabilidad de las obras o la vida de las personas, se determinaran particularidades del sector que permitan dar las recomendaciones más acertadas para el tratamiento de los materiales encontrado. Para la zona de estudio, se tiene como obra civil del entorno geológico la construcción del puente Guáitara, para el caso de taludes, se realizaron procesos de estabilidad de taludes que se observan protegidos a cada costado del puente. La zona estudiada para bloques matriz, si bien cuenta con una recomendación para protección del mismo, a la fecha se encuentra desprotegida y se observa con procesos de meteorización generando desprendimientos del material expuesto sobre la vía del antiguo puente Guáitara.

Dependiendo del tipo de proceso de origen volcanismo se generan una composición bloques-matriz, de diferente resistencia para el caso de estudio se encontró muestras de mano a costado derecho e izquierdo del cañón cuya resistencia es mayor a costado derecho al observarse bloques inmersos en roca a diferencia del costado izquierdo al formarse bloques en una matriz de suelo. Se puede pensar que los depósitos BIM Soil pudieron ser originados por un proceso distinto, como, por ejemplo, un flujo volcánico.

Se identificaron las diferentes unidades geológicas conformadas por rocas volcánicas y depósitos del Terciario – Cuaternario y depósitos recientes del Cuaternario. Al cuaternario corresponden los depósitos aluviales recientes y terrazas aluviales conformados por bloques y cantos rodados, gravas y arenas en proporciones variables, este material se encuentra en los cauces de las principales corrientes tal y como el río Guáitara. A lo largo del corredor se encuentran zonas caracterizadas por rocas piroclásticas, flujos de lodo y caídas de cenizas (NgQp) que, en general, se encuentran poco consolidados y dan lugar a una morfología plana con taludes verticales en los bordes. Este material es fácilmente erosionable y actualmente es fuente de material para construcción. Estos depósitos de origen volcánico y volcanosedimentario son constituidos por fragmentos de tamaños variables, sub redondeados a angulares, en matriz areno limosa de color gris oscuro.

La unidad NgQf agrupa una gran cantidad de depósitos volcánicos y volcano sedimentarios, flujos de lava como lahares y depósitos piroclásticos de flujo y caída. La acumulación de piroclastos consta de cenizas y tobas, con abundantes fragmentos de pómez angulares, por otro lado, las lavas son de composición andesíticas, los depósitos de lahar son abundantes y están conformados por bloques y cantos heterométricos clasto y matriz soportados, la matriz de los clastos es variable.

5.11 Conclusiones generales en relación bloques en matriz

El uso de herramientas para el entendimiento del entorno mediante fotogrametría como son; las tomadas mediante fotografía aérea con dron y posterior construcción de ortofotos o la agrupación de imágenes en una sola fotografía general y de alta definición (GigaPan®), es de gran interés para la construcción del modelo geotécnico. Dicho registro fotográfico permite:

- Primero, registrar a detalle la zona de estudio mediante fotografías de alta definición, dejando el estado inicial del terreno, permitiendo trabajar la construcción del modelo geotécnico desde oficina.
- Segundo, analizar una zona de estudio por un equipo interdisciplinario desde diferentes partes del país, o del mundo. Lo anterior permite, un trabajo colaborativo con aportes y conceptos de profesionales idóneos logrando mejores conclusiones con soluciones funcionales, económicas y la vanguardia en el conocimiento, llegando a un modelo geotécnico de calidad.

Apoyados en un software de limpieza imágenes se puede lograr construir una metodología para el cálculo de los porcentajes bloque- matriz, disminuyendo la subjetividad del observador. Entre su aplicabilidad servirá para el determinar el tipo de bloque en matriz, diferenciándolo entre bloques-matriz o bloque-roca.

5.12 Efecto de la proporción bloque matriz en la estabilidad de taludes.

Para el caso de laderas la caracterización litológica permite establecer recomendaciones que garanticen la estabilidad de la zona de estudio, en el caso del talud de estudio si bien sus parámetros de resistencia se pueden considerar aceptables en la estabilidad del talud. Dicho talud se ve afectado por procesos de meteorización que podrán ocasionar una eventual falla, para estos casos se podrá recomendar el uso de mallas triple torción, anclajes y cables de acero. Lo anterior con el fin de garantizar que los estratos analizados funcionen en conjunto.

Se encontró que el talud tendrá una menor estabilidad si cuenta con presencia de bloque en la matriz a diferencia a un talud en su mayoría compuesto de matriz, esto justificado en el valor de estabilidad que aporta la cohesión de la interfaz bloque-matriz.

Se encontró que a menor proporción de bloques el factor de seguridad incrementara en el análisis de estabilidad, esta afirmación es congruente al tender los valores de cohesión en rangos de mayor amplitud alcanzándose altas cohesiones en la interfaz Bloque en Matriz aportando estabilidad a los taludes.

En relación a la geotécnia vial, cuando se realizan cortes de taludes cuyo criterio de estabilización es tanto económica como seguridad, la determinación de la proporción bloque matriz permite modelar el comportamiento mecánico del mismo para este caso la disminución de la proporción de bloques conlleva un aumento en la resistencia mecánica conjunta del material, debida al efecto de la buena cohesión del conjunto BIM Soil.

En la asignación del valor de cohesión de un talud para geotecnia vial se deberá tener precaución en verificar la incidencia de la cohesión en la estabilidad del talud puesto que esta según autores disminuiría con el aumento de los bloques.

5.13 Recomendaciones

Para los trabajos de campo se realizan las siguientes recomendaciones:

Se debe contar con una escala de referencia tal que permita procesar la fotografía en software, esto para lograr comparar los tamaños de bloques encontrados en campo respecto a una escala conocida. En este caso, un marco de referencia uno (1) por uno (1) con divisiones cada cinco centímetros, pintados en blanco y a color rojo o amarillo.

Con el fin de disminuir los errores en la fotointerpretación, para la afectación de la escala, se recomienda que la fotografía sea tomada frontalmente al punto de estudio y de la escala de referencia. Evitando así, imágenes que afecten la escala.

Para la toma de imágenes, se deberá tener en cuenta el clima. Pues este puede afectar la calidad de las imágenes, generándose, por ejemplo, brillos que eviten definir los bloques y la matriz por el reflejo del sol.

Según las limitaciones expuestas en la presente tesis, se cuenta con la dificultad para la conversión de la imagen en un formato tal que permita ser interpretado mediante software automáticamente en la determinación de porcentajes bloques-matriz, para la metodología propuesta se usó dos softwares.

- Para el caso de imagen J esta se dibuja manualmente y se convierte a un formato de blancos y negros, limitado en el tiempo que se tarda en realizar el dibujo en forma manual.
- Para el caso de Scion Image se convierte en formato de blancos y negros donde se definan los elementos bloques y matriz variando un umbral, este se ve limitado por tomar zonas que puedan no ser bloques.

Por lo anterior, se invita para futuros estudios un análisis digital de fotografía que permita mediante una metodología para la conversión automatizada y menos subjetiva para definir áreas de bloques y matriz.

Se sugiere la aplicación de la presente propuesta en el registro de taludes, determinando la incidencia de los bloques y matriz en estudio y modelos geotécnicos cuyos ambientes estén determinados por litologías volcánicas.

Se recomienda para la aplicación de la metodología en la determinación de la proporción bloque matriz, realizar un plan de campo que tenga en cuenta las limitaciones y dificultades que surgen en campo para la toma del registro fotográfico previniendo posibles daños a equipos o tiempos para la elaboración del estudio geotécnico.

Si bien autores como (Lindquist, 1994) concluyen comportamientos típicos del bloque matriz, la obtención de dichos parámetros in situ de del comportamiento bloque-matriz mediante ensayos como es el ensayo del cilindro hidráulico darán certeza del valor representativo, por ello se recomienda emplear metodologías conjuntas y el uso del criterio del profesional para la asignación de parámetros de resistencia en la estabilidad de un talud.

5.14 Dificultades o limitaciones

Como dificultades para el procesamiento de imágenes se encontró las siguientes:

Referente a trabajos de campo:

- Se debe contar con un tiempo climático favorable. Es decir, en lo posible nublado y sin lluvia, esto pues la lluvia impide el normal vuelo del dron, así como posibilita el daño de los equipos de campo: estación GigaPan y dron. Por otro lado, un sol fuerte provoca en las tomas un reflejo cuya posterior corrección es compleja o implica descartar la fotografía.
- Se recomienda que, para las tomas fotográficas mediante GigaPan, se tenga conocimiento en toma de fotos y manejo de cámara fotográfica, puesto que el producto final dependerá de las tomas logradas. Es decir, que estas cuenten con el enfoque, luz, traslapeo y demás características adecuadamente para ser procesadas.
- Se recomienda que el vuelo mediante dron sea realizado por personal capacitado. Para el caso de estudio, el vuelo fue mixto. Es (Marín, 2020) (Marín, 2020) decir, se programó su ruta de vuelo para ortofoto y piloteó manualmente para toma de fotografías específicas, esto debido a la presencia de obstáculos específicos en el sector, como fueron cables en la ruta de vuelo.

Referente a procesamiento de imágenes en software:

- Se presenta un error humano en el procesamiento de imágenes debido a la subjetividad en el procesamiento del software tanto para determinar los bloques de roca como para asumir el contorno negro o blanco que represente los bloques, este

se podrá disminuir dependiente del buen criterio del geotécnica, el apoyo del registro fotográfico, el número de muestreo del sector y la reevaluación fotográfica.

- La meteorización o capa vegetal puede afectar la determinación de porcentajes bloque- matriz, debido a que generará una zona que, al estar cubierta, presentará incertidumbre a la hora de determinar las características de la zona enmarcada para análisis.

Nota: Con el fin de poder reproducir las ortofoto o tomas de alta definición, se anexan las fotografías en grupo del registro fotográfico con dron y Gigapan ®.

Anexo A: Plano topográfico

Anexo B: Registro fotográfico con dron

Anexo C: Registro fotográfico para GigaPan

Bibliografía

- ANI, A. N. (2019). Volumen Geología- 4G Concesiones, Grupo 2 Centro Occidente.
- Ayala, L. (2019). Explorock SAC Soluciones Geológicas. Soluciones Geológicas: <https://www.explorock.com/clasificacion-de-los-depositos-sedimentarios/>.
- Barton, N., & Choubey, V. (1997). The shear strength of rock joints in theory and practice. *Rock Mechanics*, Vol 10, 1-54.
- Botero Garcia, M. L. (2015). Metodología para el estudio de Orientación Preferencial de Forma (OPF) en muestras de mano de roca y afloramiento a través de procesamiento digital de imagen. *Boletín De Ciencia De La Tierra*, (38).5-13. doi:doi.org/10.15446/rbct.n38.44724
- Bowles, J. (1997). *Foundation analysis and design*. McGraw-Hill.
- Braha M, D. (2013). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. Mexico: Cengage Learning Editores.
- Brand, E. W. (1998). *Guide to Rock and Soil Descriptions ,Geoguide 3*. Hong Kong, China: Geotechnical Engineering Office Civil Engineering and Development Department The Government of the Hong Kong Special Administrative Region.
- Caicedo, H. V. (2011). Revistas de ingeniería: Notas sobre sus orígenes. *Revista de Ingeniería Universidad de los Andes Colombia*, #34, pp. 11-15.
- Colmenares, J. E., Dávila, J. M., Vega, J., & Shin, J.-H. (2018). Tunnelling on terrace soil deposits: Characterization and experiences on the Bogota-Villavicencio road. *Geomechanics and Engineering*, 15(3), 899-910. doi:10.12989/gae.2018.15.3.899.
- Dietrich , S. L., & Reneau, W. E. (1991). Erosion rates in the southern oregon coast range: evidence for an equilibrium between hillslope evidence for an equilibrium between hillslope erosion and sediment yield. *Earth surface processes and landforms*, vol. 16 307-322 (1991). doi:10.1002/esp.3290160405.
- Escobar Toro, L. J. (2011). Clasificación y caracterización de suelos tropicales en un talud de la autopista Medellín-Bogota en el tramo de vía entre marinilla y santuario. Medellín : Tesis de Grado Maestría- Universidad Nacional.
- Fernández Navarro, H. A., & Ferrando Acuña, F. J. (2018). Glaciares rocosos en la zona semiárida de Chile: relevancia de un recurso hídrico sin protección normativa. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana* 27 (2): 338-355. doi:10.15446/rcdg.v27n2.63370

- González-Nicieza, C., Prendes-Gero, M., Fernandez-Rodriguez, R., & Lopez-Gayarre, F. (2013). A new test for the characterization of highly jointed rock masses. España: Rock Mechanics for Resources, Energy and Environment – Kwásniewski & Łydzba (eds).
- Hernández-Gutiérrez, L. (2015). *Ingeniería Geologica en Terrenos Volcanicos*. Madrid: J.C.
- Júares Badillo, R. R. (2005). *Mecanica de Suelos Tomo 1 Fundamentos de la mecanica de suelos*. Limusa.
- Kalender, A., Sonmez, H., Medley, E., Tunusluoglu, C., & Kasapoglu, K. (2014). An approach to predicting the overall strengths of unwelded bimrocks and bimsoils. *Engineering Geology*, 183, 65-79.
- Lindquist, E. S. (1994). *The Strenght and Deformation Properties of Melange*. California.
- Marín, J. M. (2020). Influencia de la geometría, proporción volumétrica de bloques y la gradación en la resistencia al corte de mezclas remoldeadas de suelo y roca. *Tesis de maestria, Universidad Nacional de Colombia*. Colombia.
- Medley, E. W. (1994). *The Engenineering Characterization of Melanges and Similar Blocks in Matrix Rocks (Bimrocks)*. University of california at berkeley.
- Nanclares Arango, F. J. (2018). Tesis doctoral, Comportamiento mecánico de suelos gruesos granulares de origen aluvial. Bogota, Colombia.
- Pinilla Ocampo, A., Ríos Blandon, P. A., Rodríguez Ramos, B. P., Sánchez Agilar, J. J., Pulgarín Alzate, B., Borrero Peña, C. A., & Roa Vargas, H. J. (2008). El Neogeno Volcanico en el Altiplano Nariñense, suroccidente Colombiano.-Geologia Colombiana.
- Potes, G. D. (2002). *Mecanica de Suelos*. Manizales.
- Ramos Cañón, A. M., Castro Malaver, L. C., & Padilla Bello, N. V. (2020). Incertidumbre en la determinación del Porcentaje Volumétrico de Bloques de BIMrocks/BIMsoil a partir de información unidimensional. *Boletín de Geociencia vol. 42, n.º 1, enero-abril de 2020*. doi:<http://dx.doi.org/10.18273/revbol.v42n1-2020004>
- Rodriguez, R., Nicieza, C., Gayarre, F., & Ramos Lopez, F. (2005). Application of hydraulic cylinder testing to determine the geotechnical properties of earth-filled dams. *Geomechanics and Engineering, Vol. 9, No. 4 (2015) 483-498*. <https://doi.org/10.12989/gae.2015.9.4.483>.
- Scion Corporation. (1998). *Manual Scion Imagen for Windows*. Chicago, EE.UU.
- Sönmez, H., Gokceoglu, C., Tuncay, E., Medley, E., & Hakan A, H. (2004). Relationships between Volumetric Block Proportions and Overall UCS of a Volcanic Bimrock.

FELSBAU - Rock and Soil Engineering – Journal for Engineering Geology, Geomechanics and Tunneling, 22(5), 27-34.

Systems, G. (2012). *GigaPan and the GigaPan logo are registered trademarks of Carnegie Mellon University licensed for use by GigaPan Systems.* .

Tien, Y., Lin, J.-S., Kou, M., Lu, Y., Chung, Y., Wu, T., & Lee, D. (2010). Uncertainty in Estimation of Volumetric Block Proportion of Bimrocks by Using Scanline Method. *44th U.S. Rock Mechanics Symposium and 5th U.S.-Canada Rock Mechanics Symposium. Utah, USA.*

Union Vial del sur, C. (2023). *uniondelsur*. Obtenido de <https://uniondelsur.website>

Wen-jie Xua, Z.-q. Y.-l. (2008). Study on the mesostructure and mesomechanical characteristics of the soil–rock mixture using digital image processing based. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 45 (2008), 749–762. doi:doi:10.1016/j.ijrmms.2007.09.003