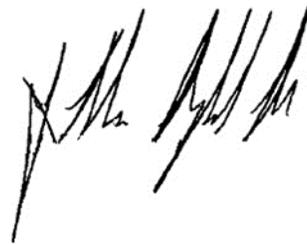


ESTUDIO DE AMENAZA VULNERABILIDAD Y RIESGO PARA UN TRAMO DE COLECTOR DE AGUAS RESIDUALES LADERA NORTE MUNICIPIO DE DOSQUEBRADAS



INFORME



MANIZALES- CALDAS

NOVIEMBRE DE 2022

TABLA DE CONTENIDO

1	<u>GENERALIDADES</u>	25
1.1	INTRODUCCIÓN	25
2	<u>LOCALIZACIÓN</u>	30
2.1	OBJETIVOS	32
2.1.1	OBJETIVO GENERAL	32
2.1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	32
3	<u>METODOLOGÍA</u>	34
5	<u>ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA</u>	37
5.1	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON DRONE	37
5.1.1	EQUIPOS UTILIZADOS.....	38
5.1.2	METODOLOGÍA DE POSICIONAMIENTO.....	45
5.1.3	TRABAJO DE CAMPO.....	52
5.2	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO ALTIMÉTRICO Y PLANIMÉTRICO --	54
5.2.1	INTRODUCCIÓN	54
5.2.2	PERSONAL.....	54
5.2.3	EQUIPOS UTILIZADOS EN EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	54
5.2.4	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO PROCESO DE CAMPO MATERIALIZACIÓN DE LOS DELTAS O PUNTOS DE CONTROL	55
5.2.5	METODOLOGÍA PLANIMÉTRICA	56
6	<u>ANTECEDENTES</u>	61
6.1	CONSULTAS NORMATIVAS	70
7	<u>ANÁLISIS MULTITEMPORAL</u>	74
8	<u>ESTUDIO GEOLÓGICO</u>	93
8.1	GEOLOGÍA REGIONAL	93
8.1.1	COMPLEJO CAJAMARCA.....	96
8.1.2	COMPLEJO QUEBRADAGRANDE (Kvc, Ksc)	100

8.1.3	STOCK DE CHINCHINÁ – SANTA ROSA (Kdg)	101
8.1.4	STOCK DE PEREIRA (Kgp).....	102
8.1.5	COMPLEJO ARQUIA (Kied, Kies)	102
8.1.6	FORMACIÓN BARROSO.....	104
8.1.7	GLACIS DEL QUINDÍO	105
8.1.8	DEPÓSITOS FLUVIOVOLCÁNICOS (Qvc)	105
8.1.9	DEPÓSITOS ALUVIALES RECIENTES (Qal)	106
8.1.10	DEPÓSITOS DE CAÍDA PIROCLÁSTICA (Qcp)	107
8.2	GEOLOGÍA LOCAL -----	108
8.2.1	GLACIS DEL QUINDÍO	108
8.2.2	DEPÓSITOS DE CAÍDA PIROCLÁSTICA	108
8.2.3	DEPÓSITOS ALUVIALES RECIENTES	110
8.3	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL -----	111
8.3.1	FALLA ROMERAL O SILVIA – PIJAO.....	114
8.3.2	FALLA CAUCA-ALMAGUER	115
8.3.3	MARCO TECTÓNICO LOCAL.....	115
8.4	GEOMORFOLOGÍA -----	117
8.4.1	CLASIFICACIÓN GEOMORFOLÓGICA DE ACUERDO A LA METODOLOGÍA DE ZINCK A. 2012	117
8.5	MORFOMETRÍA -----	123
8.5.1	RANGO DE PENDIENTES DE 0% AL 15%.....	126
8.5.2	RANGO DE PENDIENTES DEL 15% AL 30% DE INCLINACIÓN:	127
8.5.3	RANGO DE PENDIENTES DEL 30% AL 50%:	128
8.5.4	RANGO DE PENDIENTES DEL 50% AL 100%:	129
8.5.5	RANGO DE PENDIENTES AL 100%:	129
8.6	FORMACIONES SUPERFICIALES -----	131
8.6.1	DEPÓSITOS ANTRÓPICOS	135
8.6.2	DEPÓSITOS DE CAÍDA PIROCLÁSTICA	136

8.6.3	DEPÓSITOS ALUVIALES	137
8.6.4	ROCA METEORIZADA.....	138
8.7	USO DEL SUELO Y COBERTURA VEGETAL-----	139
8.7.1	VEGETACIÓN HERBÁCEA DESCUBIERTA	141
8.7.2	RASTROJO DE PORTE ALTO.....	141
8.7.3	GUADUAL	142
8.7.4	CULTIVOS	143
8.7.5	USO RESIDENCIAL.....	144
8.7.6	USO INSTITUCIONAL.....	145
8.7.7	ZONAS ERIALIES	146
8.8	PROCESOS EROSIVOS -----	147
8.8.1	MOVIMIENTOS EN MASA	149
9	ESTUDIO GEOTÉCNICO	165
9.1	DESCRIPCIÓN DE LAS PERFORACIONES-----	185
9.2	PERFIL DE METEORIZACIÓN ASOCIADO A LOS SONDEOS -----	190
9.3	ENSAYO SPT-----	192
9.4	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS MATERIALES-----	198
9.4.1	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS MATERIALES DE LOS DEPÓSITOS DE CAÍDA PIROCLÁSTICA	198
9.4.2	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS SUELOS DE LA FORMACIÓN GLACIS DEL QUINDÍO.....	202
9.5	EXPLORACIÓN GEOFÍSICA -----	206
9.5.1	EQUIPOS EMPLEADOS.....	207
9.5.2	REFRACCIÓN SÍSMICA	213
9.5.3	MASW.....	220
9.6	TOMOGRFÍA GEO ELÉCTRICA -----	223
9.6.1	OBJETIVOS	223
9.6.2	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SITIO DE TRABAJO	224

9.6.3	MATERIALES Y MÉTODOS	231
9.7	RESULTADO E INTERPRETACIÓN	241
9.7.1	RESULTADOS E INTERPRETACIÓN GEO ELÉCTRICA.....	241
9.8	PERFIL DEL SUELO	253
9.8.1	DEFINICIÓN DE LA ZONA DE AMENAZA	253
9.8.2	DEFINICIÓN DEL TIPO PERFIL DEL SUELO	257
10	INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA DE LA ZONA	261
10.1	INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA DE LA ZONA	264
10.1.1	PRECIPITACIÓN	264
10.1.2	TEMPERATURA.....	266
10.1.3	BRILLO SOLAR	267
10.1.4	HUMEDAD RELATIVA	269
10.1.5	EVAPORACIÓN	270
10.2	PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL CORRELACIONADA CON AÑOS DONDE SE PRESENTAN DESLIZAMIENTOS	272
11	EVALUACIONES HIDRÁULICAS	274
11.1	EVALUACIÓN TÉCNICA DE FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DEL COLECTOR LADERA NORTE	274
11.1.1	INSPECCIÓN DE CAMPO	275
11.1.2	CONEXIONES ERRADAS Y AGUAS DE ESCORRENTÍA	286
11.1.3	CHEQUEO FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DEL COLECTOR	287
11.2	CÁLCULO DE CAUDALES POR AGUAS RESIDUALES	289
11.3	CÁLCULO DE CAUDALES POR AGUAS LLUVIAS	291
11.3.1	PERIODO DE RETORNO	292
11.3.2	CURVAS DE INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA	293
11.3.3	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA	294
11.3.4	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	295

11.4 DISEÑO DE COLECTOR DE AGUAS RESIDUALES, COLECTOR LADERA NORTE	296

11.4.1 NIVEL DE COMPLEJIDAD	296
11.4.2 DETERMINACIÓN PERIODO DE DISEÑO	297
11.4.3 CALCULO DE CAUDALES.....	298
11.4.4 PARÁMETROS HIDRÁULICOS	300
11.4.5 CUADRO DE CÁLCULO:	305
11.5 DISEÑOS HIDRÁULICOS CANALES BAJANTES	307
11.5.1 DISEÑO HIDRÁULICO CANAL DE RÁPIDAS CON TAPA Y COLUMPIO	307
11.5.2 DISEÑO HIDRÁULICO CANAL ESCALONADO	312
<u>12 ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD POR DESLIZAMIENTO METODOLOGÍA DE</u>	<u>314</u>
<u>AMBALAGAN (1992)</u>	<u>314</u>
12.1 CALIFICACIÓN DE INDICADORES DE SUSCEPTIBILIDAD	316
12.1.1 SUSCEPTIBILIDAD POR CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS, GEOMORFOLÓGICAS Y GEOTÉCNICAS (Scg):.....	316
12.1.2 SUSCEPTIBILIDAD POR PENDIENTE DEL TERRENO (Spt):.....	318
12.1.3 SUSCEPTIBILIDAD POR USOS DE SUELO Y COBERTURA VEGETAL (Suc):	319
12.2 CALIFICACIÓN DE LOS FACTORES DETONANTES:-----	320
12.2.1 FACTOR DETONANTE POR SISMOS (FDS):.....	320
12.2.2 FACTOR DETONANTE POR PRECIPITACIÓN (Fdp):.....	321
12.2.3 FACTOR DETONANTE POR ERUPCIONES VOLCÁNICAS (FDEV)	322
12.3 CALCULO DE LA SUSCEPTIBILIDAD (SA)-----	323
<u>13 INESTABILIDAD</u>	<u>326</u>
13.1 APLICACIÓN DE LA SIMULACIÓN PROBABILÍSTICA DE MONTECARLO	326
MEDIANTE SIG -----	326
13.1.1 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES	328

13.1.2	MÉTODOS DETERMINÍSTICOS PARA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES	328
13.1.3	MÉTODO DE TALUD INFINITO PROBABILIDAD DE FALLA	328
13.1.4	MÉTODO PROBABILÍSTICO PARA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES 330	
13.1.5	PROBABILIDAD DE FALLA	331
13.1.6	MÉTODO DE MONTE CARLO	332
13.1.7	DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD	333
13.1.8	CRITERIOS PARA LA CLASIFICACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD Y PROBABILIDAD DE FALLA	336
13.2	METODOLOGÍA	338
13.3	DETERMINACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE FALLA MEDIANTE LA SIMULACIÓN DE MONTECARLO	340
13.4	APLICACIÓN DEL MÉTODO PROBABILÍSTICO DE MONTE CARLO HACIENDO USO DE LAS HERRAMIENTAS SIG	344
13.4.1	PRE – PROCESAMIENTO (DESARROLLADO EN LA HERRAMIENTA SIG) 344	
13.4.2	PROCESAMIENTO EJECUCIÓN DEL MODELO	351
13.4.3	POS – PROCESAMIENTO (DESARROLLADO EN LAS HERRAMIENTAS DE SIG) 356	
14	<u>AMENAZA</u>	363
14.1	EXPOSICIÓN	365
14.1.1	EXPOSICIÓN DE LOS ELEMENTOS	366
15	<u>ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD</u>	369
15.1	IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS EXPUESTOS	369
15.2	CARACTERIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS EXPUESTOS	371
15.3	VULNERABILIDAD INFRAESTRUCTURA SERVICIOS PÚBLICOS	372
15.3.1	EXPOSICIÓN SERVICIOS PÚBLICOS	373

15.3.2	LOCALIZACIÓN	373
15.3.3	EXPOSICIÓN DE LOS SERVICIOS PÚBLICOS	374
15.3.4	FRAGILIDAD SERVICIOS PÚBLICOS.....	375
15.3.5	INTENSIDAD DE MOVIMIENTOS RÁPIDOS EN LINEAS VITALES	376
15.3.6	CÁLCULO DE LA VULNERABILIDAD SERVICIOS PÚBLICOS COLECTOR 377	
15.3.7	ZONIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SERVICIOS PÚBLICOS COLECTOR.....	379
15.4	VULNERABILIDAD INFRAESTRUCTURA CANALES PRESENTES EN LA LADERA NORTE-----	380
15.4.1	LOCALIZACIÓN DE ELEMENTOS EVALUADOS	380
15.4.2	INTRODUCCIÓN	381
15.4.3	INSPECCIÓN VISUAL DE ESTRUCTURAS DE DRENAJE	382
15.4.4	PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DE DRENAJE 388	
15.4.5	CANAL RECTANGULAR EN CONCRETO DE LA EMPRESA DE ENERGÍA 393	
15.4.6	CANALES BAJANTES.....	429
15.5	VULNERABILIDAD VIVIENDAS -----	443
15.6	CONCLUSIONES VULNERABILIDAD -----	446
15.6.1	CONCLUSIÓN VULNERABILIDAD SERVICIOS PÚBLICOS COLECTOR 446	
15.6.2	CONCLUSIÓN VULNERABILIDAD CANAL RECTANGULAR DE LA EMPRESA DE ENERGÍA.....	446
15.6.3	CONCLUSIÓN VULNERABILIDAD DE LOS CANALES BAJANTES	446
15.6.4	CONCLUSIÓN VULNERABILIDAD DE LAS VIVIENDAS.....	447
16	RIESGO	448
16.1	CÁLCULO DEL RIESGO.-----	448

16.1.1	PÉRDIDAS ECONÓMICAS DIRECTAS O INDIRECTAS.	449
16.2	EVALUACIÓN DEL RIESGO.	450
16.2.1	CATEGORIZACIÓN DEL RIESGO.	452
16.2.2	CATEGORÍAS DEL RIESGO Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN.	455
16.2.3	RIESGO ALTO MITIGABLE O NO MITIGABLE.	457
16.3	CONCLUSIÓN RIESGO	459
17	CONCLUSIONES	462

Lista de Figuras

Figura 1.	Fotografías de la problemática en el sitio	26
Figura 2.	Fotografías de la problemática en el sitio	27
Figura 3.	Fotografías de la problemática en el sitio	28
Figura 4.	Fotografías de la problemática en el sitio	29
Figura 5.	Localización del área de estudio	30
Figura 6.	Localización general	31
Figura 7.	Diagrama metodológico	36
Figura 8.	Equipo utilizado	38
Figura 9.	Certificado de equipos GNSS	40
Figura 10.	Principio de las mediciones RTK	42
Figura 11.	Principio de la técnica NTRIP	47
Figura 12.	Fotografías aéreas.....	49
Figura 13.	Ortofotografía generada.....	51
Figura 14.	Registro fotográfico levantamiento topográfico	57
Figura 15.	Registro fotográfico levantamiento topográfico	58
Figura 16.	Registro fotográfico levantamiento topográfico	59
Figura 17.	Plano detallado levantamiento topográfico	60
Figura 18.	Imagen de la afectacion con el deslizamiento a la parte baja de la ladera	63
Figura 19.	Imagen del deslizamiento	64
Figura 20.	Afectacion del sector de la Esneda con el deslizamiento	64
Figura 21.	deslizamiento del año 1976 y la de la derecha es del deslizamiento de febrero del 2022	68
Figura 22.	Áreas en condición de riesgo por inundación.	72
Figura 23.	Riesgo por fenomenos de remocion en masa	73

Figura 24.	Foto aérea del año 1985.....	77
Figura 25.	Foto aérea del año 2006.....	79
Figura 26.	Foto aérea del año 2014.....	81
Figura 27.	Foto aérea del año 2015.....	83
Figura 28.	Foto aérea del año 2016.....	85
Figura 29.	Foto aérea del año 2018.....	87
Figura 30.	Foto aérea 2020.....	88
Figura 31.	Foto aérea del año 2022.....	89
Figura 32.	Deslizamiento registrado en el año 2022.....	90
Figura 33.	Deslizamiento de 1976	91
Figura 34.	Mapa geológico donde se enmarca en el cuadro rojo la zona de interés	95
Figura 35.	Mapa geológico	109
Figura 36.	En la imagen se puede apreciar los depósitos de caída pirocástica.....	110
Figura 37.	Mapa Geológico de Risaralda(En el círculo rojo se enmarca la zona de estudio)	113
Figura 38.	Principales fallas asociadas al municipio de Dosquebradas.	116
Figura 39.	Mapa geomorfológico de la zona de estudio	119
Figura 40.	En la imagen se observa la geoforma de ladera estructural donde se ubica la zona de interés.....	120
Figura 41.	Geoforma de escarpe	121
Figura 42.	Zonas Antropogénicas	122
Figura 43.	Relación de pendientes.....	123
Figura 44.	Mapa morfométrico de la zona de estudio.....	125
Figura 45.	Rango de pendientes entre 0% y 15%	126
Figura 46.	Rango de pendientes del 15% al 30%	127
Figura 47.	Rango de pendiente entre el 30 y el 50%	128

Figura 48.	Rango de pendientes del 50% al 100%.	129
Figura 49.	Rango de pendientes superior al 100%.	130
Figura 50.	Mapa de formaciones superficiales	134
Figura 51.	En la imagen se observa la formación superficial depósitos antrópicos, la cual se caracteriza por ser una mezcla de materiales (suelos- cenizas y rocas)	135
Figura 52.	Depósitos de caída piroclástica, presentes en la zona de trabajo como formación superficial.....	136
Figura 53.	Rocas provenientes del rio Otún.....	137
Figura 54.	Formación superficial corresponde a roca meteorizada del Glacis del Quindío	138
Figura 55.	Mapa de uso del suelo y cobertura vegetal	140
Figura 56.	Uso del suelo correspondiente a rastrojo, ubicados en las márgenes de la ladera.....	141
Figura 57.	Aspecto del gradual, que se destaca en la parte alta de la ladera	142
Figura 58.	Cultivos de café con sombrío de plátano	143
Figura 59.	En la foto se observa las viviendas localizadas en la parte baja de la ladera.	144
Figura 60.	Colegio Diocesano.....	145
Figura 61.	Zonas eriales, asociados a el deslizamiento de la ladera norte.	146
Figura 62.	Mapa de procesos morfodinámicos	148
Figura 63.	Caída de roca	149
Figura 64.	Imagen ilustrativa de un deslizamiento rotacional.....	150
Figura 65.	Imagen ilustrativa de un deslizamiento translacional.	150
Figura 66.	Aspecto ilustrativo del fenómeno de reptación.....	151
Figura 67.	En la imagen se ilustra los fenómenos asociados a los flujos.....	152
Figura 68.	En la figura se destacan las partes de un deslizamiento.	153

Figura 69.	La figura indica los Movimiento simple.....	154
Figura 70.	Movimiento múltiple (Hutchinson, 1968).....	155
Figura 71.	Movimiento sucesivo (Hutchinson, 1968).....	155
Figura 72.	Aspecto del deslizamiento que afecto el talud	160
Figura 73.	Fenómenos de reptación	161
Figura 74.	Cicatrices de deslizamiento, presentes en la zona de estudio	162
Figura 75.	Empozamientos presentes en la cancha del colegio diocesano ..	163
Figura 76.	Fenómeno de socavación lateral	164
Figura 77.	Localizacion de sondeos	166
Figura 78.	Panorámicas de las perforaciones	168
Figura 79.	Panorámicas de las muestras extraidas	169
Figura 80.	Panorámicas de las muestras extraidas	170
Figura 81.	Panorámicas de las muestras extraidas	171
Figura 82.	Panorámicas de las muestrars extraidas	172
Figura 83.	Panorámicas de las perforaciones	173
Figura 84.	Panorámicas de las perforaciones	174
Figura 85.	Panorámicas de las muestras extraidas	175
Figura 86.	Panorámicas de las muestras extraidas	176
Figura 87.	Panorámicas de las muestras extraidas	177
Figura 88.	Panorámicas de las muestras extraidas	178
Figura 89.	Panorámicas de las muestras extraidas	179
Figura 90.	Panorámicas de las perforaciones y muestras extraidas.....	180
Figura 91.	Panorámicas de las muestras extraidas	181
Figura 92.	Panorámicas de las muestras extraidas	182
Figura 93.	Panorámicas de las muestras extraidas	183
Figura 94.	Panorámicas de las muestras extraidas	184
Figura 95.	Planas De Localizacion Perfiles Estratigraficos	186
Figura 96.	Perfil estratigráfico 1	187

Figura 97.	Perfil estratigráfico 2	188
Figura 98.	Perfil estratigráfico 3	189
Figura 99.	Perfil meteorización Deere y Patton	190
Figura 100.	Figura cuchara partida	192
Figura 101.	Clasificación de muestras depósitos de caída piroclástica	199
Figura 102.	Clasificación de muestras de suelos de la Formación Glacis del Quindío	203
Figura 103.	Fotografías e campo del ensayo hecho en campo	209
Figura 104.	Fotografías e campo del ensayo hecho en campo	210
Figura 105.	Fotografías e campo del ensayo hecho en campo	211
Figura 106.	Software análisis de datos para el ensayo MASW y refracción sísmica	212
Figura 107.	Perfil sísmico compuesto por la línea sísmica LRS-1	217
Figura 108.	Perfil sísmico compuesto por la línea sísmica LRS-2	218
Figura 109.	Perfil velocidad onda MASW-1	221
Figura 110.	Perfil velocidad onda MASW-2	222
Figura 111.	Ubicación del sitio de estudio en el área metropolitana de Pereira, ubicación de las líneas de tomografía geoelectrónica (color naranja) y superficie de deslizamiento (color rojo) en el área de estudio	224
Figura 112.	Modelo digital de elevaciones escala local	226
Figura 113.	Mapa de pendientes para la zona de estudio	226
Figura 114.	Hidrografía sub – regional	228
Figura 115.	Modelo de drenajes	228
Figura 116.	Ubicación del área de interés en el trazo de la zona de falla de romeral (ZFR)	229
Figura 117.	Unidades geológicas aflorantes, a escala sub – regional en el área de estudio	230
Figura 118.	Valores de resistividades de las rocas	233

Figura 119.	Esquema general para la adquisición de datos de tomografía geoelectrica	233
Figura 120.	KARDONTGA – 24	234
Figura 121.	Ubicación del perfil de tomografía geoelectrica	235
Figura 122.	Modelo utilizado por el software de inversion	235
Figura 123.	Tomografía 1 La Badea	236
Figura 124.	Tomografía 2 La Badea	237
Figura 125.	Fotografías de la problemática en el sitio	238
Figura 126.	Mapa de la componente regional de la anomalía gravimetrica 240	
Figura 127.	Resistividades de zonas saturas	242
Figura 128.	Tomografía geelectrica 1 La Badea interpretada.....	243
Figura 129.	Tomografía geelectrica 2 La Badea interpretada.....	243
Figura 130.	Proyeccion en superficie de las zonas saturadas interpretadas en las tomografías 1 y 2.....	244
Figura 131.	Proyeccion en superficie de la interpolacion de las zonas saturadas interpretadas en la tomografía 1 y 2	245
Figura 132.	Mapa de anomalía gravimetrica interpretando un depocentro sedimentario	246
Figura 133.	Ubicación en el area metropolitana de Pereira de depocentro sedimentario interpretado a partir de mapa de anomalía gravimetrica ..	247
Figura 134.	Abanico del Quindío y otros depósitos cuaternarios (MGC, 2015) sobrepuestos a mapa de anomalía gravimétrica.	247
Figura 135.	Pórfido andesítico de Pereira (MGC, 2015) sobrepuesto a mapa de anomalía gravimétrica.	248
Figura 136.	Stock gabrodiorítico de Santa Rosa (MGC, 2015) sobrepuesto a mapa de anomalía gravimétrica.	248

Figura 137.	Formación Barroso (MGC, 2015) sobrepuesto a mapa de anomalía gravimétrica.....	249
Figura 138.	Formación Quebradagrande (MGC, 2015) sobrepuesto a mapa de anomalía gravimétrica.....	249
Figura 139.	Dirección De flujo de las escorrentías superficiales y del canal e flujo de agua subterránea modelado tomográficamente	251
Figura 140.	Vista en planta del Perfil usado para el modelo geológico conceptual propuesto.....	252 252
Figura 141.	Mapa de valores de Aa	254
Figura 142.	Mapa de valores de Av.....	255
Figura 143.	Coefficiente de amplificación Fa.....	258
Figura 144.	Coefficiente de amplificación Fv	259
Figura 145.	Localización estaciones meteorológica y el sitio de estudio	262
Figura 146.	Precipitación total mensual estación aeropuerto matecaña.....	265
Figura 147.	Número de días con lluvia estación aeropuerto matecaña.....	265
Figura 148.	Temperatura estación aeropuerto matecaña	266
Figura 149.	Brillo solar estación aeropuerto matecaña	268
Figura 150.	Humedad relativa estación aeropuerto matecaña	269
Figura 151.	Evaporación estación aeropuerto matecaña.....	270
Figura 152.	Evapotranspiración potencial estación aeropuerto matecaña.....	271
Figura 153.	Precipitación media mensual estación aeropuerto Matecaña vs precipitación en los meses de registros de deslizamientos	273
Figura 154.	Colector existente.....	274
Figura 155.	Inspección de campo.....	276
Figura 156.	Inspección de campo.....	277
Figura 157.	Inspección de campo.....	278
Figura 158.	Inspección de campo.....	279
Figura 159.	Inspección de campo.....	280

Figura 160.	Inspeccion de campo.....	281
Figura 161.	Inspeccion de campo.....	282
Figura 162.	Inspeccion de campo.....	283
Figura 163.	Inspeccion de campo.....	284
Figura 164.	Canal de descarga	285
Figura 165.	Conexiones erradas y aguas de escorrentia	286
Figura 166.	Zonas de expansion y desarrollo Dosquebradas	289
Figura 167.	Cálculo de caudales alcantarillado	290
Figura 168.	Curvas de intensidad – duracion - frecuencia.....	293
Figura 169.	Asignacion del nivel de complejidd.....	297
Figura 170.	Periodo de diseño.....	298
Figura 171.	Zonas de expansion y desarrollo Dosquebradas	299
Figura 172.	Calculo de caudales – alcantarillado	299
Figura 173.	Canal de rápidas con tapa y columpio.....	309
Figura 174.	Esquema canal propuesto.....	313
Figura 175.	Mapa de susceptibilidad por deslizamiento	324
Figura 176.	Analisis de talud infinito	329
Figura 177.	Distribucion de frecuencias del factor de seguridad (Chrstian ot al. 1994).	331
Figura 178.	Probabilidad de falla según Vanmarcke	332
Figura 179.	Graficas función de probabilidad y función de probabilidad acumulada (Ruselli, 2008)	335
Figura 180.	Clasificacion DE la amenaza de un talud ante un deslizamiento.	336
Figura 181.	Criterio para la clasificacion de la amenaza en funcione de la probabuilidad de falla	337
Figura 182.	Clasificacion de la amenaza de un talid	342
Figura 183.	Formula cálculo Factor de Seguridad (FS). Talud Infinito	344
Figura 184.	Levantamiento Topografico de la zona de estudio	345

Figura 185.	DTM – Modelo Figital Del Terreno.....	346
Figura 186.	Hillshade – Mapa de sombras de laderas (Mapa de relieve)	347
Figura 187.	Mapa de pendientes naturales del terreno	348
Figura 188.	Mapa DE espesores de suelo blando (Z) en metros	349
Figura 189.	Red de muestreo	350
Figura 190.	Tabla de las 2075 muestras con datos de pendientes (SLOPE) y de espesor de suelo blando (Z)	351
Figura 191.	Valores de Cohesion, angulo de friccion y peso unitario	352
Figura 192.	Zonificacion basica de amenaza – metodo deterministico talud infinito	354
Figura 193.	Zonificacion basica de amenaza – metodo probabilistico	355
Figura 194.	Mapa - Escenario 1: Método Montecarlo - talud en condiciones ESTATICAS con nivel de aguas freáticas 0% (Drenado-Seco)	357
Figura 195.	Mapa - Escenario 2: Método Montecarlo - talud en condiciones ESTATICAS con nivel de aguas freáticas 50% (Parcialmente Saturado)	358
Figura 196.	Mapa - Escenario 3: Método Montecarlo - talud en condiciones ESTATICAS con nivel de aguas freáticas 100% (Totalmente Saturado)	359
Figura 197.	Mapa - Escenario 4: Método Montecarlo - talud en condiciones DINAMICAS con nivel de aguas freáticas 0% (Drenado-Seco).....	360
Figura 198.	Mapa - Escenario 5: Método Montecarlo - talud en condiciones DINAMICAS con nivel de aguas freáticas 50% (Parcialmente Saturado)	361
Figura 199.	Mapa - Escenario 6: Método Montecarlo - talud en condiciones DINAMICAS con nivel de aguas freáticas 100% (Totalmente Saturado)	362
Figura 200.	Zonificacion basica de amenaza pro deslizamiento emtodo deterministico.....	364
Figura 201.	Zona de exposición de los elementos ante un movimiento en masa	365
Figura 202.	Mapa de amenaza por deslizamiento	367

Figura 203.	Localización colector ladera Norte.	373
Figura 204.	Curvas de fragilidad de los elementos expuestos	378
Figura 205.	Localización canal empresa de energía de pereira.....	380
Figura 206.	Localización canales de descole existentes	381
Figura 207.	Formato de campo para estructuras de drenaje	392
Figura 208.	Fotos canal trapezoidal unidad 1 y 2.....	395
Figura 209.	Fotos canal rectangular unidad 3 a 7.....	396
Figura 210.	Fotos canal rectangular unidad 3 a 7.....	397
Figura 211.	Fotos canal rectangular unidades 8 a 11	398
Figura 212.	Fotos canal rectangular unidades 12 a 18	399
Figura 213.	Fotos canal rectangular unidades 19 a 22	400
Figura 214.	Fotos canal rectangular unidades 22 a 29	401
Figura 215.	Formato para inspección visual unidad 1-6	402
Figura 216.	Formato para inspección visual unidad 1-6	403
Figura 217.	Formato para inspección visual unidad 7-12	404
Figura 218.	Formato para inspección visual unidad 12-17	405
Figura 219.	Formato para inspección visual unidad 17-21	406
Figura 220.	Formato para inspección visual unidad 22-29	407
Figura 221.	Registro fotográfico de toma de núcleos de concreto en el canal rectangular de la empresa de energía.....	409
Figura 222.	Registro fotográfico de toma de núcleos de concreto en el canal rectangular de la empresa de energía.....	410
Figura 223.	Equipo de esclerometría	413
Figura 224.	Correlación Miller (1965) compresión simple de la roca k0+000 – k0+100	414
Figura 225.	Correlación Miller (1965) compresión simple de la roca k0+120 – k0+220	416

Figura 226.	Correlación Miller (1965) compresión simple de la roca k0+240 – k0+340	418
Figura 227.	Correlación Miller (1965) compresión simple de la roca k0+360 – k0+460	420
Figura 228.	Correlación Miller (1965) compresión simple de la roca k0+480 – k0+560	422
Figura 229.	Curvas de fragilidad de los elementos expuestos	427
Figura 230.	Canal de descole K0+000	430
Figura 231.	Canal de descole K0+000	431
Figura 232.	Canal de descole K0+125	432
Figura 233.	Canal de descole K0+200	433
Figura 234.	Canal de descole K0+340	434
Figura 235.	Canal de descole K0+430	435
Figura 236.	Canal de descole K0+530	436
Figura 237.	Canal de descole K0+530	437
Figura 238.	Curvas de fragilidad de los elementos expuestos	441
Figura 239.	Mapa de riesgo por deslizamiento.....	460

Lista de Tablas

Tabla 1.	Relación fotos aéreas	75
Tabla 2.	Convenciones utilizadas en el analisis multitemporal	75
Tabla 3.	Tabla de pendiente en la zona de estudio	124
Tabla 4.	Clasificación de las formaciones Superficiales (Hermelin, 1.985)	132
Tabla 5.	Características de sondeos realizados	167
Tabla 6.	Consistencia y correlación aproximada con el número de penetración estándar N	195
Tabla 7.	Ensayo SPT Sondeo 1	195
Tabla 8.	Ensayo SPT Sondeo 2.....	196
Tabla 9.	Ensayo SPT Sondeo 3.....	196
Tabla 10.	Ensayo SPT Sondeo 4	197
Tabla 11.	Propiedades mecánicas de los depósitos de caída piroclástica ..	201
Tabla 12.	Propiedades mecánicas de los suelos del Glacis del Quindío.....	205
Tabla 13.	Resumen velocidades de onda líneas de refracción sísmica.....	219
Tabla 14.	Georeferenciacion de vertices del area de estudio	224
Tabla 15.	Valores de Aa y Av para los municipios de Risaralda según NSR-10. 256	
Tabla 16.	Clasificación perfil del suelo	257
Tabla 17.	Coeficientes de amplificación Fa y Fv	260
Tabla 18.	Características estacion	263
Tabla 19.	Chequeo funcionamiento hidraulico del colector	287
Tabla 20.	Periodos de retorno o grado de proteccion	292
Tabla 21.	Coeficiente de escorrentia o impermeabilidad.....	294
Tabla 22.	Tiempo de concentracion y caudales por inmuebles.....	295
Tabla 23.	Profundidad mínima de colectores	303

Tabla 24.	Calculo caudal demandado para el CRTC	311
Tabla 25.	Resultados CRTC	311
Tabla 26.	Rangos de susceptibilidad por deslizamiento.	315
Tabla 27.	Susceptibilidad por las características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas.....	316
Tabla 28.	Calificación susceptibilidad por características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas.....	317
Tabla 29.	Calificación de Susceptibilidad por la pendiente del terreno.....	318
Tabla 30.	Susceptibilidad por uso del suelo y cobertura vegetal.....	319
Tabla 31.	Valor del factor detonante por sismo.....	320
Tabla 32.	Valor del factor detonante por precipitación.....	321
Tabla 33.	Calculo de susceptibilidad.....	323
Tabla 34.	Tabla de las 2075 muestras con datos de pendiente (SLOPE) y de espesor de suelo blanco (Z) extraidos e los mapas del SIG.....	350
Tabla 35.	Matriz de evaluación de la amenaza	363
Tabla 36.	Elementos expuestos	370
Tabla 37.	Interpretación de las zonas de exposición.	374
Tabla 38.	Parámetros de fragilidad de red de alcantarillado	375
Tabla 39.	Parámetros de intensidad según el tipo de estructura.....	376
Tabla 40.	Clasificación de la vulnerabilidad para edificaciones y líneas vitales 379	
Tabla 41.	Formato de campo para estructuras de drenaje	393
Tabla 42.	Tabla abscisado toma de muestra de núcleos.....	411
Tabla 43.	Tabla abscisado toma de muestra de núcleos.....	412
Tabla 44.	Resultados ensayos esclerometría	415
Tabla 45.	Resultados ensayos esclerometría	417
Tabla 46.	Resultados ensayos esclerometría	419
Tabla 47.	Resultados ensayos esclerometría	421

Tabla 48.	Resultados ensayos esclerometría	423
Tabla 49.	Interpretación de las zonas de exposición.	424
Tabla 50.	Parámetros de fragilidad de red de alcantarillado	425
Tabla 51.	Clasificación de la vulnerabilidad para edificaciones y líneas vitales 428	
Tabla 52.	Parámetros de fragilidad de red de alcantarillado	439
Tabla 53.	Clasificación de la vulnerabilidad para edificaciones y líneas vitales 442	
Tabla 54.	Tipología de edificaciones	443
Tabla 55.	Impacto de los eventos sobre los elementos expuestos	449
Tabla 56.	Categorías de riesgo, según costo aproximado de daño	451
Tabla 57.	Riesgo en bienes físicos	453
Tabla 58.	Categorización el riesgo en personas	454
Tabla 59.	Riesgo en bienes físicos y personas.....	454
Tabla 60.	Caracterización del riesgo total.....	455
Tabla 61.	Intervenciones según cada categoría.....	456
Tabla 62.	Matriz de evaluación del riesgo	459

CUADRO DE RESPONSABLES

Cargo	Nombre	Matricula profesional	Títulos	Firma
Director de consultoría e ingeniero hidraulico	Jorge Alonso Aristizábal Arias	17202-42749 CId	Ingeniero Civil. Especialista En Vías Y Transportes. Especialista En Geotecnia. Especialista En Aprovechamiento De Recursos Hidráulicos. Magister En Gestión Del Riesgo.	
Especialista en hidráulica	Jacobo Andrés sierra largo	17202-092201 CId	Ingeniero Civil. Especialista en gerencia de proyectos. Master En Lean Project Manangement En CEIPA.	
Especialista en Geotecnia	Diana Carolina Arias Valencia	17202-330097 CId	Ingeniera Civil. Especialista En Geotecnia. Magister En Ciencias De La Tierra.	
Especialista en Geotecnia	María Camila Gómez Zapata	17228-302798 CId	Ingeniera Civil. Especialista En Vias Y Transportes. Especialista En Geotecnia. Magister En Ingenieria – Infraestructura Y Sistemas De Transporte.	
Geólogo	Lux Clemencia Hincapie Salazar	3222	Geóloga	
Ingeniero Auxiliar	Juan David Morales Castañeda	051037-0521930 CId	Ingeniero Civil Especialista En Vias Y Transportes	

ESTUDIO DE AMENAZA VULNERABILIDAD Y RIESGO PARA UN TRAMO DE COLECTOR DE AGUAS RESIDUALES LADERA NORTE MUNICIPIO DE DOSQUEBRADAS

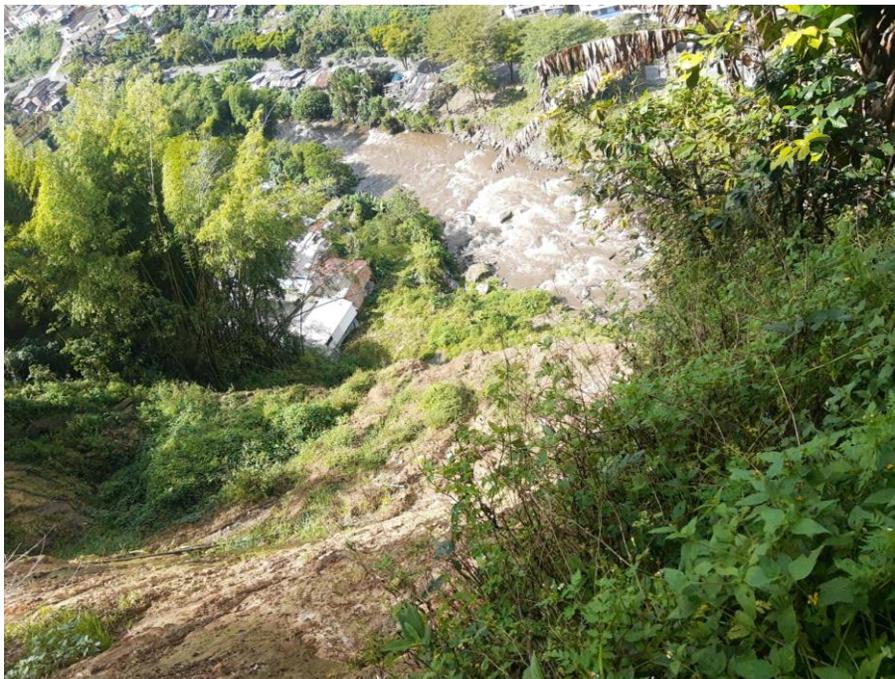
1 GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

La empresa de servicios públicos domiciliarios Serviciudad ESP y la empresa Quasar Ingenieros Consultores firmaron el contrato SF 100-2022 con objeto "Estudio de amenaza vulnerabilidad y riesgo para un tramo del colector de aguas servidas de una longitud cercana a 500 m perteneciente a Serviciudad que fue construido en el sector cárcel de mujeres, seminario mayor y colegio Diocesano municipio Dosquebradas y adicionalmente evaluar el riesgo y la susceptibilidad a la amenaza del trazado proyectado del tramo del interceptor ladera norte en el área de influencia del evento, específicamente del tramo.", debido a que se presenta movimiento en masa a lo largo de la zona que está siendo afectada debido a los fuertes episodios de lluvias.

A continuación, se muestran una serie de fotografías donde se puede evidenciar la magnitud de los problemas allí presentes:

Figura 1. Fotografías de la problemática en el sitio



Fuente: (Propia, 2022)

Figura 2. Fotografías de la problemática en el sitio



Fuente: (Propia, 2022).

Figura 3. Fotografías de la problemática en el sitio



Fuente: (Propia, 2022)

Figura 4. Fotografías de la problemática en el sitio



2 LOCALIZACIÓN

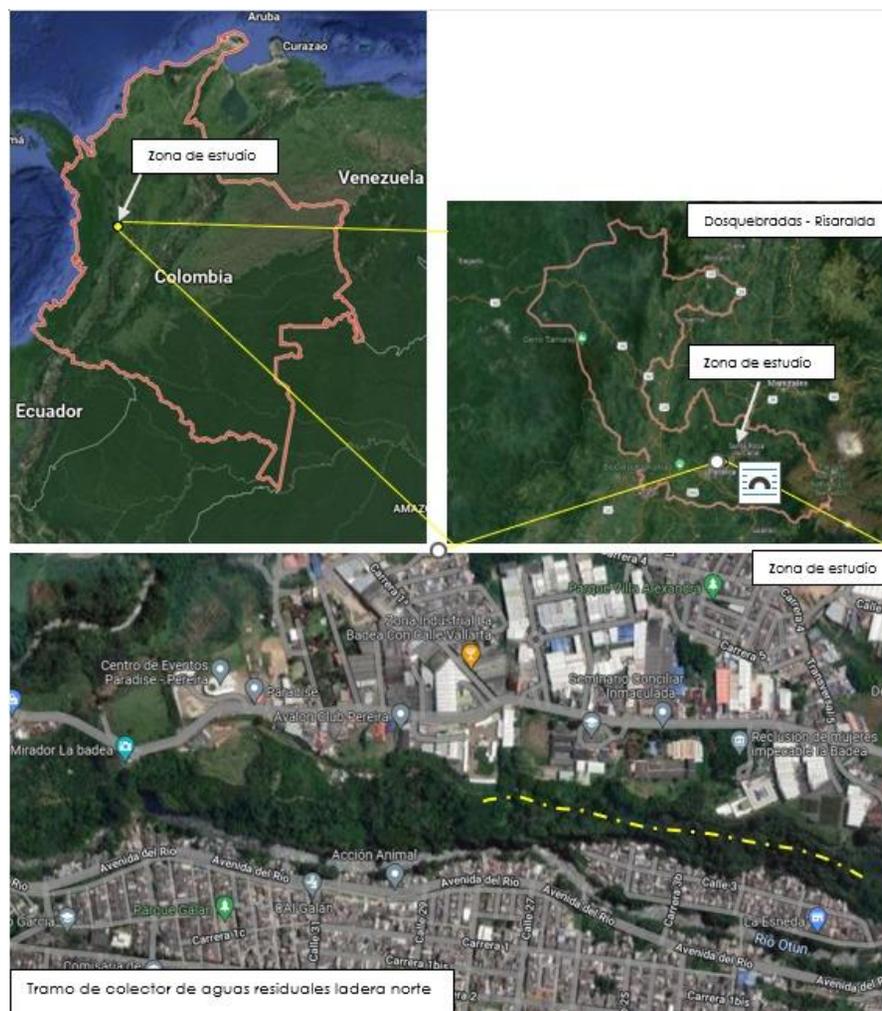
El área de estudio se ubica en el flanco occidental de la cordillera central, en el Departamento de Risaralda, más exactamente en el barrio La Esneda talud norte del municipio de Dosquebradas.

Figura 5. Localización del área de estudio



Fuente: Google Earth.

Figura 6. Localización general



Fuente: (Propia, 2022).

<p>Carrera 21 #64^a-33 Edificio Multiplaza oficina 1207 Tel. 8934298 e-mail: quasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIO DE AMENAZA VULNERABILIDAD Y RIESGO PARA UN TRAMO DEL COLECTOR DE AGUAS RESIDUALES LADERA NORTE MUNICIPIO DOSQUEBRADAS</p>	<p>Página 31</p>
--	--	------------------

2.1 OBJETIVOS

2.1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el estudio de amenaza vulnerabilidad y riesgo para un tramo del colector de aguas residuales ladera norte municipio Dosquebradas.

2.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar y analizar la información existente de la zona.
- Realizar el levantamiento topográfico detallado del sector con el fin de identificar todos los elementos de la zona, el área afectada, las obras comprometidas y en general toda la información de campo indispensable para una adecuada evaluación.
- Desarrollar el estudio geológico de la zona en donde se caracterice las unidades geológicas, geología estructural, morfometría, formaciones superficiales, usos y cobertura del suelo.
- Determinar la evolución de los procesos de remoción en masa y consecuentemente las zonas de riesgo.

- Realizar la prospección geotécnica de campo, definiendo los sitios de perforación y la profundidad de los sondeos, con el fin de obtener el muestreo y posterior caracterización de los suelos presentes. También realizar los ensayos de campo y de laboratorio, a fin de obtener los parámetros físicos y propiedades de los suelos, y parámetros de resistencia al cortante, necesarios para la modelación geotécnica y diseños de las obras de estabilidad en el sitio antes reseñado.
- Realización de ensayos geofísicos, a partir de la exploración con refracción sísmica y ensayos MASW y líneas geo eléctricas.
- Realizar los cálculos hidrológicos, hidráulicos de la zona de estudio, para terminar caudales demandados y proponer las obras requeridas en las zonas
- Evaluar y determinar el grado de amenaza y la condición de vulnerabilidad de los elementos expuestos, se procederá a realizar la evaluación del riesgo de estos elementos y la población cercana a la zona de influencia del estudio.
- Proponer y diseñar las obras de mitigación a detalle más adecuadas para dichos sectores. Lo anterior incluye las recomendaciones, presupuestos y especificaciones técnicas para la construcción de las obras propuestas.

3 METODOLOGÍA

La metodología empleada se realiza en 3 etapas definidas:

- **Recopilación de información:**

Recopilación de la información existente y antecedentes relacionados con la zona y a las temáticas afines con las áreas de interés ambiental involucradas en y a la base cartográfica empleada para el proceso, e información complementaria suministrada por la entidad contratante. Adicionalmente se realizará la consulta de libros como la *"Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa"* (Servicio Geológico Colombiano, 2015), en donde se definen los parámetros para la realización de estudios de riesgo por movimientos en masa.

- **Reconocimiento en campo:**

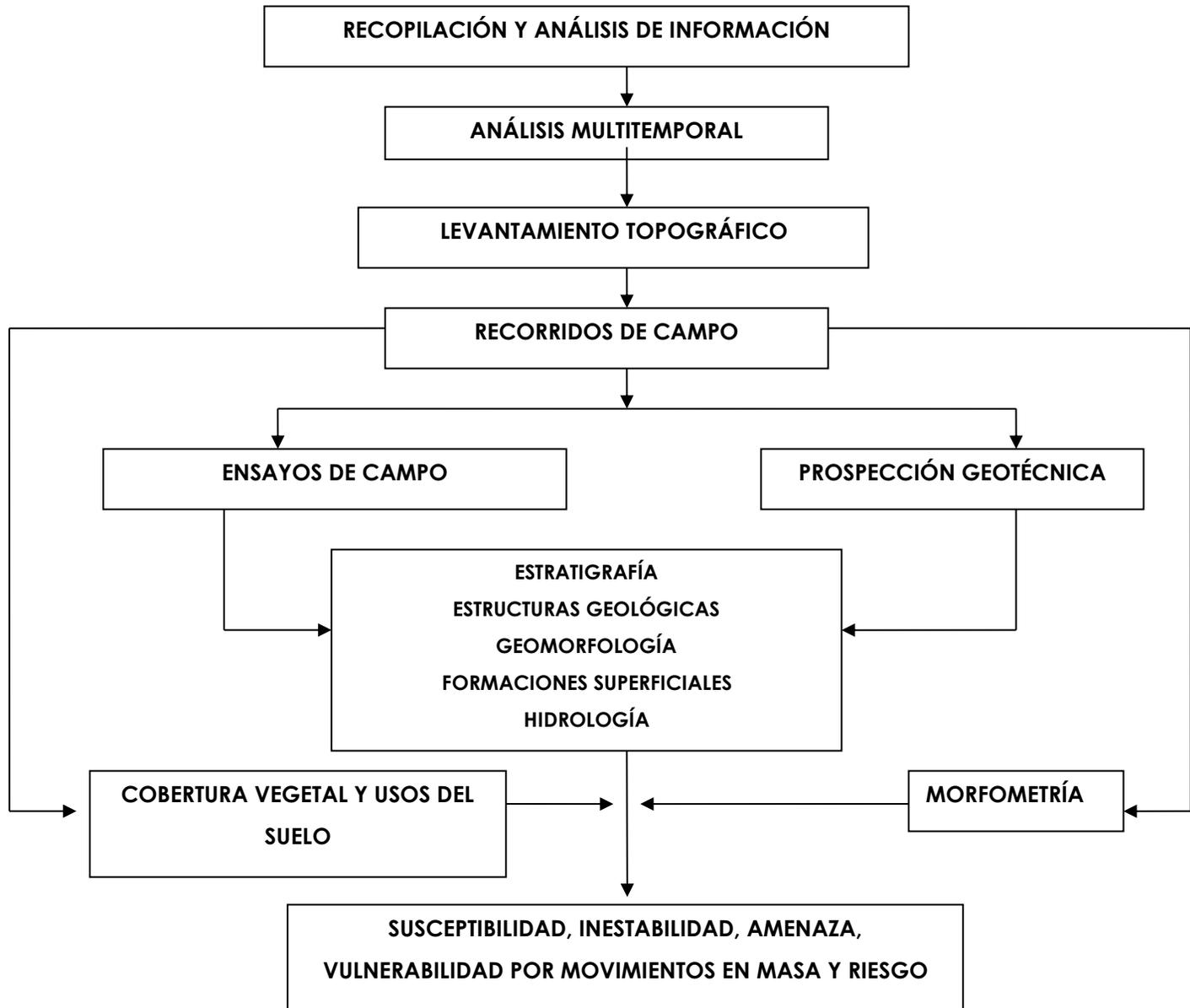
Se hace inspección detallada del área en campo, con el fin de capturar toda la información relacionada con el estudio. Se adelantan las labores de prospección en campo, toma de muestras y ensayos de campo acuerdo a los recorridos del grupo interdisciplinario que trabaja en la elaboración de este informe.

- **Proceso de análisis de la información:**

Con los datos obtenidos se construye el informe, el cual incluye procesamiento de información primaria y construcción de los mapas de todas las temáticas asociadas, para este proceso se cuenta con la ayuda de programas especializados, los cuales permiten definir la microzonificación con el asocio y cruce de los mapas obtenidos.

En todas las temáticas obtenidas se emplea la recopilación de datos existentes, el reconocimiento e inspección de la zona de estudio y los datos obtenidos de las labores descritas con anterioridad, para finalmente implementar procedimientos mediante metodologías aplicadas con los programas descritos.

Figura 7. Diagrama metodológico



5 ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA

5.1 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON DRONE

La consolidación del GPS como herramienta primordial para el posicionamiento preciso, ha permitido el perfeccionamiento de los métodos de observación y de igual forma ha dado paso a la innovación en cuanto a estos se refiere. La tendencia está orientada a la búsqueda de mejores exactitudes en las determinaciones, minimizando el grado de complejidad que implica una medición GPS y su costo.

El desarrollo tecnológico experimentado por las técnicas de posicionamiento geodésico satelital y las telecomunicaciones a través de la Internet, ofrecen a todo usuario en general y en especial a los vinculados con las geociencias, una nueva opción para la obtención de coordenadas tridimensionales, referidas a un marco geocéntrico global y de alta calidad en tiempo real.

Aunque las mediciones en tiempo real existen desde hace varios años y en distintas modalidades, son aquellas basadas en las correcciones NTRIP (Network Transportation of RTCM via Internet Protocol), las que están a la vanguardia y apuntan a consolidarse como una de las mejores opciones cuando se trata de obtener coordenadas confiables en el mismo instante de la observación, esto debido principalmente a la simplicidad y flexibilidad del método.

Uno de los factores importantes en este tipo de proyecto es el estudio topográfico: ya que se requiere contar con la localización de las zonas y las vías que presentan la problemática mediante el uso de coordenadas respecto a un punto georreferenciado. Este estudio, aporta la georreferenciación y levantamiento topográfico del deslizamiento en el sector La Trinidad del tramo La Uribe – La Trinidad K11+500, esto con el fin de crear planes de mitigación para prevenir deslizamientos posteriores y además poder calcular la cantidad de material desprendido.

5.1.1 EQUIPOS UTILIZADOS

Se utilizó un equipo GNSS doble frecuencia multi-constelación marca CHC i70.

Figura 8. Equipo utilizado



5.1.1.1 DESCRIPCIÓN

El equipo GNSS i70, es un receptor con la capacidad de adaptar todos los cuatro sistemas de constelaciones mundiales y múltiples frecuencias, ofreciendo una solución RTK sub- centímetro. Sin la necesidad de un recolector de datos o una computadora, la GUI LCD de la i70, permite operaciones de flujo de trabajo como, Auto-Base, Auto-Rover y la configuración fácil para el modo de trabajo RTK.

Mientras tanto, i70 admite la corrección RTK de NTRIP a UHF para varios otros receptores, lo que puede ayudar a usar menos cuentas de NTRIP para varios trabajos de receptor. El CHC i70 es uno de los receptores más confiables en el mercado que incorpora baterías duales intercambiables en caliente, permitiendo días de trabajo ininterrumpido. Aunque es pequeño y liviano, está equipado con una amplia gama de sensores y módulos: Tx / Rx UHF interno, módem celular multibanda, Wi-Fi, Bluetooth, serie, USB, etc. Teniendo todos estos módulos integrados en un paquete ergonómico, lo cual hace un día más productivo.

5.1.1.2 CARACTERÍSTICAS

Características del receptor i70 GNSS 6 en las especificaciones de nivel superior: la serie i70 presenta las mejores de su clase

- Alto rendimiento rentable y de alto nivel.
- Diseño innovador y robusto construido para entornos difíciles.
- Pantalla LCD de alta resolución.

Carrera 21 #64ª-33 Edificio Multiplaza oficina 1207 Tel. 8934298 e-mail: quasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas	ESTUDIO DE AMENAZA VULNERABILIDAD Y RIESGO PARA UN TRAMO DEL COLECTOR DE AGUAS RESIDUALES LADERA NORTE MUNICIPIO DOSQUEBRADAS	Página 39
--	---	-----------

- Dos baterías intercambiables
- Función RTK todo en uno

5.1.1.3 CERTIFICADO DE EQUIPOS GNSS

Figura 9. Certificado de equipos GNSS

	GALILEO INSTRUMENTS S.A.S.	Código: F-TEC-GAL-009
	CERTIFICADO DE MANTENIMIENTO Y VERIFICACIÓN DE EQUIPOS	Versión: 02
		Fecha de Vigencia: 25-01-15
		Página: 1/2

No. 18-169/2018

TEST DE VERIFICACIÓN DE POSICIONAMIENTO HORIZONTAL

Patrón Referencia (Vértice Geodésico de Referencia) **A-97-TC-5** Coordenadas Geodésicas:

	LATITUD	LONGITUD
Datos Patrón	5° 10' 49.29564" N	72° 33' 15.36326" W
Datos GPS	5° 10' 49.29566" N	72° 33' 15.36330" W

Error RMS Tolerable= 1.5 cm. + 1ppm, Error M2 encontrado 0.4 cm.

El equipo cumple bajo los parámetros de tolerancia en la precisión de posicionamiento.

TEST DE VERIFICACIÓN DE POSICIONAMIENTO VERTICAL

Patrón Referencia (Vértice Geodésico de Referencia):

PATRÓN	300.632 mts.
LECTURA	300.635 mts.

ERROR ESTADÍSTICO EN ALTURA= +/- **1.5 cm.**

El equipo cumple bajo los parámetros de tolerancia en la precisión de posicionamiento.

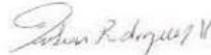
PARAMETRO O COMPONENTE	ERROR PERMITIDO	CUMPLE		AJUSTE	
		SI	NO	SI	NO
ALTIMETRO	+/- 1 mts.	X			
PROYECCIÓN	Por Azimut y Coordenadas	X			
TIEMPO DE RECEPCIÓN	Inferior al metro	X			
RELOJ DE PRECISIÓN	Con la hora local	X			
RECEPCIÓN DE SATÉLITES	+/- 3	X			

ASPECTOS ENCONTRADOS:

El equipo es apto para posicionamiento GPS, con buenas condiciones de rastreo satelital. Las pruebas se realizaron con el equipo totalmente nuevo.



ELIECER BARAJAS
Jefe Servicio Técnico



V/B: JULIAN RODRIGUEZ
Gerente Comercial

Web: www.galileoinstruments.com.co,
Mail: ventas@galileoinstruments.com.co; comercial@galileoinstruments.com.co;
Cra 74 # 48-37 Local 253, 254 y 255 Centro Comercial Obelisco PBX: (4) 448 22 30
Medellin

<p>Carrera 21 #64ª-33 Edificio Multiplaza oficina 1207 Tel. 8934298 e-mail: quasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIO DE AMENAZA VULNERABILIDAD Y RIESGO PARA UN TRAMO DEL COLECTOR DE AGUAS RESIDUALES LADERA NORTE MUNICIPIO DOSQUEBRADAS</p>	<p>Página 40</p>
---	--	------------------

5.1.1.4 MEDICIONES RTK

Esta es la última innovación en las técnicas de medida GPS. Consiste en obtener coordenadas en tiempo real en el sistema de referencia adoptado previamente. En la actualidad, la topografía con métodos de medición GPS está cada vez más arraigada y comienza a sustituir a los métodos clásicos de medición, como por ejemplo redes locales, triangulaciones apoyos fotogramétricos, bases de replanteo, etc. Todo esto ha sido gracias al desarrollo de técnicas introducidas en los últimos años.

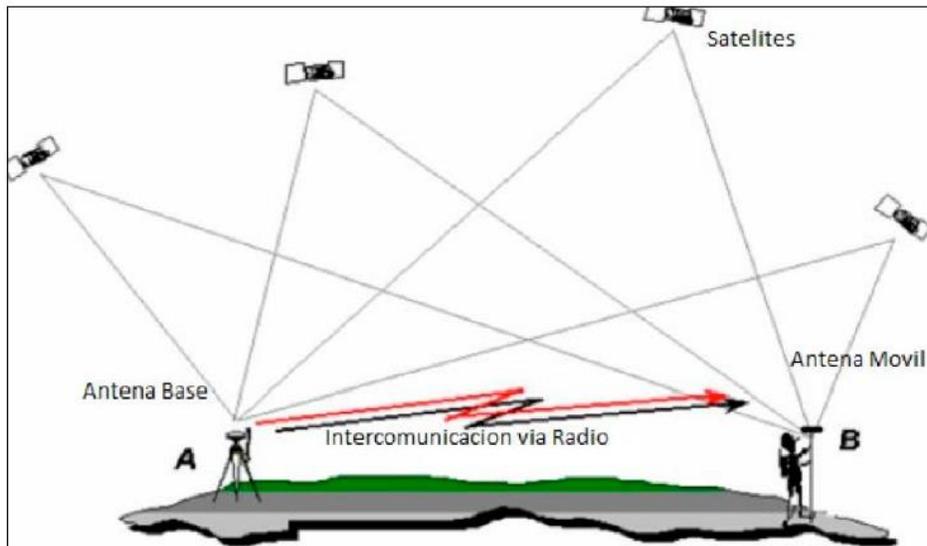
Debido a que la constelación de se ha completado con más de 32 satélites es posible llevar a cabo posicionamientos en los que las condiciones de cobertura son más estrictas, de esta manera tenemos una cobertura de 24 horas al día en cualquier parte del mundo. Todos los avances tecnológicos efectuados en las técnicas de medición GPS se dirigen hacia estar el menor tiempo posible en la toma del punto y tener el resultado en el propio campo. Hasta ahora este tipo de trabajo quedaba reservado a los métodos clásicos (Estaciones Totales). Sin embargo, mediante el Tiempo Real en el GPS, podremos utilizar éste de manera similar a una Estación Total: Obtención de coordenadas al instante con precisión de 1 cm+2ppm.

La medición en un receptor GNSS es representada mediante Vectores tridimensionales que contienen distancia, dirección y un diferencial de altura entre los puntos de la medición. No necesita línea directa de vista entre los puntos de estudio, pero si necesita tener una línea directa de vista a un número suficiente de satélites para que el software pueda generar el vector como la diferencia entre las coordenadas X, Y, Z de un sistema dado.

5.1.1.5 RTK: DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El receptor hace sus mediciones desde el centro de su antena y nosotros usamos la altura de la antena para corregir la medida al punto que está debajo del instrumento. Esto quiere decir que la altura de la antena es una parte muy importante de nuestras mediciones. En la topografía convencional (mediante estación total), a menudo se separan las partes de las dimensiones tanto horizontal (ángulo y distancia) y vertical (la elevación). Sin embargo, una medida proporcionada por GNSS, es totalmente tridimensional, y no podemos manejar los componentes horizontal y vertical por separado. El componente horizontal afecta al vertical y viceversa, por ello es necesario contar con una base fija para realizar el levantamiento topográfico en RTK. La Figura muestra el principio básico de las mediciones en RTK.

Figura 10. Principio de las mediciones RTK



Un ejemplo de equipo completo estaría compuesto por:

- Antena base y antena móvil GPS con radios internos.
- Antena de triple banda conectada a batería
- Controladora inalámbrica para GPS.
- Trípode con base nivelante y plomada óptica
- Bastón telescópico

Primeramente, debemos saber en qué sistema de coordenadas vamos a trabajar (Cartesianas, Geodésicas, Locales). En base a esto, se seleccionan los vértices que nos van a servir de control y ubican los puntos de arranque del trabajo para realizar las observaciones con GPS.

Ya en campo, la obtención del levantamiento de detalle, la metodología de observación con GPS en tiempo real es un método rápido, cómodo y capaz de dar la precisión requerida para el trabajo. El método de trabajo con GPS en tiempo real se compone de un GPS fijo de referencia y un GPS en movimiento. El receptor fijo lo situamos sobre un punto de la red básica, de coordenadas conocidas en el sistema de referencia de coordenadas elegido, el cual servirá como vértice de control, esta estación se le llama Estación Base.

Equipo GPS de Referencia:

- El receptor de referencia captará todos los satélites a la vista.
- El receptor envía los datos observados al Radio- módem.
- El radio- módem transmitirá todos los datos observados al equipo/s móvil/es.

Receptor Móvil:

- El Radio- Módem recibirá los datos enviados por equipo de referencia.
- El receptor móvil buscará todos los satélites a la vista.
- El receptor trabaja y calcula con los datos de su posición más la información recibida de la referencia.
- Fijas las ambigüedades de todos los satélites comunes. Con las técnicas actuales, este proceso no supera los 10 segundos.
- El receptor calcula las coordenadas de su posición y las muestra con un control de calidad asociado. A partir de fijar las ambigüedades, el equipo proporciona posición precisa a un intervalo de hasta 0,1 segundos. La figura 3 muestra el armado del instrumental en campo.

La topografía con GPS es radial, es decir, estamos haciendo radiaciones relativas a nuestra estación base. Tras poner en funcionamiento este receptor, se ha de esperar a que resuelva su posición antes de proceder a la obtención de datos de los puntos del levantamiento. Si el número de satélites sobre el horizonte es el adecuado (entre mayor sea el número de satélites observado, mayor será la precisión y menor el tiempo), el receptor de referencia fijará sus coordenadas en pocos minutos. Una vez realizada esta operación el cálculo de coordenadas de los demás puntos será casi instantáneo.

La comunicación entre el receptor de referencia y los receptores móviles es posible gracias al sistema de telecomunicaciones utilizado para la transmisión, con un alcance de 5 Km aproximadamente entre ambos receptores, es por esto que no es necesario que los puntos sean visibles entre sí. Para evitar problemas de comunicación entre receptores, la estación base debe ser colocada en un punto lo más alto posible, y el estadal donde estará situada la antena móvil, de igual manera se debe poder elevar de acuerdo a las necesidades de los puntos que se deseen tomar.

5.1.2 METODOLOGÍA DE POSICIONAMIENTO

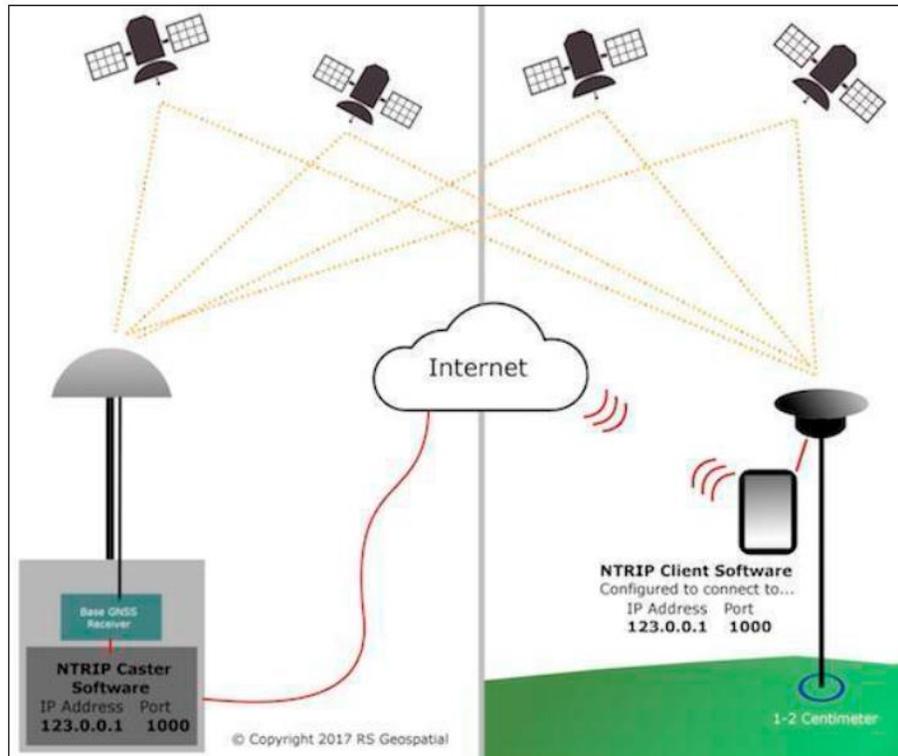
El Sistema NTRIP (Network Transportation of RTCM via Internet Protocol) fue desarrollado en Alemania de manera conjunta por la Agencia Federal de Cartografía y Geodesia (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, BKG) y la Universidad de Dortmund, y consiste en la transmisión de correcciones diferenciales y datos GNSS, originalmente en formato estándar RTCM, a través del protocolo de transferencia de hipertexto (HTTP), las cuales son obtenidas en una estación de referencia y ofrecidas a los usuarios vía Internet.

El desarrollo de esta técnica estuvo marcado por dos cuestiones fundamentales: por una parte, existían una multitud de formatos de transmisión RTK a tal punto que cada fabricante tenía el suyo propio, hecho que generó la necesidad de crear un estándar; y por la otra, presentar una alternativa eficiente y económica frente a los servicios de corrección en tiempo real tradicionales provistos a través de transmisiones de radio UHF, VHF, etc.

Es sabido que las señales de radio se degradan fácilmente en zonas donde la topografía del terreno es muy ondulada o montañosa o ante la presencia de otro tipo de obstrucciones naturales o artificiales, además cuanto más largo es el enlace a través de radios, mayor es el costo de los equipos. NTRIP constituye la capa de transporte y los datos transmitidos están en mensajes todos observables GPS y GLONASS, definición y tipo de antena, coordenadas de la estación de referencia, correcciones de código y fase y, en el caso de la versión 3.0, transmite adicionalmente un mensaje de solución de red, conformado por las correcciones diferenciales de varias estaciones permanentes, lo cual aumenta la consistencia y calidad de las soluciones de posicionamiento en tiempo real.

La generación de correcciones diferenciales GPS se realiza generalmente directamente en un receptor GPS o mediante un conjunto de observaciones procedentes de una red y obtenidas a través de una estación permanente. Los paquetes de datos son enviados a un servidor que hace posible el acceso a los mismos a través de Internet. Por medio del protocolo adecuado un usuario móvil puede acceder a estos mediante Internet a través de un teléfono móvil utilizando un programa que accede a la dirección IP del servidor para proporcionarle éstos al receptor GPS. La distancia entre la estación de referencia y el cliente se parte en dos, una que conecta la estación GPS con el servidor y la otra que conecta éste con el usuario; esta última es posible realizarla mediante tecnología móvil. La figura muestra el principio de NTRIP.

Figura 11. Principio de la técnica NTRIP



5.1.2.1 METODOLOGÍA DEL POSICIONAMIENTO

Lo primero que se hizo fue colocar las placas de referencia en las cuales estaría definido el proyecto, luego mediante la tecnología NTRIP se procedió a asignarle coordenadas a los puntos GPS-1 y GPS-2 respectivamente, la colocación de los puntos se realizó en la zona de estudio dónde se realizó los levantamientos.

Lo importante y fundamental de esta tecnología es que no necesita lapso de tiempo largo, pues las coordenadas son obtenidas en tiempo real debido a la conexión de internet entre el Rover y el cáster, en nuestro caso el cáster se encuentra en el conjunto residencial panorama, estación permanente, perteneciente a la red de estaciones permanentes de la empresa Galileo Instruments.

Las coordenadas obtenidas son plenamente consistentes con el marco de referencia nacional MAGNA-SIRGAS y su precisión está en el orden ± 2 cm. Cabe mencionar que debido a la usencia de este servicio por parte de las estaciones del IGAC la mayoría de las empresas se ven obligadas a optar este servicio de manera privada.

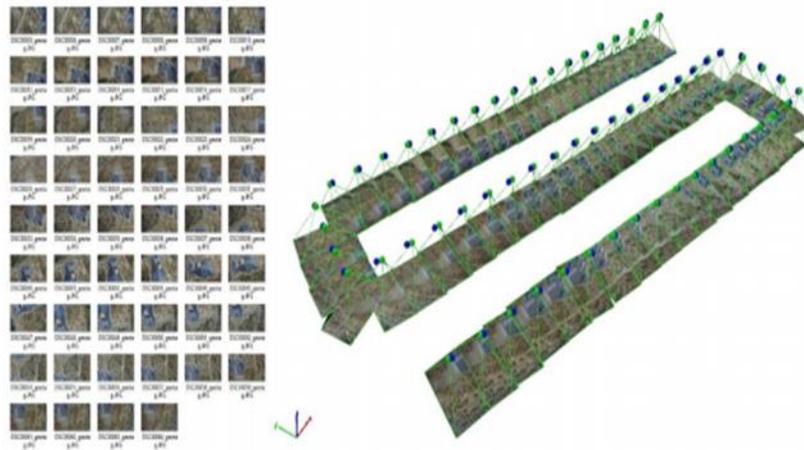
La metodología se inició de la siguiente manera luego de haber encendido el equipo, se procede a hacer la conexión colectora-Rover, luego de haberse conectado, se procedió a seleccionar el método de medición se seleccionó NTRIP, ya previamente el equipo tiene guardado, la dirección IP, usuario y contraseña.

Posteriormente se fue a la opción levantamiento y se empezó obtener las coordenadas de los puntos que servirán de apoyo para los trabajos topográficos, cabe destacar que una de las limitantes de esta técnica es la conexión con internet, es decir que zonas donde se dificulte el acceso a internet esta técnica falla.

5.1.2.2 VUELO CON DRONE

El rol del drone en el trabajo de levantamientos topográficos es el de adquirir la data del campo mediante la toma georreferenciada de fotografías aéreas verticales consecutivas y homogéneas que se traslapan entre ellas a fin de crear pares estereoscópicos entre las fotos.

Figura 12. Fotografías aéreas



Luego de tener definidos y levantados los puntos de control, se procedió a realizar el vuelo con drone, se sobrevoló la zona de interés en un promedio de 45 minutos, para después en oficina realizar el procesamiento de la información

En oficina las imágenes son procesadas por software especializado que, tomando la información de calibración de la cámara, el punto donde se tomó la foto y las coincidencias entre las múltiples fotos, interpreta y genera la nube de puntos georreferenciada de la superficie del terreno sobrevolado.

Las fotografías aéreas serán el insumo básico para la creación de la nube de puntos y por lo tanto depende de su calidad y precisión los puntos de control que se coloquen en campo.

El vuelo se realizó en el Municipio de Dosquebradas departamento de Risaralda, con el fin de obtener curvas de nivel zona de afectación del área de levantada, una de las ventajas que ofrece este método es que se puede integrar datos de mediciones convencionales para darle una mayor robustez a la fotogrametría creando datos plenamente consistentes y que reflejan de manera muy precisa las condiciones del terreno

La siguiente figura muestra el producto generado:

Figura 13. Ortofotografía generada



Fuente: (Propia, 2022)

Al generar la ortofoto y georreferenciarla, se procedió a generar el producto topográfico, curvas de nivel de todo el área afectada para revisar de manera general como se encuentra la zona, esto es posible gracias al software Civil 3D, que permite de manera rápida integrar datos fotogramétricos y topográficos, permitiendo así trabajar datos y poder crear productos de buena calidad y plenamente consistentes, cabe destacar que la georreferenciación de la ortofoto tiene la misma calidad con que se obtuvieron los puntos de control con un error de $\pm 3\text{cm}$ aproximadamente.

5.1.3 TRABAJO DE CAMPO

El estudio topográfico se realizó con el fin de evaluar el estado y la cantidad de material desprendido en el sector La Esneda y generar un modelo 3D del deslizamiento para luego generar diseños de estabilidad de taludes y calcular la cantidad de material a remover.

En el levantamiento topográfico y en la cartera de campo se asignaron unos códigos a los detalles relevantes del terreno que se iba a levantar y un registro fotográfico esto con el fin de agilizar la actividad de campo y minimizar inconvenientes con el dibujo de la nube de puntos.

La toma de información se realizó mediante la técnica RTK (Real Time Kinematic) en su mayor parte ya que en sectores donde se imposibilitó la toma e información con los equipos GNSS se utilizó estación total, partiendo de varios puntos auxiliares puestos con GPS para los amarres pertinentes de apoyo para la toma de datos de todos los accidentes topográficos, vía existente, construcciones y todos los elementos importantes que puedan servir para la generación de la cartografía, lo importante de esta metodología es que las coordenadas se obtienen en tiempo real, minimizando así el tiempo de captura de los datos

La confiabilidad de los datos se garantizó en campo, donde se chequeaban los puntos colocados cada vez que se armaba el equipo, permitiendo la visualización de los errores que se obtenían, estos mismos no superaban ± 0.03 m, garantizando confiabilidad en el amarre, en el levantamiento.

El levantamiento topográfico del punto crítico en el cual hubo desprendimiento de material se encuentra localizado en el sector barrio La Esneda de Dosquebradas Risaralda.

Se realizó un vuelo con drone para abarcar mayor área y poder visualizar de manera más amplia que área fue afectada por el deslizamiento y poder así tener una idea más clara de la situación en la zona, la siguiente imagen muestra el vuelo realizado. En Civil 3D se procede a la interpretación de las carteras de campo, uniéndolas mediante líneas y/o convenciones los puntos de acuerdo con los esquemas dibujados en las carteras. Este procedimiento se realiza hasta unir de forma consistente todos los puntos. Los planos se realizaron a la escala adecuada, para la observación precisa y sin distorsión de los detalles levantados.

5.2 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO ALTIMÉTRICO Y PLANIMÉTRICO

5.2.1 INTRODUCCIÓN

Con el fin de conocer la topografía actual del predio donde se pretende diseñar la vía de acceso a los predios y conocer el estado actual de las alcantarillas, se hace necesario tener el levantamiento topográfico planimétrico y altimétrico de la zona.

Se efectuó en campo el levantamiento topográfico planimétrico, mediante la modalidad de poligonal cerrada con control topográfico, apoyado al sistema de radiaciones a los elementos predominantes del predio, vías, paramento, cámaras, postes, sumideros.

5.2.2 PERSONAL

El personal que compone cada una de las comisiones de topografía utilizadas en el proceso está compuesta por:

- 1 topógrafo con licencia profesional, APROBADA POR EL CONCEJO NACIONAL DE TOPOGRAFÍA, y experiencia de 28 años en proyectos similares.
- 1 cadenero primero, con experiencia mínima de 12 años.
- 1 cadenero segundo, con experiencia mínima de 8 años.
- 1 dibujante

5.2.3 EQUIPOS UTILIZADOS EN EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Los equipos cuentan con calibración realizada cada seis meses bajo las normas ICONTEC ISO 9001 - ISO 9004 Vehículo

Carrera 21 #64ª-33 Edificio Multiplaza oficina 1207 Tel. 8934298 e-mail: guasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas	ESTUDIO DE AMENAZA VULNERABILIDAD Y RIESGO PARA UN TRAMO DEL COLECTOR DE AGUAS RESIDUALES LADERA NORTE MUNICIPIO DOSQUEBRADAS	Página 54
--	---	-----------

- Estación total Topcon GTS 239W SERIE 293430.
- Trípodes.
- Prismas.
- Maceta, tachuelas, o puntillas de acero, pintura para tráfico de color visible.
- Computador

5.2.4 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO PROCESO DE CAMPO MATERIALIZACIÓN DE LOS DELTAS O PUNTOS DE CONTROL

Se materializaron las estaciones o deltas de control topográfico, Las estaciones se materializaron con taco de madera y estaca de madera testigo de 1 metro de alta. Con el número de la estación.

5.2.4.1 GRADO DE PRECISIÓN PLANIMÉTRICO

Grado de precisión planimétrico de la poligonal: fue de 1: 17200 Error de cierre angular según la aproximación del aparato, óptimo en el sistema:

$$E = a n$$

a = aproximación del aparato en segundos.

n = número de lados de la poligonal

EQUIPOS DEBIDAMENTE CALIBRADOS ISO 9000.

5.2.5 METODOLOGÍA PLANIMÉTRICA

Inicialmente se trabajó con la estación electrónica TOPCON GTS 236, la estación toma la información en campo donde se coloque el bastón con el prisma, ubicando los puntos de linderos y los detalles planimétricos se tomaron radiaciones en la parte interna de la finca para tomar los detalles del terreno para la generación de las curvas de nivel cada metro.

Se aplicaron los siguientes principios para la realización de trabajos topográficos detallados.

A. Poligonales:

* Las Poligonales se cerraron determinando un óptimo grado de precisión

A los puntos materializados planimétricamente.

Mediante el sistema de radiaciones se les dio coordenadas a todos los elementos estructurales, cajas, vía principal, muros, mallas linderas.

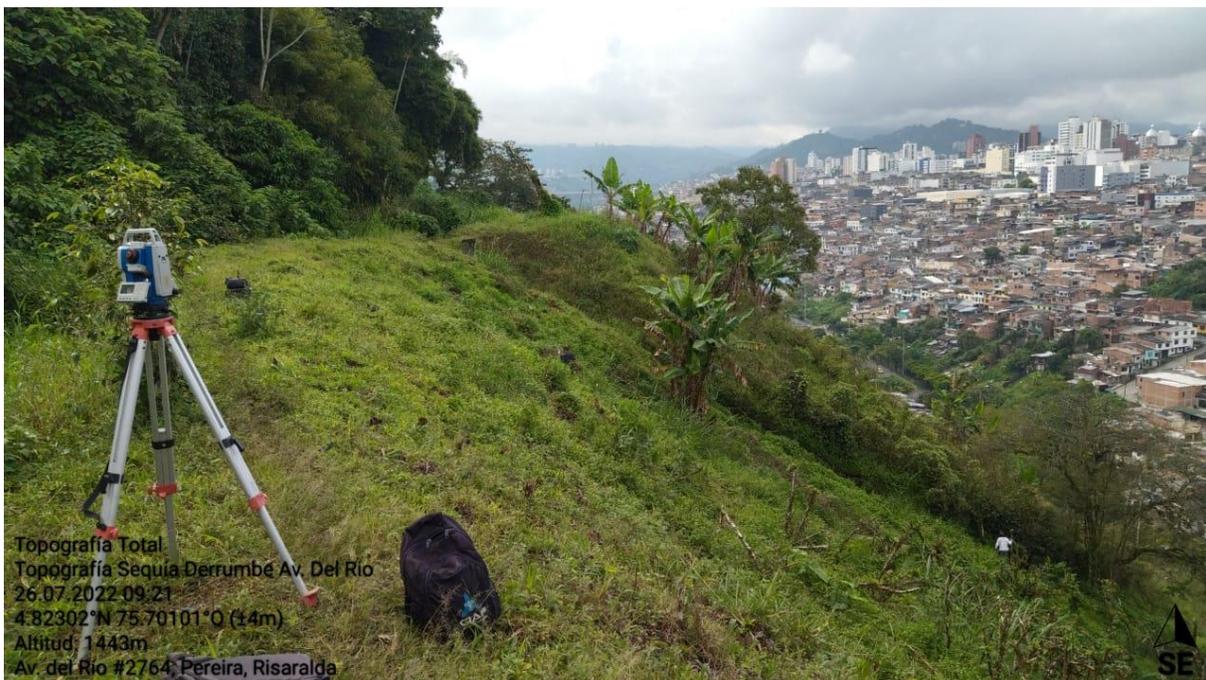
Equipos debidamente calibrados según las normas I.S.O 9000.

Figura 14. Registro fotográfico levantamiento topográfico



Fuente: (Propia, 2022)

Figura 15. Registro fotográfico levantamiento topográfico



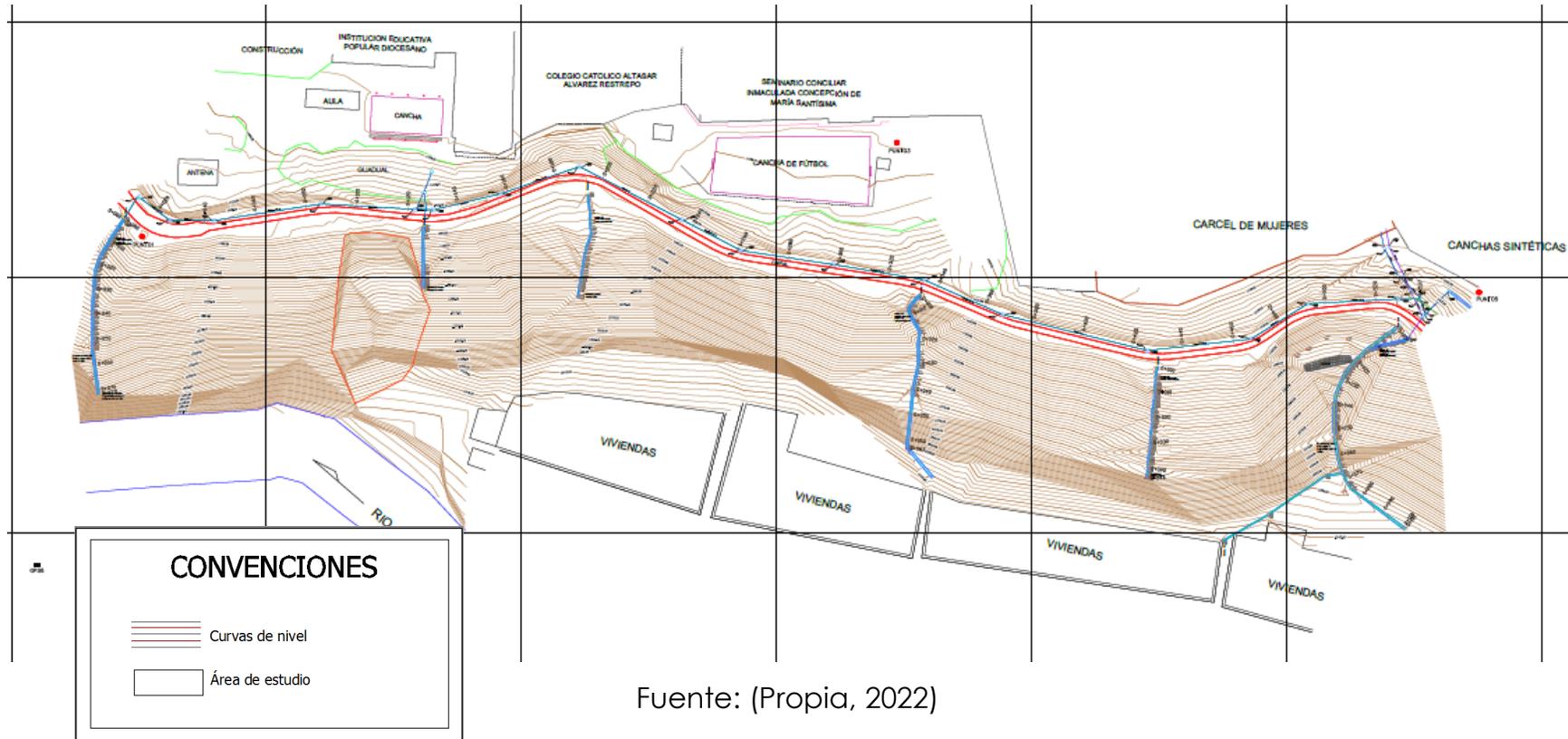
Fuente: (Propia, 2022)

Figura 16. Registro fotográfico levantamiento topográfico



Fuente: (Propia, 2022)

Figura 17. Plano detallado levantamiento topográfico



Fuente: (Propia, 2022)

6 ANTECEDENTES

Para la realización del presente estudio se hizo una recopilación bibliográfica y de antecedentes ocurridos en este sector y área de influencia del mismo, con el fin de verificar la estabilidad de la ladera con el paso de los años; con base a esta información se realiza una descripción de la información encontrada.

Tomado del informe de la unidad de gestión del Riesgo del Departamento de Risaralda se tiene:

“Informe técnico recorrido un tramo a lo largo de la acequia – Ladera Norte, y zona de deslizamiento a la altura del barrio la Esneda en Dosquebradas”

Número de ficha CDGRD 167 DEL 16/02/2022

“Según una publicación del artículo de periodismo establecido en la revista semana el día 9 de febrero de 2022, ya se habían originado al menos tres eventos de remoción complejos sobre la ladera, que habrían provocado daños en la comunidad, como los ocurridos el día 05 de octubre de 1976 en el barrio Risaralda que sepultó a 17 viviendas con un registro de pérdida de vida de 63 personas; también se hace mención en ese artículo que el barrio La Esneda ya había sido afectado en dos momentos anteriores, en el mes de noviembre de 1988 y en abril de 1992, cabe resaltar, que se desconoce las fuentes de información, aunque en el artículo hacen alusión al trabajo académico de Natalia Bermúdez de la Universidad Tecnológica de Pereira.

Por otro lado en el documento denominado DIAGNOSTICO DE RIESGOS AMBIENTALES MUNICIPIO DE DOSQUEBRADAS, elaborado por la Corporación Autónoma de Risaralda CARDER, año 2005, se hace referencia del riesgo alto para las viviendas del barrio La Esneda, y menciona que las edificaciones localizadas en el sector de la Ladera Norte del río Otún presentan vulnerabilidad frente a movimientos en masa, en dicho trabajo se estableció una categorización de riesgo para cada sector afectado según los resultados del inventario de viviendas localizadas en zonas de riesgo, en la tabla 31 de la página 50 de dicho documento se puede leer lo siguiente “.....”

Presentó un deslizamiento el día 8 de febrero de 2022 en un sector de la ladera que limita el cauce del río Otún, reconocida por las entidades locales como Ladera Norte y que corresponde a territorio del municipio de Dosquebradas-Risaralda, el desprendimiento de terreno ocasionó daños directos y potenciales para las comunidades asentadas en las zonas ribereñas del río, a la altura del barrio denominado La Esneda (Dosquebradas) y barrio San Juan de Dios (Pereira).

El movimiento en masa se desarrolló a las 6:20 de la mañana aproximadamente, y pese a que no fue muy profundo desprendió suelo abarcando una zona extensa de la ladera, haciendo que el volumen de material desplazado provocara daños en los habitantes localizados sobre ambas riberas del río Otún, derecha (barrio la Esneda) y especialmente la izquierda correspondiente al municipio de Pereira, destruyendo algunas de las viviendas asentadas entre las calles 26 - 27 sobre la carrera primera (avenida del Río), y ocasionando la pérdida de vida de 17 personas y 120 animales (dato oficial hasta el momento de la elaboración del informe).

Según lo relatado por algunos de los residentes del sector, el suceso se generó de forma inesperada, fue muy rápido el desplazamiento del material, lo que no generó muchas oportunidades de reacción en las personas, aunque también aclararon que donde si se hubiera presentado en la noche serian mayor el número de víctimas mortales.

Las personas de la zona manifestaron que después del evento quedó expuesto un chorro de agua que afloraba desde la zona alta de la ladera, y que este flujo de agua continuó cayendo por varias horas sobre el deslizamiento, manifestaron que las lluvias de ese día fueron concentradas desde la madrugada y por varias horas lo que seguramente favoreció la ocurrencia del evento.

Figura 18. Imagen de la afectacion con el deslizamiento a la parte baja de la ladera



Fuente: www.el tiempo

Figura 19. Imagen del deslizamiento



Fuente: www.el tiempo

Figura 20. Afectación del sector de la Esneda con el deslizamiento



Fuente: www.el tiempo

Movimiento en masa que se generó sobre una extensión de la ladera Norte del río Otún a la altura del barrio la Esneda del municipio de Dosquebradas, presentó unas medidas estimadas visualmente en 75 metros de largo, un ancho máximo de 55 metros y un escarpe aproximado de un metro y medio, desplazando aproximadamente un volumen de 6000 metros cúbicos de material. Se trató de un deslizamiento superficial con aparente fallamiento planar, pese a que no fue un evento macro, si generó daños irreparables para la comunidad asentada en las zonas ribereñas del río Otún en ese sector.

Este proceso afecto principalmente a los habitantes localizados en la margen izquierda del río Otún correspondiente al territorio del municipio de Pereira, en el barrio denominado San Juan de Dios, dejó como saldo 17 víctimas mortales en total, en el territorio de Pereira se identificaron 15 personas fallecidas y 36 heridos, se evacuaron 34 viviendas y 71 familias (con concepto de evacuación total) y además afectó al Barrio La Esneda del Municipio de Dosquebradas, dejando como saldo 2 fallecidos, 1 herido, 1 vivienda destruida, 1 vivienda colapsada parcialmente, 77 viviendas evacuadas, 95 familias directamente afectadas y evacuadas, y 410 viviendas afectadas indirectamente del sector.

Este fenómeno afecto de forma radical a la población dado a que la comunidad estaba asentada sobre el espacio fluvial del río Otún, exactamente sobre una terraza coluvion aluvial, es decir, material que ha sido desprendido desde la ladera en otros eventos anteriores y material que ha sido arrastrado por la corriente del río Otún y depositado posteriormente en esas zonas, debido a cambios de la energía de la corriente y la dinámica hidrológica propia del afluente.

De acuerdo a lo analizado a través de los reportes de la red Hidroclimatológica de Risaralda se tuvieron registros anómalos de lluvias para el día 8 de febrero de 2022, para ambos municipios se tuvo una precipitación acumulada estimada en 48.4 mm/día, lluvias que se presentaron durante 10 horas continuas, y la concentración mayor de lluvias se presentó entre las 00:00 horas hasta las 06:00 horas del día 8 de febrero, es decir, que la tercera parte de las lluvias esperadas para un mes, se presentaron en solo 12 hora. Esto permite relacionar por qué la superficie de rotura abarcó una extensión importante a lo largo de la ladera, ya este tipo de proceso de remoción está relacionado con las lluvias concentradas debido a que el plano de rotura suele coincidir con el contacto entre materiales de diferente naturaleza, frecuentemente que representan un cambio de menor a mayor permeabilidad.

Por otro lado, se saca más antecedentes tomados del artículo revista semana.com

<https://www.semana.com/nacion/articulo/una-tragedia-que-se-repite-en-1976-ocurrio-un-letal-derrumbe-en-pereira-en-la-misma-zona-de-este-martes/202213/> donde reza lo siguiente: “Lo cierto es que no es la primera vez que ocurre un caso similar. El 5 de octubre de 1976, la misma montaña mostró sus riesgos en un deslizamiento trágico que dejó un poco más de 70 víctimas mortales.

La tragedia del 5 de octubre de 1976:

Los hechos ocurrieron a las 11:30 de la noche en el barrio Risaralda, en el norte de Pereira y que colinda con el municipio de Dosquebradas con la división del río Otún. No es el mismo barrio en el que ocurrió el desastre de 2022, pero sí es la misma zona y montaña. Según un trabajo académico de Natalia Bermúdez, de la Universidad Tecnológica de Pereira, se evidenció una falla en el talud de 150 metros de largo y 50 de ancho. Esto produjo un deslizamiento de 15.000 metros cúbicos de tierra, que también rompió un canal de conducción de la central hidroeléctrica de Dosquebradas.

El poder del deslizamiento, entre la fuerte corriente de agua, lodo y piedra, sepultó 17 viviendas. Según el reporte de la Policía de Risaralda, en su momento se registraron 63 muertos, 31 heridos, 4 desaparecidos y 48 familias damnificadas. En dinero de ese tiempo, los daños ascendieron a los 5 millones de pesos.

Bermúdez argumenta también que los asentamientos y la reconstrucción en cercanía al río Otún tampoco fueron los adecuados. Después del desastre, se consolidaron 25 barrios nuevos en el tramo urbano de la cuenca, de los cuales 10 cuentan con viviendas en zonas de riesgo, según la Oficina para la Atención y Prevención de Desastres.

Figura 21. deslizamiento del año 1976 y la de la derecha es del deslizamiento de febrero del 2022



Fuente: Imagen tomada de la web revista semana

En horas de la mañana de este martes se presentó un deslizamiento en Pereira, capital del departamento de Risaralda, y el municipio Dosquebradas. En el barrio La Esneda y sobre la Avenida del Río, se evidenció el desprendimiento de una parte de la montaña sobre residencias y negocios aledaños.

Las imágenes son dramáticas. El daño material y las pérdidas humanas ponen los ojos del país sobre el desastre natural. A esta hora se siguen rescatando personas sepultadas entre los escombros y buscando desaparecidos.

Los equipos de socorro trabajan a toda velocidad para ayudar a los damnificados, prestar atención a los heridos y dar asilo a quienes perdieron sus hogares. Sin embargo, no se habla de cómo se pudo evitar este hecho que enluta al país.

Igualmente, las casas que no sufrieron por el desastre de 1976 no fueron reubicadas, a pesar del latente riesgo de un nuevo deslizamiento. De esa forma, la comunidad se tuvo que someter a seis nuevos desastres naturales en la zona, los cuales generaron graves afectaciones a la comunidad. Hasta la fecha, el barrio sigue creciendo y acoge a cada vez más familias.

Los antecedentes de La Esneda:

En el barrio La Esneda de Dosquebradas, en un sector aledaño y con un riesgo muy similar, ocurre el desastre que enluta al país entero. Según los registros disponibles, ahí ocurrieron dos deslizamientos previos que no fueron suficientes para que las autoridades obligaran a las familias a evacuar la zona. Los hechos ocurrieron en noviembre de 1988 y en abril de 1992.

Por ahora, los esfuerzos son por el bienestar inmediato de los habitantes de La Esneda y de las comunidades próximas a la Avenida del Río. Sin embargo, si se quiere evitar desastres se debe actuar sobre el talud y plantear un plan de acción sobre las poblaciones que viven a orillas de la montaña que tantos problemas ha traído a los municipios de Risaralda.

Antecedente tomado del “PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DOSQUEBRADAS – POT” POT 2000 – 2006. POR MEDIO DEL CUAL SE ADOPTA EL PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL PARA EL MUNICIPIO DE DOSQUEBRADAS 2.000 - 2.006” (pag 97). www.gobernacionderisaralda.gov.co.

6.1 CONSULTAS NORMATIVAS

ARTICULO 175. - No se podrá desarrollar proyectos urbanísticos en las zonas definidas como restricción ambiental y en las caracterizadas como de RIESGO SISMICO, HIDROLOGICO, GEOTECNICO ALTO y RIESGO COMBINADO (hidrológico-geotécnico).

ARTICULO 176. - El asentamiento humanos denominados Barrio Las Vegas; Terrazas de las Vegas; las viviendas del sector de Pedregales, ubicadas en la zona de protección de talud de la Quebrada Dosquebradas; el barrio La Esneda; las viviendas del barrio San Judas (Otún-Balso) localizadas en el corredor de protección del Río Otún. ; el sector circunvecino a la ladera norte del Río Otún en los barrios El Japón y San Gregorio; el barrio La Esmeralda; el barrio San Fernando bajo; el sector poblado de los barrios La Playita y parcialmente Comuneros, y el colegio Fabio Vázquez Botero, los barrios 1º y 7 de Agosto parcialmente barrio la Soledad, los barrios Guamos y Pinos parcialmente, el barrio los Milagros, el barrio Lusitania, el barrio los Alpes, un sector del barrio Sinaí, el barrio Barro Blanco, el barrio denominado el puente, el barrio el Libertadores parcialmente, un sector del Estanquillo bajo, parte alta de la Vereda el Rodeo, el centro poblado de la Vereda Buena Vista y el barrio Terranova, se categorizan como de ALTO RIESGO HIDROLOGICO Y/O GEOTECNICO.

Carrera 21 #64ª-33 Edificio Multiplaza oficina 1207 Tel. 8934298 e-mail: quasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas	ESTUDIO DE AMENAZA VULNERABILIDAD Y RIESGO PARA UN TRAMO DEL COLECTOR DE AGUAS RESIDUALES LADERA NORTE MUNICIPIO DOSQUEBRADAS	Página 70
--	---	-----------

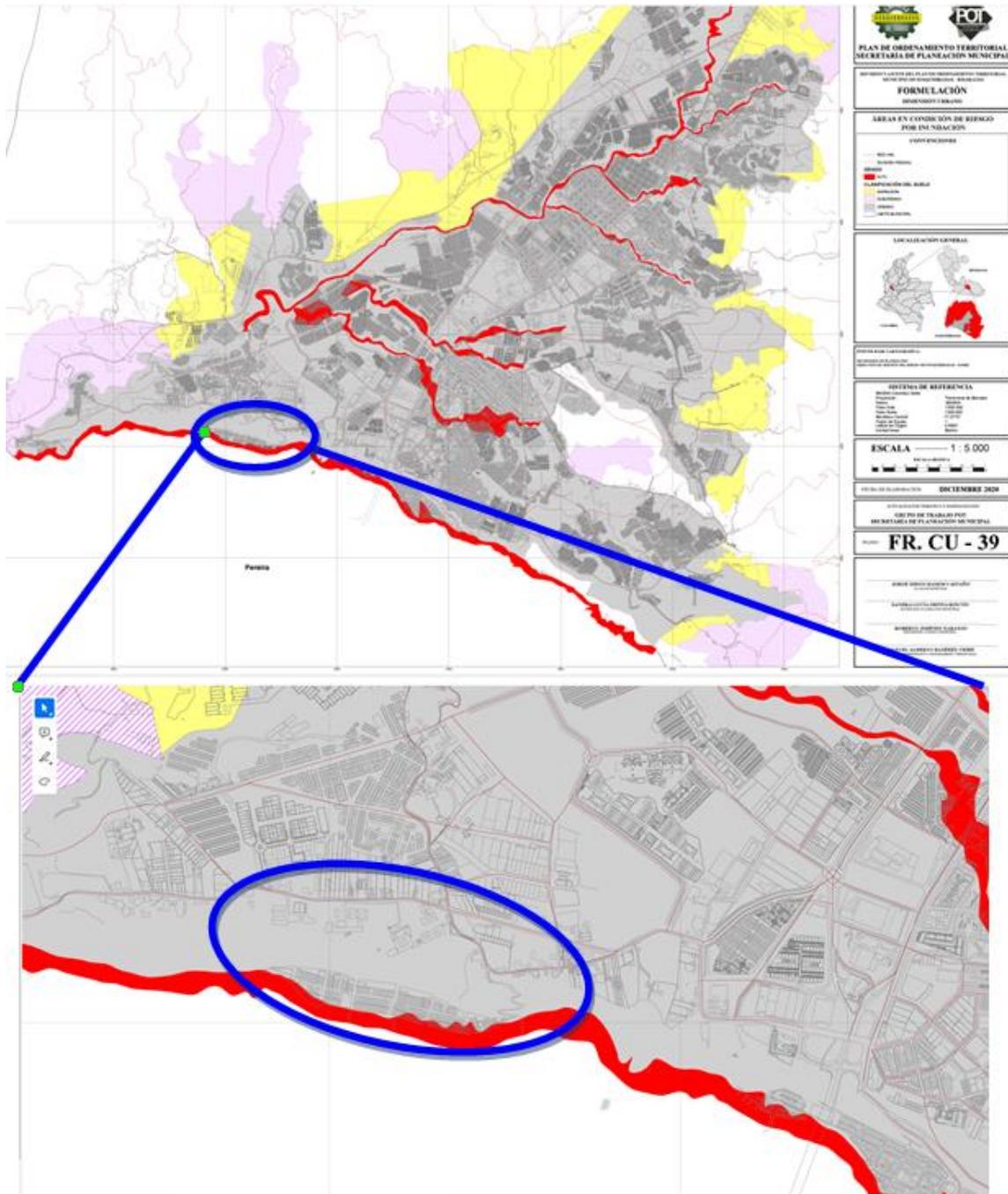
Parágrafo 1: En los asentamientos referidos en el anterior artículo, se adelantarán progresivamente los debidos programas de Reubicación de Viviendas, en el corto, mediano y largo plazo y por tanto quedan prohibidos los ensanches, ampliaciones, modificaciones y mejoramientos de vivienda (ver capítulo de tratamientos). Los programas de reubicación podrán ser adelantados por el estado o el sector privado.

POT. Documento técnico de soporte Plan de ordenamiento territorial versión dic 30 del 2019. Pag 25

Factores de amenaza por avenidas torrenciales. Para el caso particular del fenómeno de avenidas torrenciales en el municipio de Dosquebradas, se retoman los elementos de análisis propuestos para la cuenca del río Otún (Mesa Técnica de Trabajo con Consultor Gestión del Riesgo, revisión POT Pereira, 2014), toda vez que el tramo urbano del río Otún sólo afecta una franja de pocos kilómetros en el municipio de Dosquebradas (barrios El Balso, Otún y La Esneda). Aunque no existen métodos cuantitativos para valorar la amenaza por avenidas torrenciales que incluyan análisis de frecuencia para determinar periodos de retorno y probabilidad de ocurrencia; y análisis hidráulicos e hidrológicos entre otros, por lo que se optó por realizar una evaluación cualitativa.

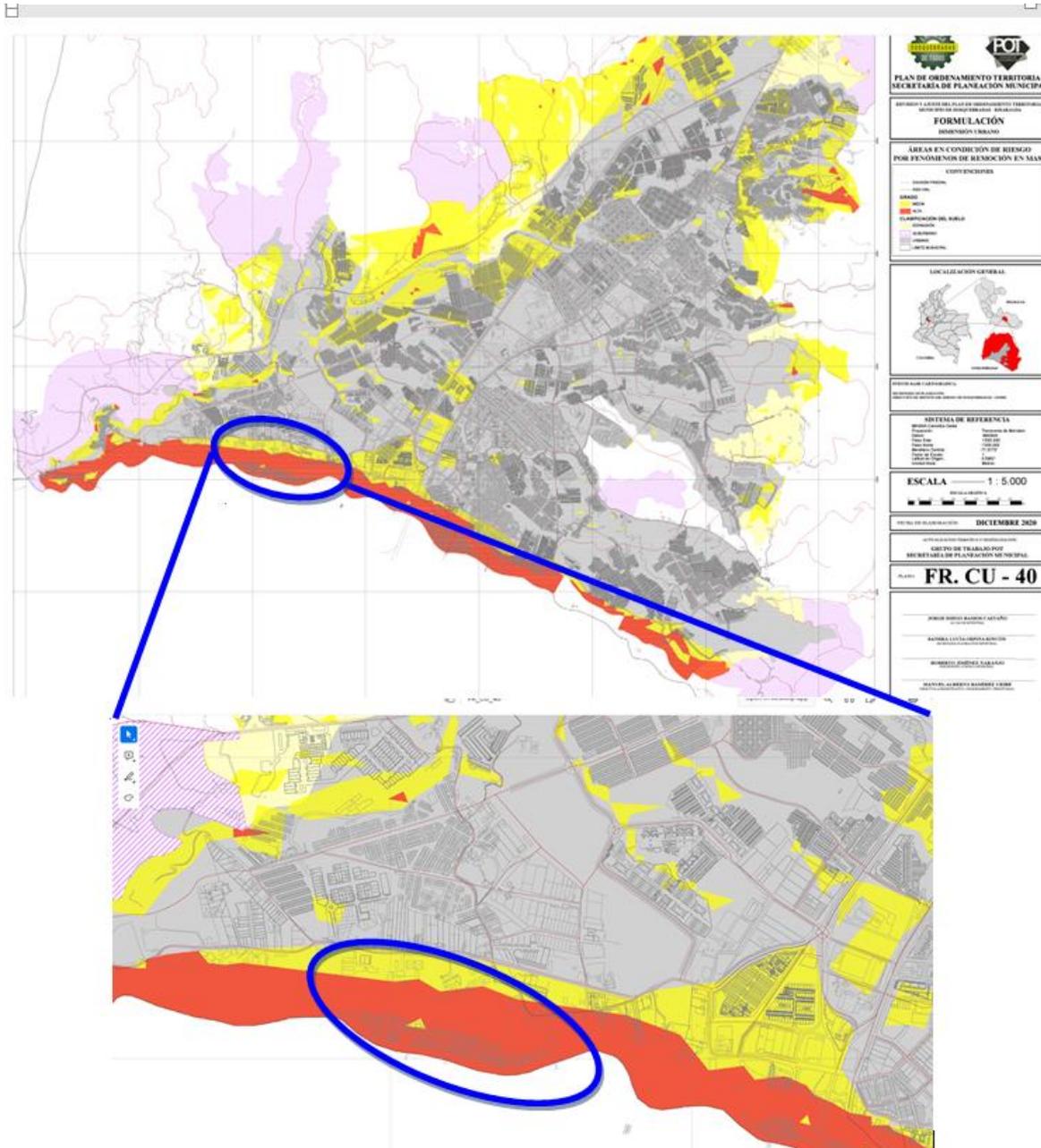
En las siguientes figuras se enmarca en el círculo azul la zona de estudio, siendo esta zona ubicada en un área en condición de riesgo alto por inundación y riesgo alto por remoción en masa.

Figura 22. Áreas en condición de riesgo por inundación.



Fuente: Tomado del <https://pot.dosquebradas.gov.co/repositorio/POT%20-%20Diciembre%2030%20-%202020/6%20-%20Cartografia/PDF/FORMULACION/>

Figura 23. Riesgo por fenómenos de remoción en masa



Fuente: <https://pot.dosquebradas.gov.co/repositorio/POT%20-%20Diciembre%202030%20-%202020/6%20-%20Cartografia/PDF/FORMULACION/>

7 ANÁLISIS MULTITEMPORAL

Para realizar la fotointerpretación en la zona de estudio se tuvo en cuenta imágenes aéreas del IGAC y se complementó con imágenes de Google Earth.

Uno de los aportes más destacados de la fotointerpretación es el estudio de cobertura vegetal es su capacidad para seguir procesos que involucran cambios de las coberturas ya sea por procesos naturales o a alteraciones de tipo humano.

De igual manera en el análisis de la fotointerpretación podemos obtener información sobre procesos erosivos, la continuidad de ellos en el tiempo y su variación en cuanto a la actividad.

Se destaca en esta fotointerpretación también la influencia estructural que puede existir en el área, esto lo podemos detectar por los rasgos geomorfológicos y el control sobre los cauces, como es el caso de la zona de interés donde se aprecia un escarpe de falla y un drenaje con un control estructural del mismo.

De acuerdo al análisis de fotointerpretación, el área de estudio se encuentra sobre un relieve montañosos con control estructural escarpado, con elevaciones de 1420 a 1325 m.s.n.m. y pendientes desde el 15% (zonas de explanación) a más del 45% (escarpe deslizamiento).

A continuación, se hace una descripción de acuerdo a la fotointerpretación:

Tabla 1. Relación fotos aéreas

VUELO	AÑO
SAD-264	1985
	2006
	2014
	2015
	2016
	2018
	2020
	2022

Fuente: (Propia, 2022)

Tabla 2. Convenciones utilizadas en el análisis multitemporal

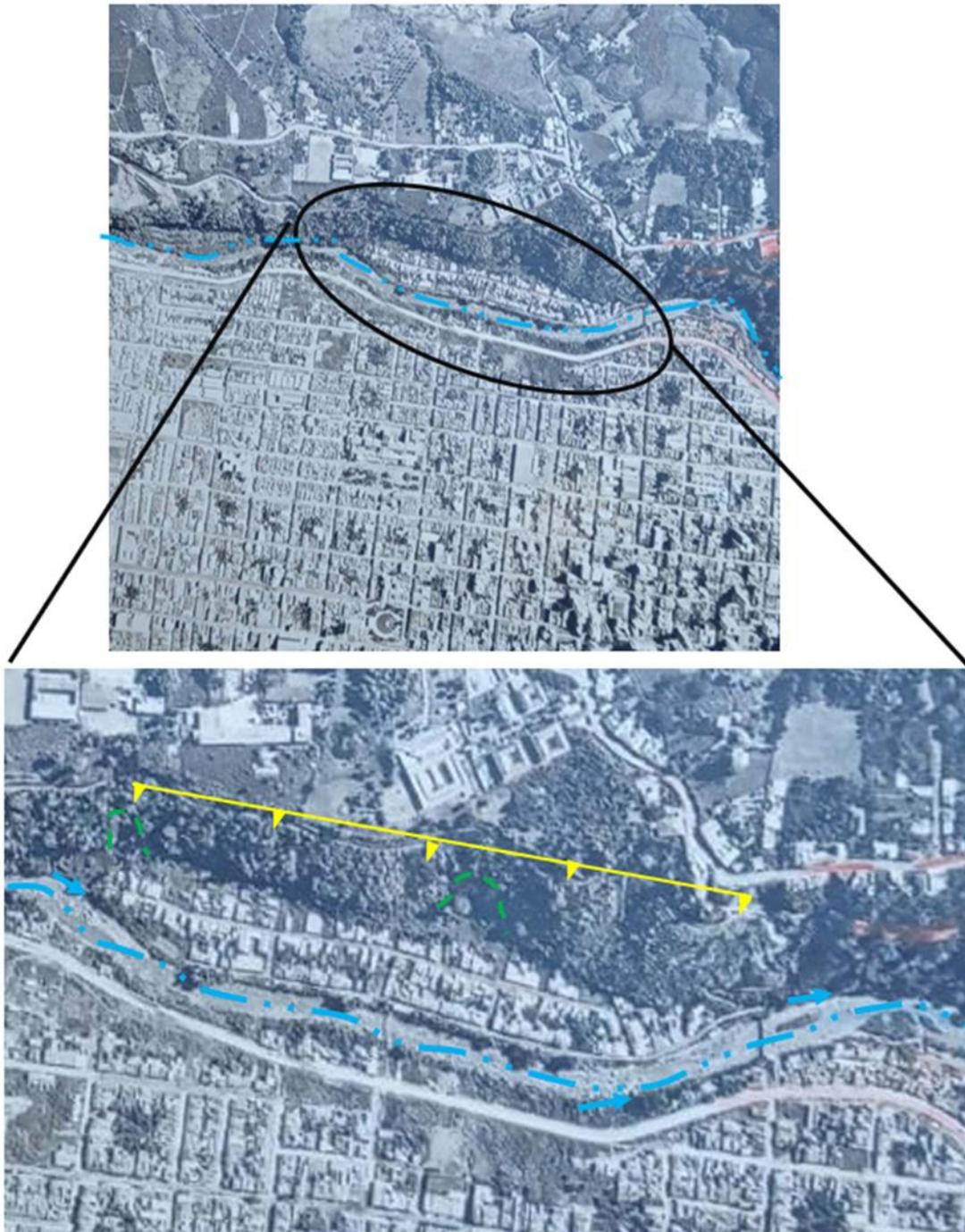
Convencion	Nombre
	Deslizamiento activo
	Escarpe de falla
	Cicatriz de deslizamiento
	Socavacion lateral

Fuente: (Propia, 2022)

Año 1985. De acuerdo en la fotografía aérea del año 1985 se puede apreciar una zona boscosa con una cobertura vegetal densa, donde es bastante notorio un escarpe resaltado en color amarillo en la imagen, en el cual se localiza la zona de estudio; los escarpes de esta magnitud son característicos de las zonas donde se presenta un control estructural, esto asociado al drenaje que presenta cambios bruscos en su recorrido lo que infiere el control estructural que existe en la zona, como se aprecia el cambio de dirección en el río Otún.

Se aprecian además unas cicatrices de deslizamiento sobre el talud lo que hace evidente un área con amenaza por movimientos en masa; lo anterior asociado a los factores litológicos, el ángulo de pendiente y el factor detonante que son las precipitaciones. Por otro lado, se presenta socavamiento lateral, esto afecta la estabilidad de las márgenes del cauce del río Otún.

Figura 24. Foto aérea del año 1985

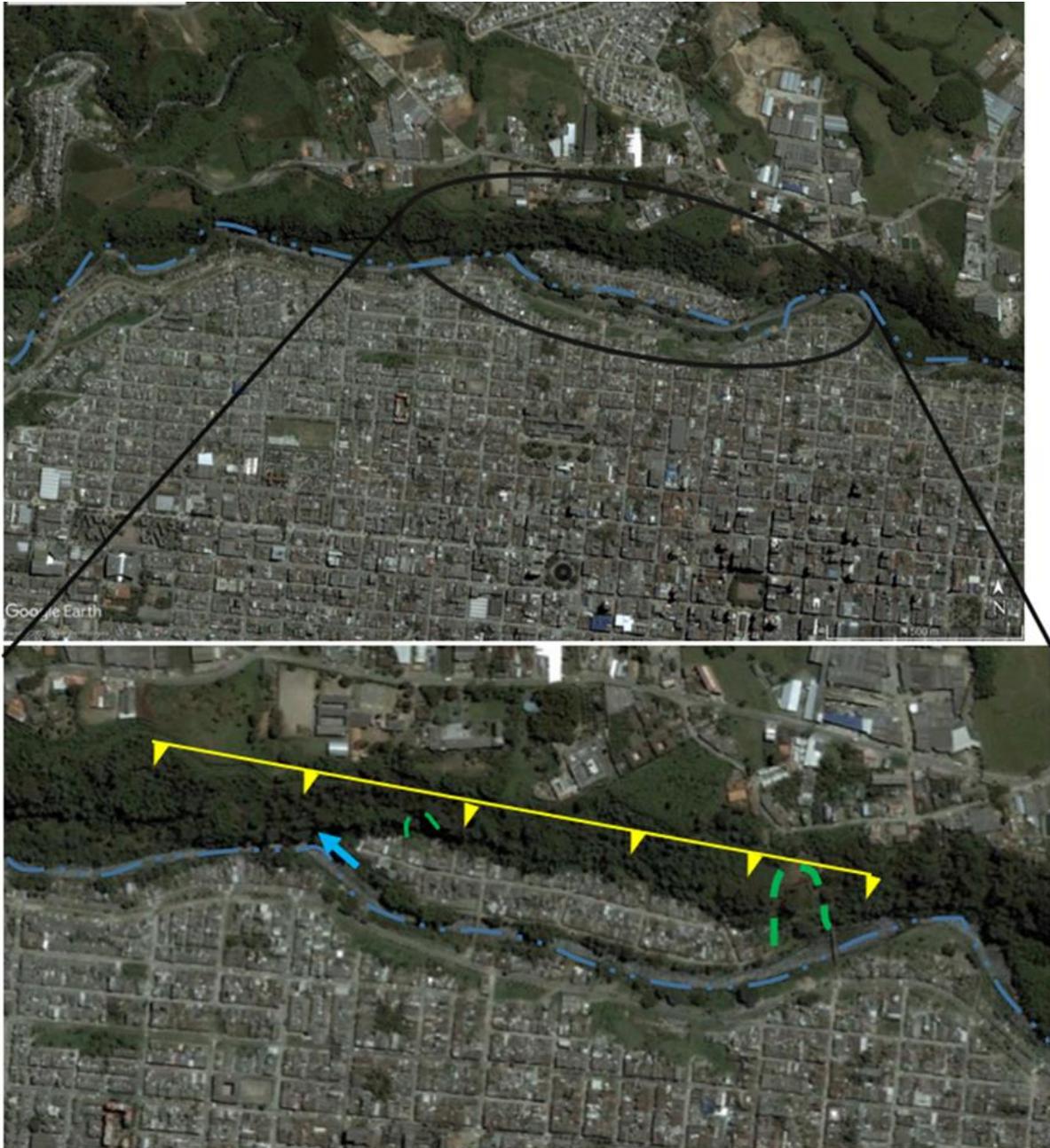


Fuente: (Propia, 2022) basado en IGAC y Google Earth.

Año 2006. En la foto aérea del año 2006 se puede apreciar una similitud al vuelo del año 1985, en cuanto a su vegetación ya que se sigue conservando las extensas áreas cubiertas por bosques.

En cuanto a los procesos erosivos se aprecian dos cicatrices de deslizamiento, enmascaradas por la cobertura vegetal, se observa además un talud subvertical, lo que evidencia una fuerte pendiente; conjuntamente se aprecia el fenómeno de socavamiento lateral sobre el cauce del río Otún, lo que genera inestabilidad en la misma ladera.

Figura 25. Foto aérea del año 2006

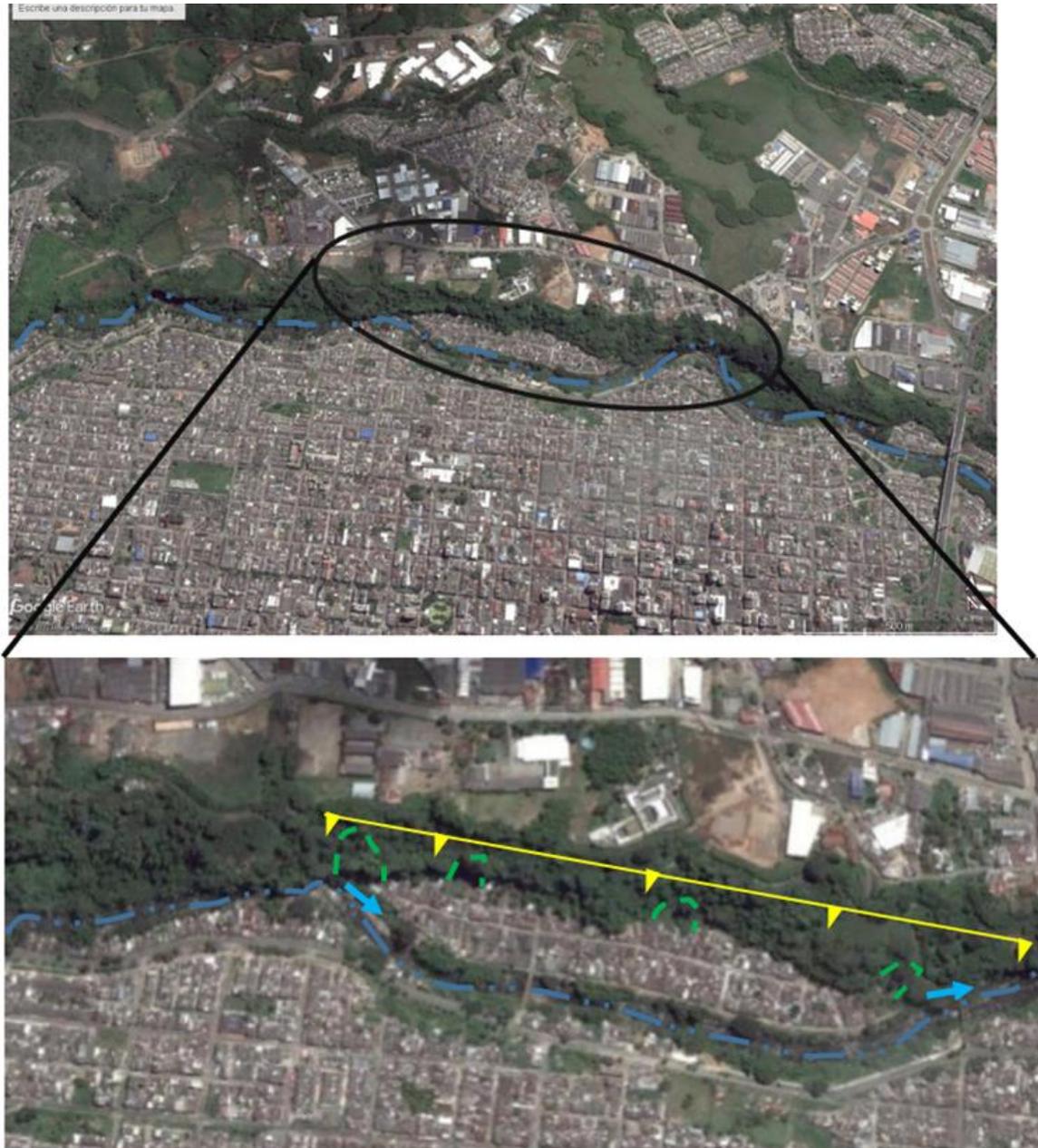


Fuente: (Propia, 2022) basado en IGAC y Google Earth.

Año 2014. La foto aérea del año 2014 presenta al igual que los vuelos descritos anteriormente una ladera con una amplia zona de cobertura vegetal.

Los procesos erosivos observados corresponden a cuatro cicatrices de deslizamiento distribuidas a lo largo del talud de la zona de estudio, estas cicatrices se encuentran enmascaradas por la cobertura vegetal de la zona, se observa además un talud subvertical, lo que evidencia una fuerte pendiente; se sigue presentando una continuidad en el fenómeno de socavamiento lateral sobre el cauce del río Otún, este fenómeno se ha observado en la fotointerpretación analizada anteriores a este vuelo.

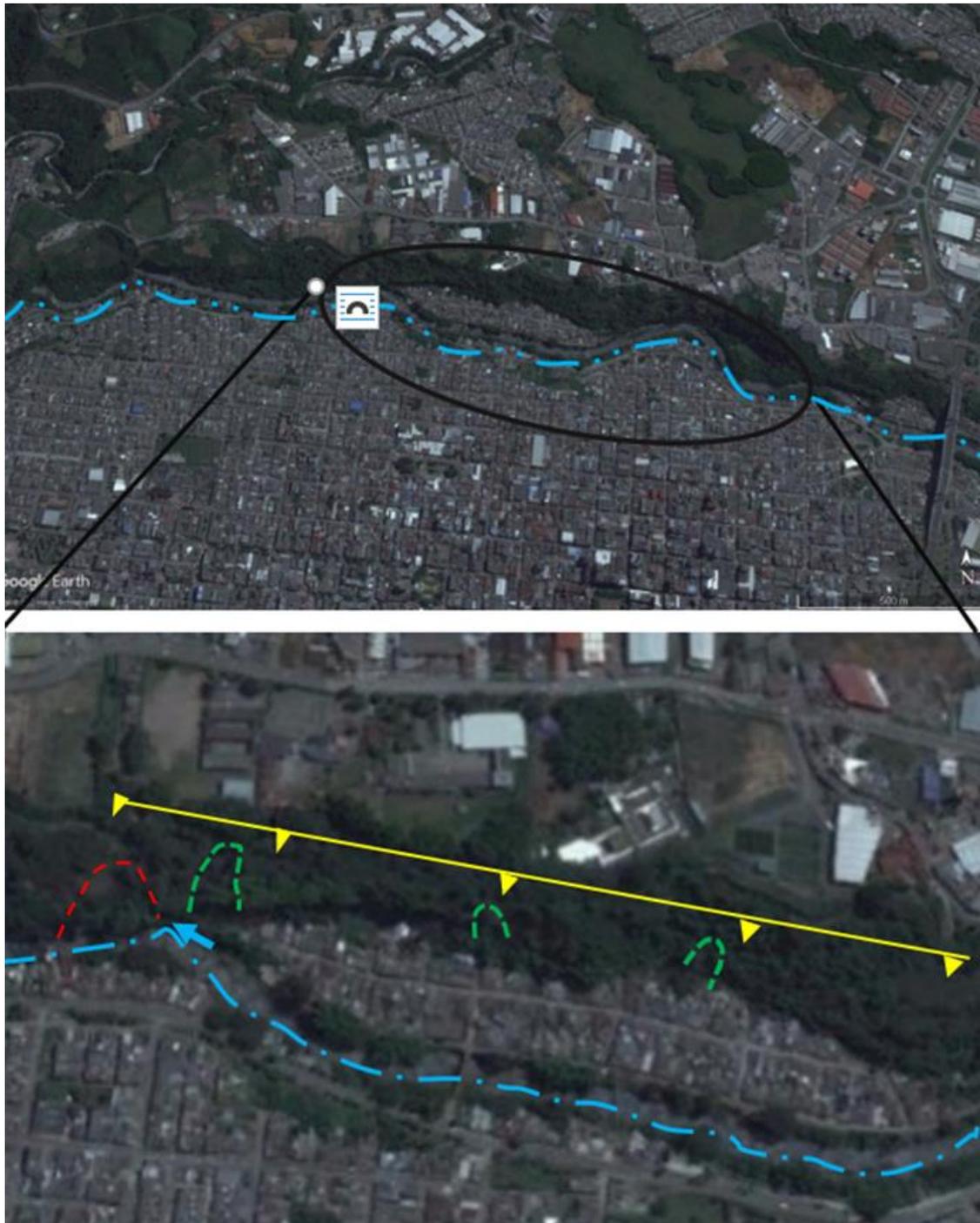
Figura 26. Foto aérea del año 2014



Fuente: (Propia, 2022) basado en IGAC y Google Earth.

Año 2015. En el análisis de la foto aérea del año 2015, no es mucho el cambio que se observa con relación al vuelo anterior; en lo que presenta una variación es en cuanto a los procesos erosivos, ya que en este vuelo se puede apreciar una zona con una actividad erosiva donde se puede ver un proceso erosivo activo para el año, ya sea erosión laminar o movimiento en masa, el cual no es muy legible en su foto interpretación. La continuidad la podemos seguir observando en cuanto al fenómeno de socavación lateral del cauce.

Figura 27. Foto aérea del año 2015



Fuente: (Propia, 2022) basado en IGAC y Google Earth.

Año 2016. En la foto aérea de este año se puede ver una cobertura vegetal igual a los años anteriores. Se registran dos deslizamientos activos aparentemente superficiales, representados en la imagen en color rojo, que podríamos asociarlos a las lluvias registradas en este año y persiste la socavación sobre el río Otún.

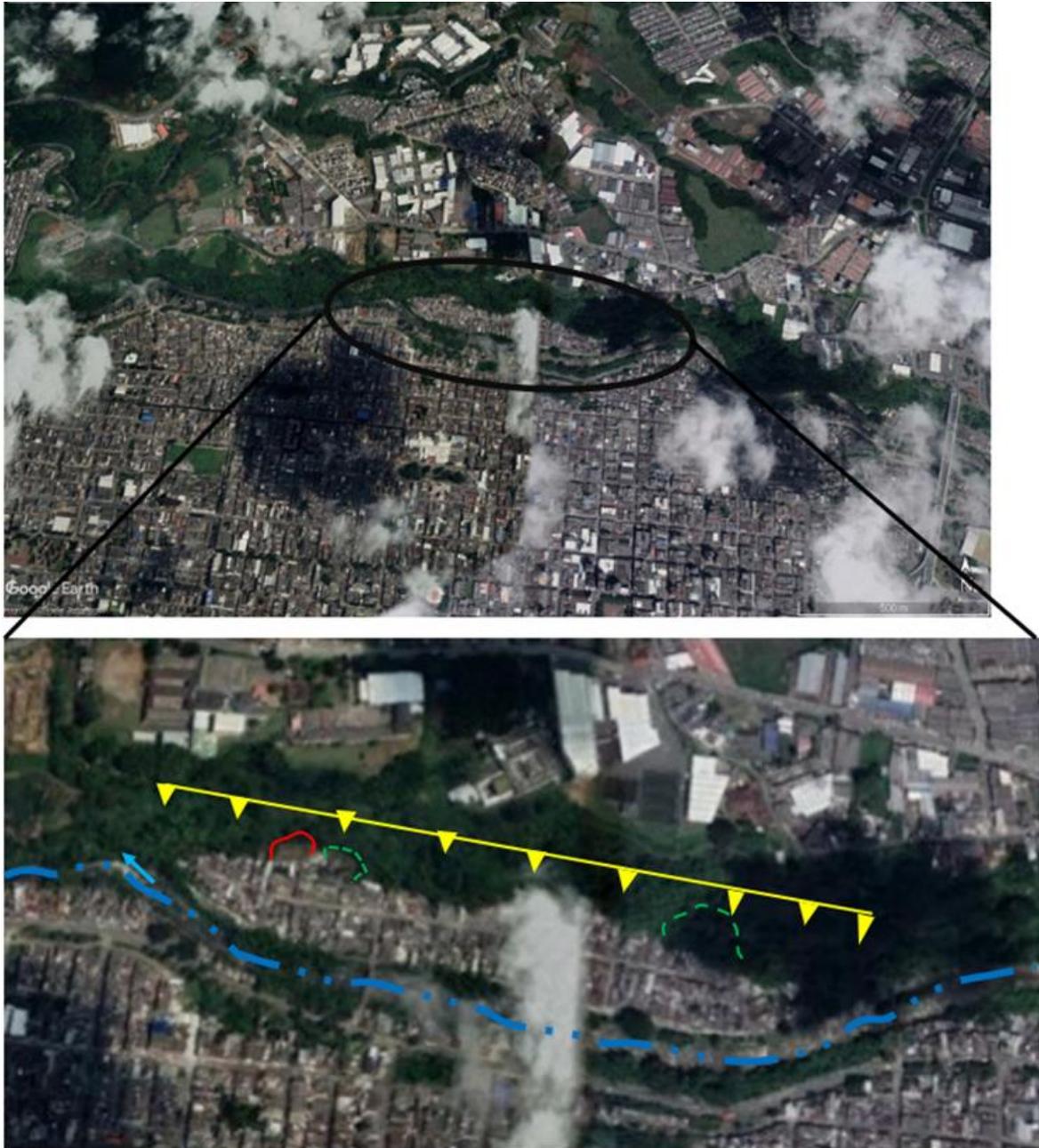
Figura 28. Foto aérea del año 2016



Fuente: (Propia, 2022) basado en IGAC y Google Earth.

Año 2018. Dentro de lo que podemos observar en la foto aérea del año 2018, se sigue observando la continuidad en los fenómenos erosivos sobre el talud de la zona de estudio, es este año observamos dos cicatrices de deslizamiento y un proceso erosivo activo para este año. Al igual que los vuelos descritos anteriormente se observa una ladera con una amplia zona de cobertura vegetal. Sigue siendo evidente el fenómeno de socavación lateral sobre el cauce del río Otún, este fenómeno se ha observado en la fotointerpretación analizada anteriores a este vuelo.

Figura 29. Foto aérea del año 2018



Fuente: (Propia, 2022) basado en IGAC y Google Earth

AÑO 2020. En el análisis de la foto aérea del año 2020, sigue conservando la misma cobertura de suelo, sigue un área muy similar con respecto a los vuelos anteriores; si se destaca en este año la presencia de nuevos fenómenos erosivos que están afectando aparentemente la cobertura vegetal de la zona de trabajo. Persiste el fenómeno de socavación lateral del cauce.

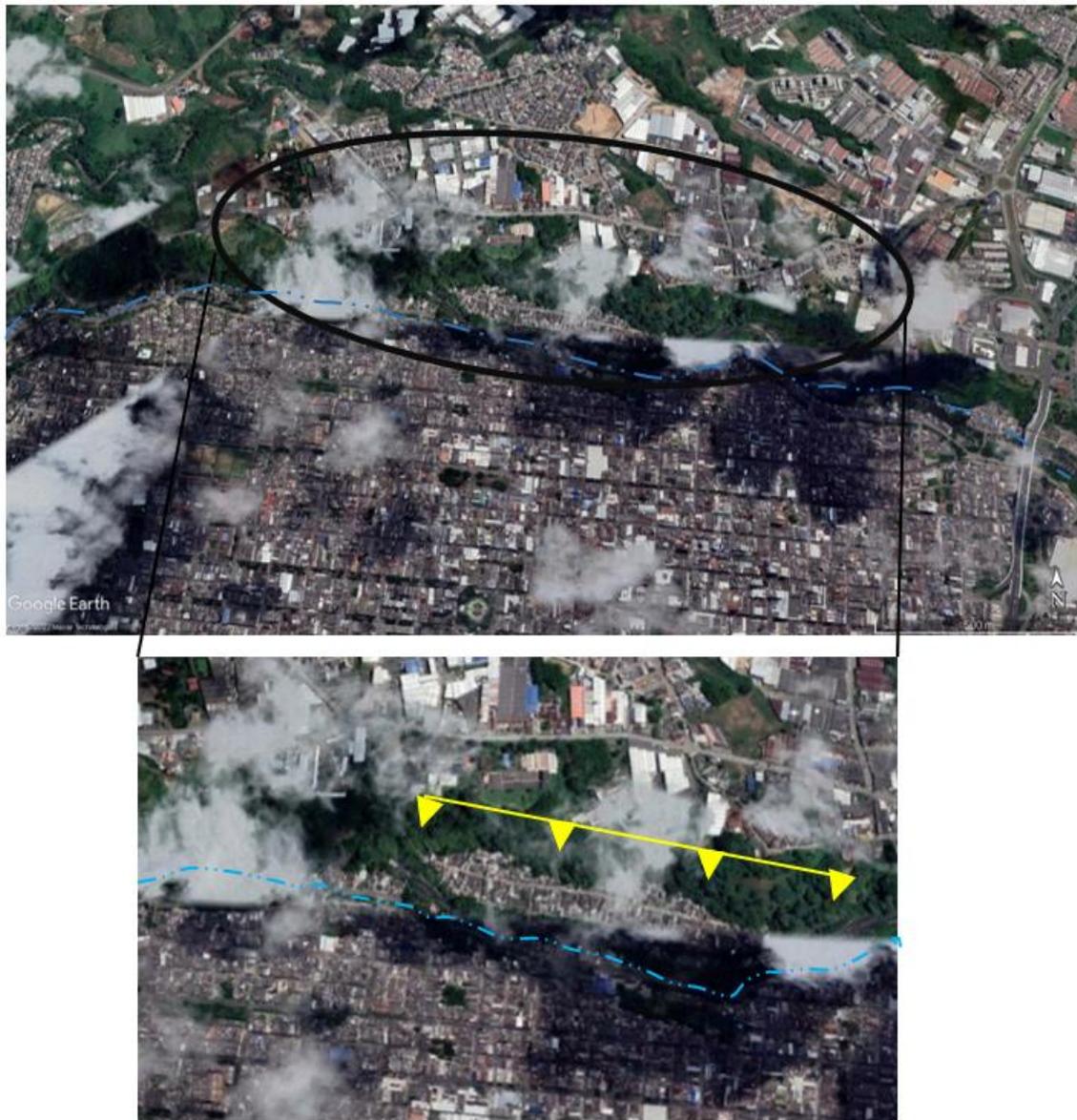
Figura 30. Foto aérea 2020



Fuente: (Propia, 2022) basado en IGAC y Google Earth.

AÑO 2022. En la foto aérea del año 2022 de Google Earth podemos apreciar una espesa capa de vegetación a lo largo de la ladera norte, destacándose áreas con cobertura vegetal de guadual y zonas cubiertas por rastrojo de porte alto.

Figura 31. Foto aérea del año 2022



Fuente: (Propia, 2022) basado en IGAC y Google Earth.

Figura 32. Deslizamiento registrado en el año 2022



Deslizamiento registrado en el 2022. Tomado de www.blu.co

Esta no es la primera vez que esta montaña se viene abajo. El 6 de octubre de 1976, un deslizamiento cobró la vida de 71 personas en la zona. <https://www.elcolombiano.com/colombia/>

Figura 33. Deslizamiento de 1976



Fuente: @cncnoticias

Con la información recolectada a través del análisis multitemporal se concluye que es una zona de alto riesgo por deslizamiento, por sus características geológicas, alta pendiente, tipo de material superficial, materiales inconsolidados; y esto en temporadas de altas precipitaciones permiten la saturación del terreno y la posterior ocurrencia de movimientos en masas.

En cuanto al deslizamiento se concluye que es un movimiento de masa que se encuentra activo, está ubicado sobre una zona de fallas localizado sobre unidades geológicas de tipo consolidados en gran parte son depósitos de tipo aluvial y volcánico, que aunado a las altas precipitaciones presentes en el sector hacen que se activen este tipo de movimientos.

Se establece que la geología encontrada en zona de estudio que está situada sobre un depósito inconsolidados, ha presentado una serie de precipitaciones que la hace susceptible a movimientos de remoción de masa, notando el incremento de los fenómenos erosivos en la ladera norte desde el año 2016.

Al realizar el análisis multitemporal se puede ver una progresión en cuanto a la evolución de los procesos erosivos y su afectación en los predios, la comunidad y su infraestructura, notando que, en épocas de alta precipitación, en la zona se profundiza el problema dado a las grandes saturaciones en el terreno el cual se puede manifestar con los desplazamientos de masa observados en diferentes sectores de la ladera

8 ESTUDIO GEOLÓGICO

8.1 GEOLOGÍA REGIONAL

La evolución geológica del territorio de los Departamentos de Risaralda se enmarca en la historia geológica de la Cordillera Central. Sobre el basamento precámbrico de la cordillera se depositó una secuencia volcanosedimentaria durante el Paleozoico Temprano (Complejo Cajamarca), que posteriormente fue sometida a condiciones de metamorfismo de alta temperatura y baja presión, que en los procesos orogénicos posteriores permitieron el emplazamiento de intrusivos néisicos.

Posteriormente y durante el Cretácico Temprano se depositaron las sedimentitas intercaladas con vulcanitas del Complejo Quebradagrande, posiblemente en un ambiente oceánico. La secuencia metamórfica del Complejo Arquía corresponde posiblemente al emplazamiento tectónico por obducción de remanentes de una placa oceánica, que durante la adhesión a la cordillera fueron fragmentadas, metamorfizadas y se mezclaron estructuralmente con la secuencia del Complejo Quebradagrande.

Durante el Cretácico Tardío-Paleogeno se produjo el emplazamiento de los complejos ígneos de Córdoba y del Río Navarco, así como el fallamiento de rumbo del sistema de fallas de Cauca-Romeral. Al final del Neógeno se presentó la intrusión de los cuerpos hipoabisales porfídicos de composición andesítica a Dacítica.

Durante el Plioceno–Pleistoceno se produjeron eventos sedimentariovolcánicos que dieron origen al espeso depósito del Abanico del Quindío, producto de la actividad eruptiva de los volcanes Nevado del Quindío, Nevado Santa Isabel y Cerro Santa Rosa, localizados Cordillera Central. Las erupciones volcánicas provocaron el deshielo y la formación de flujos de lodo que descendieron por el flanco occidental de la cordillera hacia el valle del Río La Vieja. Adicionalmente, la acción de los glaciares, las avenidas torrenciales y los depósitos piroclásticos de caída y de flujo contribuyeron de igual manera a la construcción de este depósito.

Después de la última glaciación, ocurrió una reactivación volcánica que dio origen a gran parte de los materiales piroclásticos que actualmente cubren las formaciones rocosas más antiguas. Las variaciones climáticas y la actividad tectónica contribuyeron a la formación de los depósitos aluviales y coluviales. La disección fue acelerada por el levantamiento regional de la cordillera durante el Cuaternario, dando al área la configuración geomorfológica actual.

Es así como en el Municipio de Dosquebradas afloran rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias de edades cretáceas a terciarias. Además de las unidades rocosas aflorantes, también se observan diversos tipos de depósitos cuaternarios que se describirán de acuerdo con su origen.

8.1.1 COMPLEJO CAJAMARCA

Con este nombre se describen las rocas metamórficas de edad Paleozoica que constituyen el núcleo de la Cordillera Central, las cuales varían ampliamente en composición y extensión y son el resultado de varios episodios metamórficos regionales o de contacto de intensidad variable. De acuerdo a su composición química y a su identificación se han definido cuatro grupos generales dentro del Complejo Cajamarca.

8.1.1.1 GRUPO PELÍTICO (Pes, Pnf, Pnch)

Esquistos Sericíticos (Pes):

La Unidad de Esquistos Sericíticos (Pes), agrupa esquistos cuarzo-sericíticos, esquistos micáceos, filitas y algunas pizarras, rocas caracterizadas en campo por su color negro y que localmente pueden contener intercalaciones de cuarcitas y metabasitas (esquistos verdes). Son rocas de color grisáceo a negro, localmente con bandeamiento composicional, de grano fino a muy fino, bien foliadas, generalmente replegadas, con venas de cuarzo lechoso de segregación metamórfica que se acomodan a la forma de los plegamientos. La roca predominante está compuesta por cuarzo, sericita, grafito, clorita y como accesorios turmalina, circón, apatito y opacos. En algunas muestras pueden aparecer biotita, andalucita, granate y estaurolita; estas rocas muestran una mayor recristalización e indican un mayor grado de metamorfismo alcanzando hasta facies anfibolita en las rocas con estaurolita.

Los esquistos se han originado a partir de una secuencia sedimentaria pelítica con intercalaciones de arenitas cuarzosas en un ambiente de plataforma continental con condiciones reductoras que permiten la preservación de la materia orgánica.

Neises Feldespáticos (Pnf, Pnch):

Esta unidad varía en su estructura desde esquistosa a migmatítica y a veces cataclástica. Al nororiente de Caldas, están relacionados a cuarcitas y esquistos sericíticos, de grano medio y color gris plata, son equivalentes de medio a alto grado de metamorfismo de los esquistos sericíticos y se considera que fueron sedimentos pelíticos arenosos, antes del metamorfismo.

El Neis de Chinchiná (Pnch), constituye un cuerpo elongado de 19 km de longitud por 1 km de ancho, se encuentra en contacto fallado con las rocas del Complejo Quebradagrande, intruido localmente al oeste y al sur por rocas gabrodioríticas de Chinchiná – Santa Rosa y relacionado con el sistema de fallas de Romeral. Se consideran de origen intrusivo neísico y anatéctico. Sin embargo, por su composición mineralógica (presencia de sillimanita-granate, tipo de biotita y alto contenido de cuarzo), por la ausencia de un contacto intrusivo y por su asociación íntima con cuarcitas y esquistos biotíticos, se prefiere considerarlo como un paraneis aunque es de anotar que localmente en la zona aparecen rocas graníticas, con base en las cuales probablemente se consideró el origen intrusivo anotado anteriormente.

8.1.1.2 ROCAS METAMÓRFICAS DE MUY BAJO GRADO (Pbsd)

Estas rocas constituyen un cuerpo elongado en dirección NE, que aflora principalmente en la zona centro oriente del departamento de Caldas. Reposan concordantemente con cuarcitas y esquistos sericíticos, probablemente representan la parte superior de la secuencia pelítica, con intercalaciones de arenitas cuarzosas que originaron las otras rocas metamórficas pero que al estar sometidas a condiciones de más baja presión y temperatura, desarrollan un metamorfismo regional de más bajo grado, zona de clorita en las facies de esquistos verdes. Las rocas predominantes son pizarras, filitas, metagrauvacas, metarenitas y cuarcitas de grano fino con textura metaclástica. Su origen es de sedimentos clásticos y se diferencia el metamorfismo por la formación insipiente de micas, por un aumento ligero en el tamaño del grano en la matriz y por la orientación subparalela de porfiroblastos. La foliación se ha desarrollado débilmente y en muchos casos se confunde con la estratificación del sedimento original; en la mayoría de los casos es difícil separar el evento metamórfico del sedimentario.

8.1.1.3 GRUPO CUARZOSO (Pnq)

Cuarcitas (Pnq):

Se encuentra principalmente al nororiente del departamento de Caldas. La roca predominante está constituida por cuarzo en mosaicos, localmente con biotita y en la de más alto grado de metamorfismo pueden aparecer algunos microporfiroblastos de andalucita, granate, cordierita y sillimanita fibrosa; aunque no se observan cambios apreciables en la apariencia cuando se pasa de un grado de metamorfismo a otro.

Con respecto a los esquistos sericíticos, muestran variaciones gradacionales, marcadas por un aumento en el contenido de micas y grafito, lo cual indicaría cambios laterales en la cuenca de depositación con un aumento gradual en el contenido de material arcilloso y orgánico que se depositaba en ella.

8.1.1.4 GRUPO CALCÁREO (Pm)

Mármoles (Pm):

Corresponde a cuerpos pequeños de mármol que afloran en el borde oriental del departamento de Caldas, generalmente son rocas macizas donde el tamaño de grano varía de fino a grueso y el color de gris oscuro a blanco. Los mármoles se forman a partir de calizas relativamente puras por metamorfismo regional de bajo grado, intensificado localmente por efectos térmicos posteriores.

8.1.1.5 GRUPO BÁSICO (Pa, Pev)

Anfibolitas (Pa):

Corresponde a cuerpos pequeños de anfibolita, generalmente asociados con ortoneises se ubican al noreste de Caldas; son rocas con coloraciones que varía de gris verdosa oscura a negra, foliada a néisica, de grano fino a medio, ocasionalmente bandeada y está constituida principalmente por horblenda y plagioclasa con cantidades menores de esfena, apatito, opacos y a veces con cuarzo, biotita, epidota y calcita secundaria.

Esquistos Verdes (Pev):

Estas rocas se encuentran ubicadas sobre ambos flancos de la cordillera Central, se distinguen por su coloración verdosa en tonos claros y oscuros; por lo general son rocas macizas a esquistosas con foliación bien definida. La composición química y su alteración concordante con esquistos sericíticos de origen sedimentario, hace pensar que estos esquistos se originaron a partir de rocas tobáceas básicas formadas durante eventos volcánicos que se alteraron con la depositación de sedimentos en una cuenca geosinclinal.

8.1.2 COMPLEJO QUEBRADAGRANDE (Kvc, Ksc)

Fue definido como un conjunto de derrames volcánicos de carácter ácido y básico con intercalaciones de sedimentos marinos, de edad Cretácica; este complejo fue dividido en dos subconjuntos, uno volcánico y el otro sedimentario, los cuales presentan variaciones litoestratigráficas tanto en la secuencia sedimentaria como en la relación de intercalaciones de derrames volcánicos y capas piroclásticas; los derrames se prolongan por centenares a miles de metros para luego acuñarse. La naturaleza de los contactos con las unidades adyacentes varia a escala regional, generalmente son tectónicos con las metamórficas e intrusivos mesozoicos; es intruido por plutones terciarios.

8.1.2.1 MIEMBRO VOLCÁNICO (Kvc)

Se presenta en varios cuerpos con contactos tectónicos; generalmente de composición basáltica con cantidades menores de andesitas y piroclastitas e intercalaciones de sedimentos marinos con aporte volcanogénico. Esta secuencia está constituida por espilitas, diabasas, basaltos y rocas piroclásticas, con intercalaciones de cherts, areniscas lodosas líticas, arenitas feldespáticas y limolitas.

8.1.2.2 MIEMBRO SEDIMENTARIO (Ksc)

Constituido por una secuencia epiclástica, con estratificación fina, de color gris verdoso a negro, con grauvacas silíceas, lutitas, localmente con chert, calizas y bancos de conglomerados polimictícos. Es común encontrar venas y lentes concordantes y discordantes de cuarzo lechoso y por lo general las rocas de esta unidad desarrolla un clivaje pizarroso y de fractura paralela a la estratificación original; en los conglomerados se desarrolla un clivaje de fractura y los cantos son elipsoides y aplastados definiendo una lineación elongada.

8.1.3 STOCK DE CHINCHINÁ – SANTA ROSA (Kdg)

De edad Cretácea temprana, litológicamente corresponde a rocas dioritas y gabroides que se presentan en forma alargada y paralela a la falla Romeral, entre Chinchiná y Santa Rosa. La roca predominante es de grano fino a grueso con estructura foliada hacia los bordes dando la apariencia de una anfíbolita. La composición de esta unidad varía de diorita horbléndica a gabro piroxénico con facies pegmatíticas básicas hacia el borde.

8.1.4 STOCK DE PEREIRA (Kgp).

Corresponde a una roca homogénea, masiva de grano grueso y color verdoso, compuesta por plagioclasa, ferromagnesianos y localmente, con cuarzo accesorio; su composición predominante es diorita-gabroíde con variaciones local a tonalita; intruye metamórficas del complejo Arquía y está cubierto discordantemente por sedimentos y flujos de lodo cuaternarios. Aflora al sur de Santa Rosa y está separado del Stock de Santa Rosa por una cubierta de flujos de lodo y cenizas volcánicas cuaternarias; tiene una extensión de 30km²; los afloramientos son escasos y presentan una meteorización avanzada. Las mejores exposiciones se encuentran en las quebradas Esmeraldas, Manizales, Sabanitas, San José y en el Río Otún.

8.1.5 COMPLEJO ARQUIA (Kiea, Kies)

Unidad aflorante entre las fallas Silvia-Pijao y Cauca-Romeral, en el flanco occidental de la Cordillera Central; para la secuencia de rocas metamórficas de media presión que afloran en el Río Arquia, incluyen los esquistos de Lisboa-Palestina y los esquistos anfibólicos del río Cauca. Aunque no se tiene claridad con su edad, la mayoría de los autores que han escrito sobre el metamorfismo de alta presión, consideran al menos su emplazamiento durante el Cretácico.

Debido a la extensión regional, en bloques tectónicos a estructurales, a lo largo del sistema de fallas Romeral, la diversidad de contactos con las unidades adyacentes y la variación en el tipo de metamorfismo de media a alta presión en esta unidad, permiten plantear la variación en el rango estratigráfico, considerándola como una macrounidad litodémica, de tal modo que estudios posteriores detallados, lleven a su subdivisión en unidades de menor grado como grupos o formaciones.

8.1.5.1 ESQUISTOS ACTINOLÍTICOS Y ESQUISTOS NEGROS (Kies)

Son esquistos cuarzo-sericíticos y cuarcitas compuestas por cuarzo y moscovita; hacen parte de los llamados esquistos de Lisboa – Palestina, caracterizados por la presencia de esquistos verdes y esquistos negros.

Los esquistos verdes se encuentran relacionados a esquistos negros en intercalaciones que varían de centimétricas a métricas y el contacto con anfibolitas es generalmente fallado. La mayoría de las rocas son esquistos actinolíticos, constituidos además por plagioclasa, clorita y calcita pudiendo localmente aumentar el contenido de estos dos últimos minerales para pasar a esquistos cloríticos o calcáreos.

Los esquistos negros se caracterizan por el contenido de grafito y bandas de cuarzo lechoso siendo notables los plegamientos que presentan; fundamentalmente son esquistos cuarzo-moscovíticos con grafito hasta cuarcitas con cantidades menores de clorita, granate, cloritoide, opacos, rutilo, esfena, circón y turmalina.

8.1.5.2 ANFÍBOLITAS (Kiea)

Incluye anfíbolitas sausríticas y localmente granatíferas; las anfíbolitas granatíferas presentan foliación definida por la orientación de prismas de hornblenda y ocasionalmente aparecen bandeadas, están compuestas por hornblenda, plagioclasa intermedia, granate almandínico con cantidades variables de epidota, cuarzo, esfena, rutilo y opacos. Las anfíbolitas sausríticas son de grano más fino que las anteriores, no presentan granate y la plagioclasa está intensamente sausriritizada.

8.1.6 FORMACIÓN BARROSO

Descrita inicialmente por Alvarez (1971) bajo el nombre de Formación volcánica del grupo Cañasgordas, para denominar la secuencia de rocas volcánicas y sedimentarias que constituyen la mayor parte de los afloramientos de la zona septentrional de la Cordillera Occidental (Vargas & Amaya 1990), corresponde a una unidad volcano-sedimentaria que aparece en los mapas regionales como una franja alargada N-S, en el flanco oriental de la Cordillera Occidental (Rodríguez & Zapata., 2013). Según Rodríguez y Arango (2012), se encuentra constituida por derrames lávicos basálticos y andesíticos, tobas, aglomerados, tufas e intercalaciones sedimentarias de chert, lodolitas, limolitas y grauwacas. Vargas & Amaya (1990) plantean una edad cretácica de Albiano medio para la Formación, en función de fósiles descubiertos por ETAYO, y otros (1980), no obstante, de acuerdo a Rodríguez & Zapata (2013) el vulcanismo de arco que habría dado origen a la Formación Barroso se enmarcaría en el rango entre el Aptiano y el Cenomaniano.

8.1.7 GLACIS DEL QUINDÍO

Definida inicialmente por McCourt, 1984. Refiriéndose a una unidad semi-consolidada de depósitos de flujos volcanoclásticos constituidos por piroclastos y epiclastos de composición andesítica, que se encuentran asociados a la actividad volcánica Plio-Pleistocena de los volcanes del Complejo Volcánico Ruiz – Tolima (Guarín, et. al 2006. en Suter, et. al. 2005). Estratigráficamente se presenta suprayaciendo discordantemente a las formaciones Fm. Cartago y Fm. La Paila de edades más antiguas (Aránzazu & Ríos, 1989). Esta sucesión corresponde a abanicos volcánicos coalescentes en los que cada uno de los pulsos individuales puede alcanzar hasta los 100m de espesor (Guarín, et. al 2006. en Suter, et. al. 2005). Gorin et al., (2005), plantea que sedimentológicamente la formación muestra una transición en función de la relación agua-sedimento de avalanchas de escombros, flujos de escombros, flujos de transición, flujos hiperconcentrados y flujos de corrientes normales; a partir de lo cual realiza una subdivisión con respecto la fuente en partes proximales, intermedias y distales; cuyos espesores varían entre más de 200m en las zonas proximales, y menos de 50m en las partes distales. Cabe aclarar que el área en cuestión dentro de dicha subdivisión se encuentra en la parte intermedia.

8.1.8 DEPÓSITOS FLUVIOVOLCÁNICOS (Qvc)

En el extremo oriental del Parque Nacional Natural de los Nevados, sobre el flanco occidental de la Cordillera Central, se encuentran flujos de lodo volcánico “Lahars”, sobre estos flujos se constituye gran parte de las ciudades de Manizales, Chinchiná, Nereidas, Villamaría y Aranzazu y ocupan la parte baja de los Ríos Chinchiná y Guacaica.

Estos flujos se constituyen por cantos y bloques en general redondeados y subredondeados, de decímetros a metros de diámetro; de vulcanitas andesíticas, pumitas, esquistos, plutonitas graníticas y cuarzo lechoso, en una matriz piroclástica de ceniza, arena, lapilli pumítico y fragmentos de rocas volcánicas, donde el tamaño y cantidad de bloques decrece a medida que se aleje del centro de origen.

Los flujos de lodo son producto de la actividad explosiva de los volcanes del área y de los correspondientes flujos de escombros proyectados hacia el pie de monte de la Cordillera Central y el Valle del Cauca a lo largo de los cauces de los ríos y arroyos, al producirse un rápido deshielo por el vulcanismo. La edad de cada uno de los flujos no se ha determinado, pero los eventos que los originaron ocurrieron entre el Pleistoceno y Holoceno, pudiéndose considerar la mayoría, como Holocénicos a actuales.

8.1.9 DEPÓSITOS ALUVIALES RECIENTES (Qal)

Los depósitos que rellenan los valles de los Ríos Cauca y Magdalena y la parte baja del curso de muchos ríos y quebradas del área, constituyen el Cuaternario más reciente, escasamente disectado y formando amplias llanuras en el valle del Magdalena; generalmente se trata de llanuras producidas por repetidas inundaciones y en algunos casos por flujos de lodo posiblemente relacionados a rápidos deshielos.

Estos depósitos están constituidos por bloques, gravas, arenas y limos en diversas proporciones, embebidos en una matriz areno-arcillosa. Es común encontrar en las diversas riveras, especialmente cerca de la desembocadura de los ríos y quebradas, acumulaciones de bloques de diferentes tipos de roca y tamaño, estas inundaciones invaden el curso del río principal y lo obligan a socavar la orilla contraria.

8.1.10 DEPÓSITOS DE CAÍDA PIROCLÁSTICA (Qcp)

Corresponden al complejo volcánico Ruiz-Cerro Bravo. El Volcán Cerro Bravo es el único volcán en Caldas que ha producido erupciones piroclásticas de tipo Pliniano importantes en épocas post-glaciares, por lo tanto, en la zona cercana a este presenta una gruesa capa de piroclastos de caída, constituida principalmente por pumitas y arenas mezcladas con cenizas y en las vecindades del volcán hay presencia de bombas de corteza de pan hasta de un metro de diámetro. Las características de los depósitos piroclásticos son típicas de erupciones altamente explosivas: Se observan depósitos de “surge” de caída, flujos de pómez, depósitos de nube ardiente y tobas vesiculadas. Por la magnitud de esta actividad explosiva es probable que algunas de las capas de cenizas que recubren formaciones antiguas en el Valle del Magdalena en el sector de la Dorada provengan de este volcán.

Los productos piroclásticos del Volcán Nevado del Ruiz son relacionados con actividad explosiva moderada; corresponden a arena, escoria y lapilli.

8.2 GEOLOGÍA LOCAL

Dentro del área de estudio se enmarcan tres unidades geológicas, las cuales se describen a continuación:

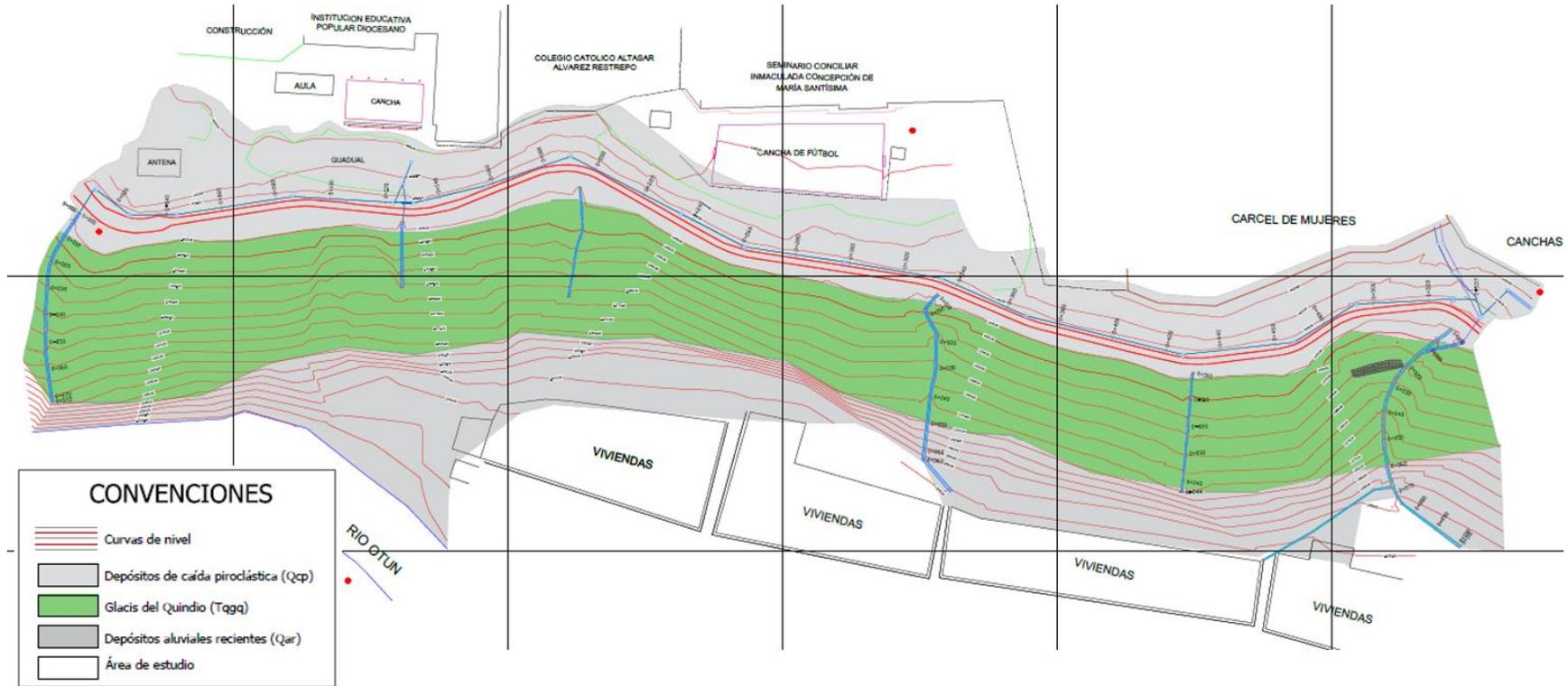
8.2.1 GLACIS DEL QUINDÍO

También se le denomina formación Armenia, se presenta esta unidad como un depósito poco consolidado, el cual corresponde a unos depósitos flujo volcanoclásticos constituidos por una mezcla de materiales de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas; esta unidad de rocas está asociada directamente con un origen volcánico proveniente del Complejo Volcánico Ruiz – Tolima. Estratigráficamente se presenta suprayaciendo discordantemente los depósitos aluviales recientes y a su vez la infrayacen los depósitos de caída piroclástica.

8.2.2 DEPÓSITOS DE CAÍDA PIROCLÁSTICA

Estos depósitos corresponden a la última actividad volcánica del Complejo volcánico Ruiz Cerro bravo – Machín, en la zona de estudio se localizan en las áreas de menor pendiente siguiendo la topografía del terreno. Se observan arenas de color amarillo claro a amarillo ocre; presentan una alta porosidad y permeabilidad.

Figura 35. Mapa geológico



Fuente: (Propia, 2022)

Figura 36. En la imagen se puede apreciar los depósitos de caída piroclástica.



Fuente: (Propia, 2022)

8.2.3 DEPÓSITOS ALUVIALES RECIENTES

Se localizan en la margen del río Otún, se presentan en forma de llanuras producidas por las inundaciones del río. Se constituyen por bloques, gravas, arenas y limos en diversas proporciones, embebidos en una matriz areno-arcillosa de color amarilloso.

8.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

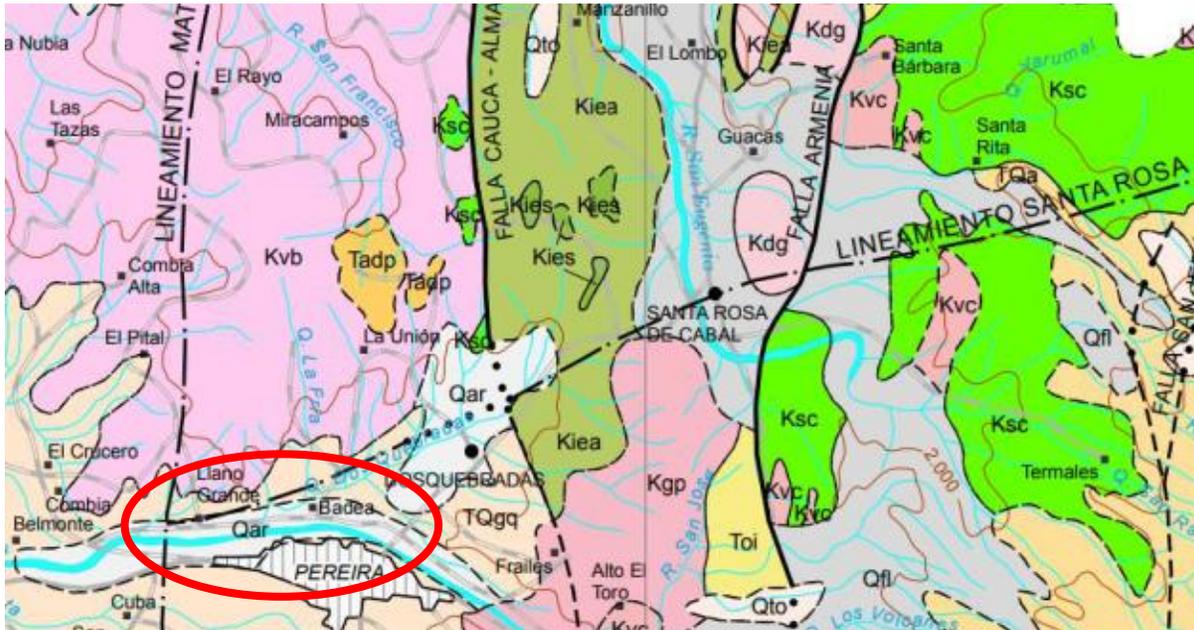
El área de estudio se encuentra afectada por el Sistema de Fallas de Romeral, que se extiende en dirección Norte desde el Ecuador hasta el sur del Departamento de Bolívar. Dentro del área de influencia de la zona de estudio estas fallas están compuesta por numerosas fracturas paralelas y subparalelas que se entrecruzan en determinados puntos y que pueden agruparse en tres sistemas de magnitud regional. Entre estos sistemas se presentan fallas importantes que muestran un trazo oblicuo. Los sistemas de fallas han producido un intenso fracturamiento de los materiales rocosos, el cual ha contribuido en el modelamiento del paisaje y en el desarrollo de diferentes geoformas y procesos morfodinámicos.

“Las rocas del área han sido metamorfizadas, plegadas y falladas durante varias orogenias y registran, en gran parte, la historia tectónica del Occidente Colombiano que por su complejidad y superposición de eventos oscurece y modifica las relaciones estratigráficas originales. Además, durante el Cenozoico y hasta épocas recientes se presentaron grandes eventos volcánicos cuyos productos fosilizan el relieve y no permiten observaciones detalladas” (Mapa Geológico de Risaralda, Ingeominas 1990).

La zona se encuentra enmarcada entre las cotas 1350 y 2150 m.s.n.m., en donde los accidentes orográficos más importantes son los de El Toro, El Oso, La Cruz y El Nudo; estos cerros presentan laderas largas de pendiente fuerte; en su base, delimitan el sector del valle de Dosquebradas, donde descansa la parte urbana. Entre estas morfologías se destacan las colinas onduladas de pendientes suaves que conforman el piedemonte cordilleral. El cinturón montañoso delimita en forma semicircular hacia el este, norte y occidente la microcuenca, que es abierta hacia el sur. La hoya hidrográfica de la Quebrada Dosquebradas forma así un valle intramontano, con un frente amplio en la parte sur demarcada por el escarpe de Río Otún. El análisis de las pendientes permite la visualización de zonas con diferente grado de inclinación; enmarca a su vez las diferentes unidades litológicas, que muestran determinado comportamiento respecto a la inclinación del terreno, con base también en la presencia de procesos erosivos.

Duque y Pareja, 1992, realizaron este análisis morfométrico de acuerdo a 9 categorías, que relacionados con la información de campo permitieron categorizar seis rangos de pendientes en forma definitiva:

Figura 37. Mapa Geológico de Risaralda (En el círculo rojo se enmarca la zona de estudio)



Fuente: (Ingeominas 1990. Escala 1:200.000)

El extremo Noroccidental de los Andes Suramericanos, donde se encuentra Colombia, está afectado por la convergencia de las placas suramericana, Caribe y Nazca, las cuales le imprimen características muy complejas al marco estructural de la zona, manifestándose en una importante sismicidad y con características de fallamiento activo transcurrente, con cambios en las tasas de movimiento y hasta en el sentido de desplazamiento en varias estructuras principales del mismo.

A continuación, se describen las características de las placas tectónicas:

<p>Carrera 21 #64ª-33 Edificio Multiplaza oficina 1207 Tel. 8934298 e-mail: quasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIO DE AMENAZA VULNERABILIDAD Y RIESGO PARA UN TRAMO DEL COLECTOR DE AGUAS RESIDUALES LADERA NORTE MUNICIPIO DOSQUEBRADAS</p>	<p>Página 113</p>
---	--	-------------------

Placa Nazca:

Se desplaza hacia el Oriente subduciendo la Placa Suramericana, a una velocidad de 8 centímetros por año.

Placa Suramericana:

Se mueve al Oeste, a una velocidad aproximada de 3.1 centímetros por año.

Placa Caribe:

Con un comportamiento activo muy lento a razón de 1 cm por año y actuando en dirección S55°W ± 5°.

En el contexto regional, el extremo Noroccidental de los Andes Suramericanos, donde se encuentra Colombia y por consiguiente la cuenca del Río Chinchiná, está afectado por la convergencia de las placas: Suramericana, Caribe y Nazca, las cuales le imprimen características muy complejas al marco estructural de la zona, manifestándose en una importante sismicidad y con características de fallamiento activo.

8.3.1 FALLA ROMERAL O SILVIA – PIJAO

Esta falla presenta una tendencia general NS a NNE, se encuentra ubicada, en el extremo oriental y representa el límite estructural más oriental cerca del área de estudio (Figura 6). Litológicamente define el contacto entre rocas metamórficas del Complejo Arquía y rocas volcano-sedimentarias marinas, pertenecientes al Complejo Quebradagrande. Presenta una dirección N20-30°E. Esta estructura está asociada con una serie de cuencas tectónicas donde normalmente se encuentran remanentes de secuencias cenozoicas de origen fluvial. (Osorio y Ríos, 2010).

Carrera 21 #64ª-33 Edificio Multiplaza oficina 1207 Tel. 8934298 e-mail: quasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas	ESTUDIO DE AMENAZA VULNERABILIDAD Y RIESGO PARA UN TRAMO DEL COLECTOR DE AGUAS RESIDUALES LADERA NORTE MUNICIPIO DOSQUEBRADAS	Página 114
--	---	------------

Fotogeológicamente presenta silletas, hombreras, facetas triangulares, cuchillas alineadas, cambios altimétricos en cuchillas, deflexión y control de cauces (Sanchez, 2005).

8.3.2 FALLA CAUCA-ALMAGUER

Esta falla al igual que la falla Silvia-Pijao, tiene una dirección NS-NNE y está ubicada en el extremo occidental y representa el límite estructural más occidental cerca del área de estudio. La falla Cauca-Almaguer ha sido considerada la principal falla del sistema de Romeral, pone en contacto al occidente rocas de ambiente oceánico con rocas metamórficas del Complejo Arquía. Presenta una dirección N25°E. A lo largo del territorio nacional, tiene una expresión morfológica de moderada a muy débil, hasta el punto de que en algunos sitios se hace totalmente imperceptible y sus rasgos topográficos o morfológicos no tienen la contundencia de la falla Silvia – Pijao (Paris, 1997).

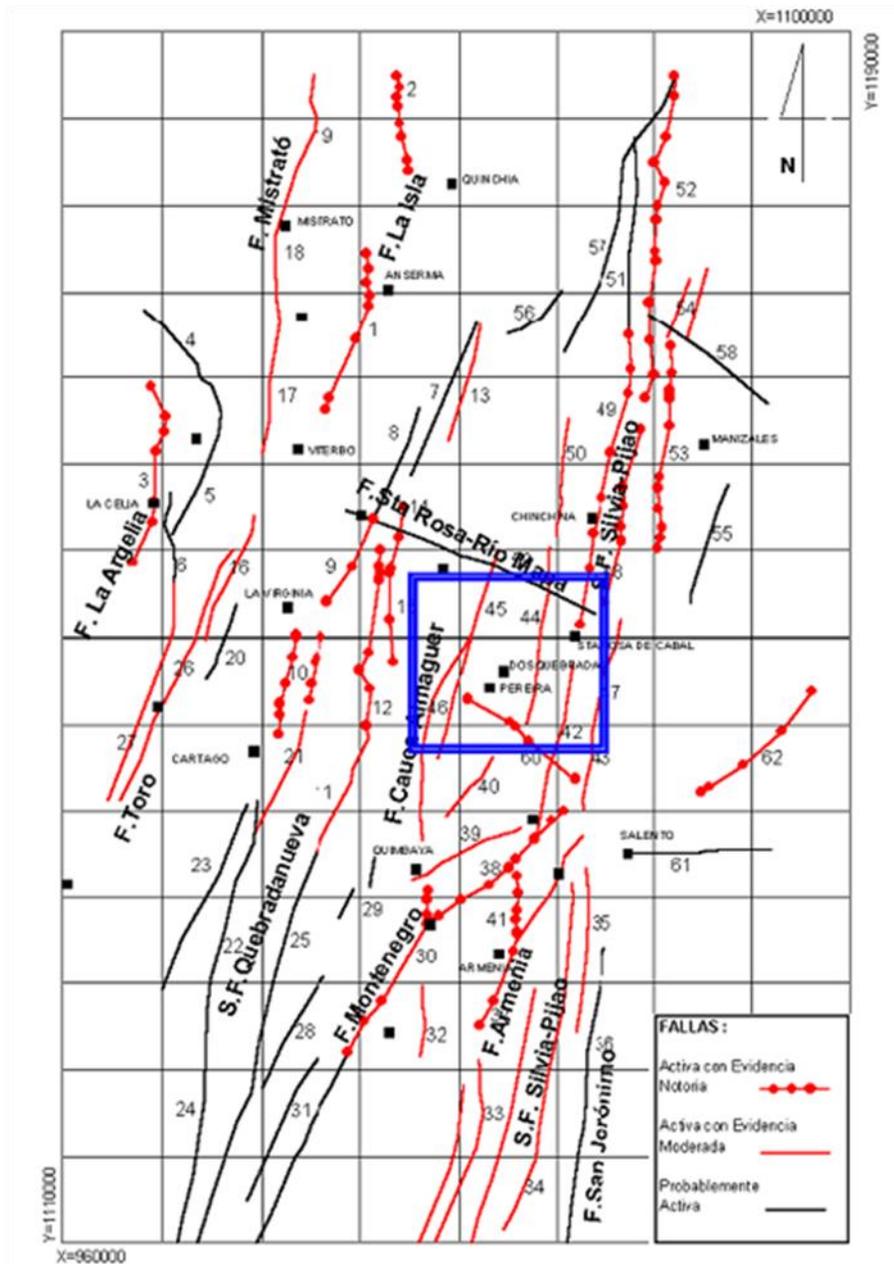
8.3.3 MARCO TECTÓNICO LOCAL

A nivel estructural y con base en el mapa geológico de Risaralda, INGEOMINAS,1993, se tienen las fallas Cauca Almaguer y Armenia, como las principales estructuras que pueden tener incidencia en la zona de estudio; la Falla Cauca Almaguer, posee rumbo predominante Sur-norte y se ubica a una distancia en línea recta aproximada de la zona de estudio de 3 kilómetros, por el sector occidental; y la falla Armenia, con dirección Sur-Norte, cruza por el sector oriental del área a una distancia aproximada de 3 kilómetros.

Se presentan en la figura 6, las principales estructuras que tienen relación con el municipio de Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal.

Carrera 21 #64ª-33 Edificio Multiplaza oficina 1207 Tel. 8934298 e-mail: quasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas	ESTUDIO DE AMENAZA VULNERABILIDAD Y RIESGO PARA UN TRAMO DEL COLECTOR DE AGUAS RESIDUALES LADERA NORTE MUNICIPIO DOSQUEBRADAS	Página 115
--	---	------------

Figura 38. Principales fallas asociadas al municipio de Dosquebradas.



Fuente: Tomado de Diagnostico de riesgos ambientales del municipio de Dosquebradas, CARDER, 2013. El cuadro azul indica la influencia de fallas en el área del municipio.

8.4 GEOMORFOLOGÍA

8.4.1 CLASIFICACIÓN GEOMORFOLÓGICA DE ACUERDO A LA METODOLOGÍA DE ZINCK A. 2012

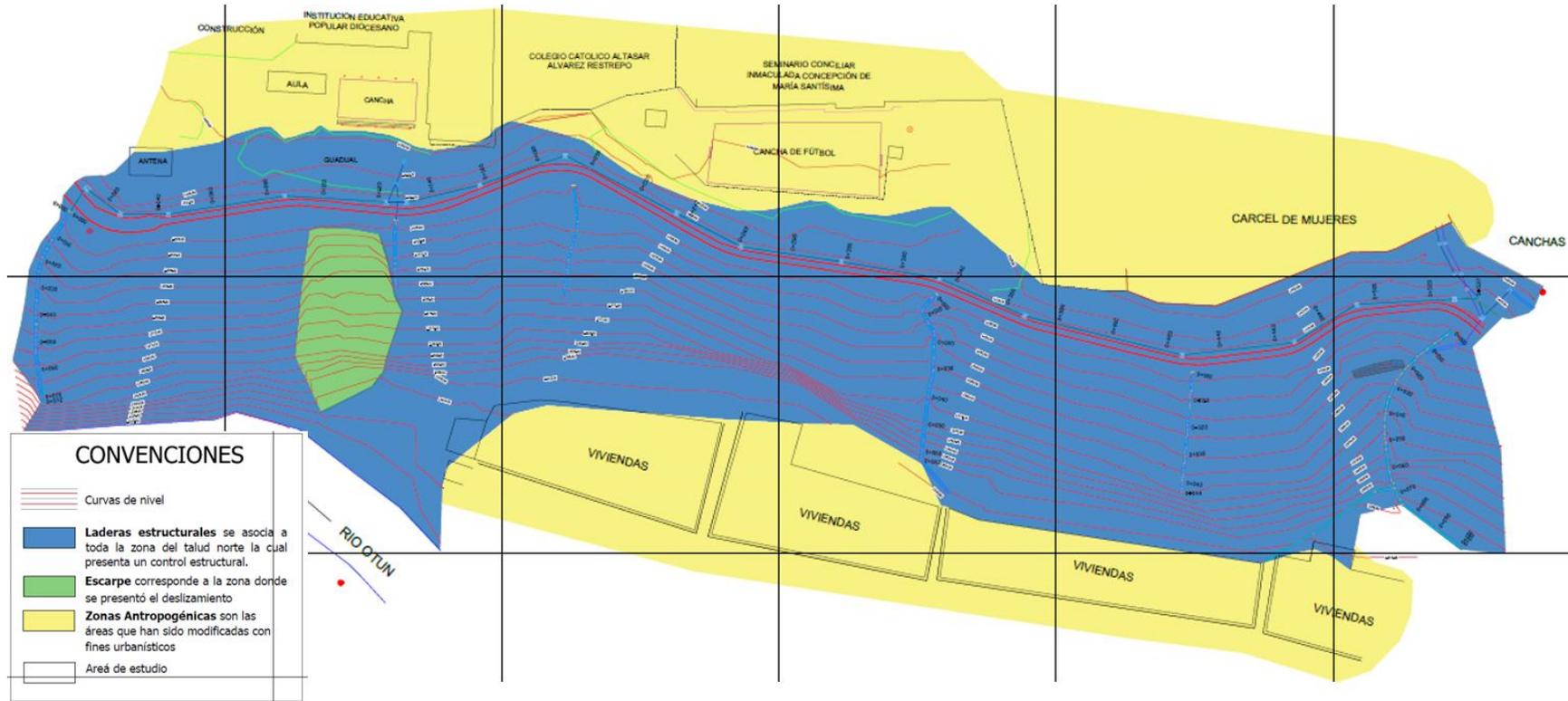
La geomorfología es el estudio de las formas del relieve de la superficie terrestre; su utilización práctica permite la descripción y análisis de las formas y evolución del relieve estudiando los procesos del modelado. Su importancia en los estudios de suelos es muy clara por la estrecha relación entre la génesis de las unidades geomorfológicas y las edáficas. La geomorfología interviene en todas las etapas de los levantamientos de suelos, desde la fase de fotointerpretación de imágenes satelitales, hasta el mapeo de campo e interpretación de la génesis y evolución de los suelos en cada una de las regiones y/o departamentos del país. Las relaciones metodológicas se refieren a las modalidades utilizadas para analizar la distribución espacial y la formación del complejo geoforma-suelo.

La geomorfología contribuye a mejorar el conocimiento de los suelos en términos de su geografía, de su génesis, y de su estratigrafía. En retorno, la información pedológica alimenta al dominio de la geomorfología, mejorando el conocimiento sobre los procesos morfogenéticos. Lo anterior necesita la integración de los datos geomorfológicos y pedológicos en un modelo estructural compartido para identificar y mapear las unidades geopedológicas. (Zinck A., 2012).

Para el estudio, descripción y clasificación de las unidades geomorfológicas de la zona que comprende la zona de estudio, se utilizó el sistema geomorfológico taxonómico multicategorico Jerarquizado de (ZINCK A., 1987), para efectuar la clasificación de las geoformas basados en atributos cualitativos y cuantitativos, aplicables a la topografía y geomorfología del área. El sistema consta de seis categorías, que van aumentando el nivel de detalle, desde lo más general en la primera, hasta el mayor detalle en esta última; para el presente estudio y debido a su carácter general, se utilizó la primera categoría.

La definición de las Unidades Geomorfológicas es importante, para establecer los ambientes de formación y los procesos geológicos a los que han estado sometidas la Unidades de roca, evidenciadas en el paisaje. La geomorfología es indicadora de estabilidad o inestabilidad del terreno y de calidades del suelo, con su análisis se pueden plantear proyectos de planificación o zonificación del suelo. Las unidades geomorfológicas definidas para el área de estudio, se encuentran asociadas con ambientes erosionales. Las clasificaciones empleadas se basan en A, Zinck, 1.995.

Figura 39. Mapa geomorfológico de la zona de estudio



Fuente: (Propia, 2022)

8.4.1.1 LADERAS ESTRUCTURALES.

El área de estudio se encuentra enmarcada en una zona conformada por laderas estructurales, se caracterizan por poseer pendientes fuertes, y conformada por rocas del glacis del Quindío y depósitos cuaternarios recientes.

Figura 40. En la imagen se observa la geoforma de ladera estructural donde se ubica la zona de interés.



Fuente: (Propia, 2022)

8.4.1.2 ESCARPE

Asociado esta geoforma al área donde se presentó el deslizamiento, el tipo de geoforma de escarpe se encuentra en los relieves de montaña.

Figura 41. Geoforma de escarpe



Fuente: (Propia, 2022)

8.4.1.3 ZONAS ANTROPOGÉNICAS

Asociada esta geoforma a las zonas con movimientos del terreno, buscando la adecuación del mismo para la incursión o intervención urbana, relacionadas con depósitos profundos de cenizas, con intervención leve del relieve y la morfometría. Encontrándose en esta geoforma el colegio Diocesano, Baltasar, el Seminario y la Cárcel de mujeres.

Figura 42. Zonas Antropogénicas



Fuente: (Propia, 2022)

8.5 MORFOMETRÍA

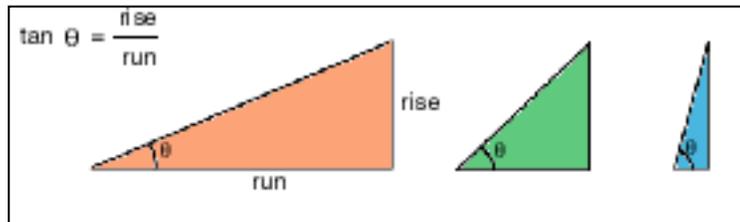
La caracterización morfométrica, es indispensable para realizar el análisis de estabilidad del terreno. El concepto de pendiente se define como la relación existente entre la variación de una distancia medida en la Horizontal y su correspondiente en la Vertical en una Unidad de Terreno determinada.

Grado de pendiente = θ

Porcentaje de pendiente = $\text{Altura (Rise)}/\text{Distancia (Run)} * 100$

$\text{Altura (Rise)} / \text{Distancia (Run)} = \text{Tan } \theta$

Figura 43. Relación de pendientes.



Para los ejemplos ilustrados, se obtienen los siguientes resultados, dados en Porcentajes.

Grado de Pendiente =	30°	45°	76°
Porcentaje de pendiente =	58%	100%	375%

Cuando el ángulo de pendiente es igual a 45°, la altura es igual a la distancia en planta. Expresado en porcentaje, la pendiente de este ángulo es 100%.

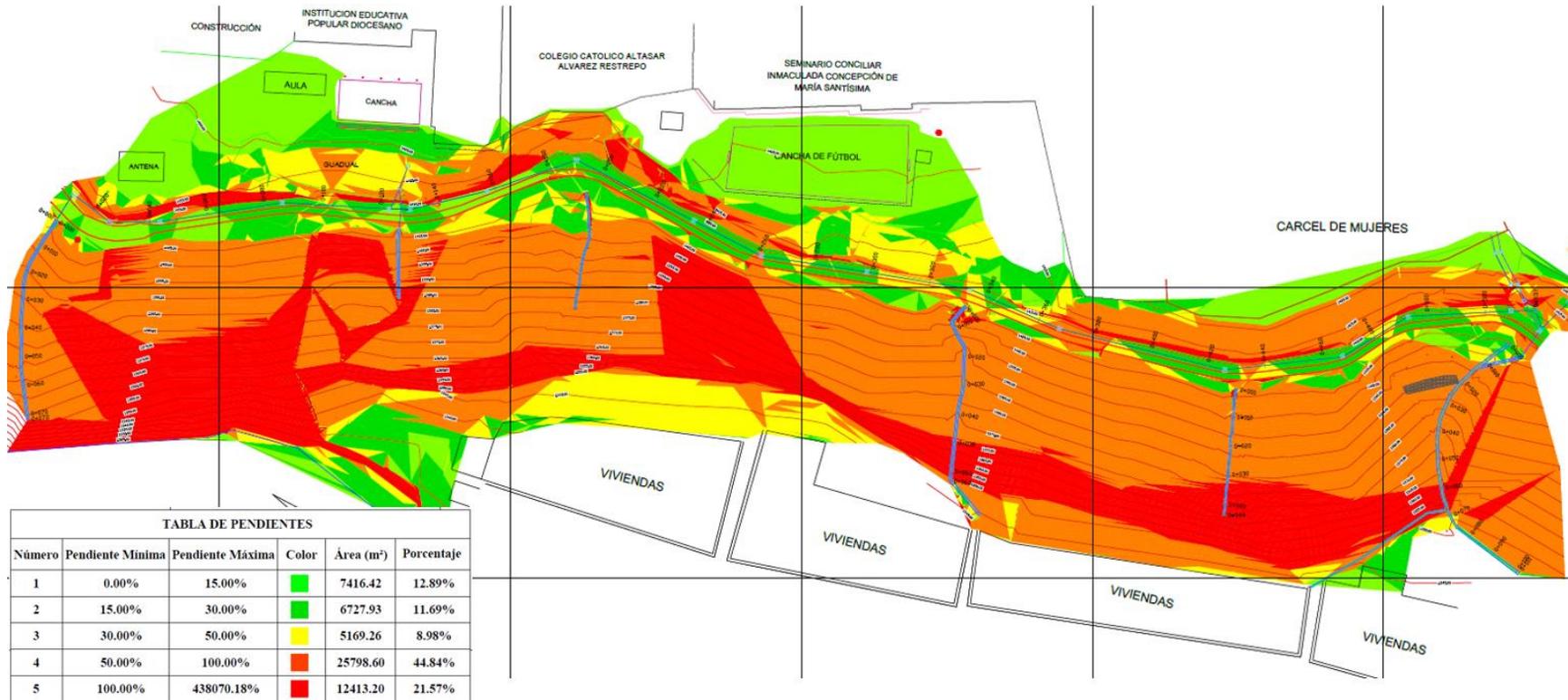
La zona de estudio se caracteriza por presentar pendientes fuertes.

Tabla 3. Tabla de pendiente en la zona de estudio

TABLA DE PENDIENTES					
Número	Pendiente Mínima	Pendiente Máxima	Color	Área (m²)	Porcentaje
1	0.00%	15.00%		7416.42	12.89%
2	15.00%	30.00%		6727.93	11.69%
3	30.00%	50.00%		5169.26	8.98%
4	50.00%	100.00%		25798.60	44.84%
5	100.00%	438070.18%		12413.20	21.57%

Fuente: Propia

Figura 44. Mapa morfométrico de la zona de estudio



Fuente: (Propia, 2022)

8.5.1 RANGO DE PENDIENTES DE 0% AL 15%

El rango de pendientes del 0 al 15% lo encontramos asociado a la parte alta de la ladera, donde se encuentran las áreas con un uso de suelo correspondiente a zonas institucionales donde encontramos el colegio Diocesano y la Cárcel de Mujeres, en cuanto a las formaciones superficiales encontramos dentro de este rango de pendientes depósitos antrópicos y depósitos de caída piroclástica; este rango de pendientes ocupa un porcentaje del 13% en la zona de estudio.

Figura 45. Rango de pendientes entre 0% y 15%



Fuente: (Propia, 2022)

8.5.2 RANGO DE PENDIENTES DEL 15% AL 30% DE INCLINACIÓN:

Este rango de pendientes se presenta asociamos a los costados del canal, se observa en este rango de pendientes uso del suelo correspondiente a rastrojo de porte bajo y cultivos de café; el porcentaje que se tiene de este rango de pendientes es del 11,7%.

Figura 46. Rango de pendientes del 15% al 30%



Fuente: (Propia, 2022).

8.5.3 RANGO DE PENDIENTES DEL 30% AL 50%:

Es el rango de pendientes menos notorio en la zona de trabajo, se caracteriza por presentar una pequeña zona en la parte alta del talud asociado a rastrojo de porte alto y guaduales y una franja en la parte baja de la ladera donde se presenta una terraza aluvial y el uso de suelo corresponde principalmente a uso residencial.

Figura 47. Rango de pendiente entre el 30 y el 50%



Fuente: (Propia, 2022)

8.5.4 RANGO DE PENDIENTES DEL 50% AL 100%:

Es el rango de pendientes que más predomina en la zona de estudio, se asocia es su gran mayoría a los cultivos de café con sombrío de plátano y al deslizamiento que afecto el talud norte; este rango de pendientes ocupa el 45% del área total de la zona de estudio.

Figura 48. Rango de pendientes del 50% al 100%.



Fuente: (Propia, 2022)

8.5.5 RANGO DE PENDIENTES AL 100%:

Este rango de pendientes se localiza en forma de algunas manchas sobre la ladera de estudio, corresponde a unos taludes verticales, ocupa el 21,57 % con relación al área total.

Figura 49. Rango de pendientes superior al 100%.



Fuente: (Propia, 2022)

8.6 FORMACIONES SUPERFICIALES

Las formaciones superficiales corresponden a los horizontes del perfil de meteorización (suelo, regolito y roca parcialmente meteorizada), depósitos de materiales no consolidados o fragmentados, residuales o transportados de carácter variado; que cubren rocas de todo tipo y que conforman la superficie de la tierra. Entre estos depósitos están los de origen aluvial, los de origen coluvial y los depósitos eólicos entre otros y en general cualquier otro material superficial. (AGID, 1990, en Cortés y Quintero, 1993).

La clasificación de las formaciones superficiales se realizó teniendo en cuenta la metodología usada por Hermelin (1985) y se describe a continuación:

Carrera 21 #64ª-33 Edificio Multiplaza oficina 1207 Tel. 8934298 e-mail: guasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas	ESTUDIO DE AMENAZA VULNERABILIDAD Y RIESGO PARA UN TRAMO DEL COLECTOR DE AGUAS RESIDUALES LADERA NORTE MUNICIPIO DOSQUEBRADAS	Página 131
--	---	------------

Tabla 4. Clasificación de las formaciones Superficiales (Hermelin, 1.985)

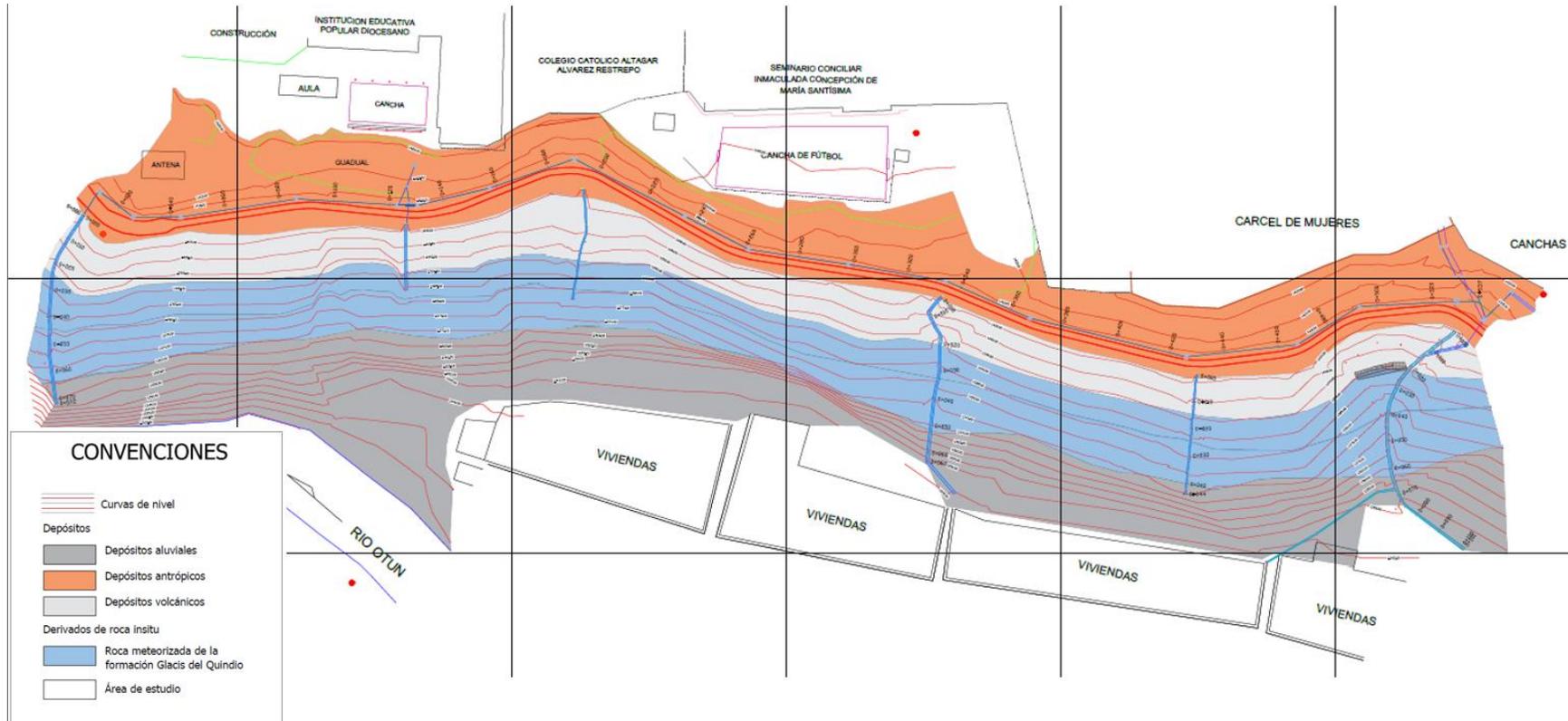
ORIGEN DE LA UNIDAD GEOLÓGICA SUPERFICIAL	TIPO DE LA UNIDAD GEOLOGÍA SUPERFICIAL	SUBTIPO DE LA UNIDAD GEOLOGIA SUPERFICIAL
DERIVADOS DE ROCA IN SITU	Roca Fresca	
	Roca Meteorizada	
	Saprolito	
	Suelo	
DEPÓSITOS	Depósitos de Ladera o de Vertiente	Producidos por erosión laminar: Coluviales
		Producidos por flujo: De lodo, de tierra y de escombros
		Producidos por desprendimiento
		Depósitos de talud Producidos por deslizamientos: En pequeña escala (< de 1000 m ³) En gran escala (>de 1000 m ³)
	Depósitos Aluviales	Aluviones Recientes o de lecho de río
		Llanuras Aluviales
		Abanicos o Conos Aluviales
		Terrazas Aluviales
		Depósitos Torrenciales
		Depósitos Fluviotorrenciales
	Depósitos Lacustres	
	Depósitos Costeros	Deltas, Barras, Playas
	Depósitos Paudales (pantanos)	
Depósitos Eólicos	Dunas	
Carrera 21 #64ª-33 Edificio Multiplaza oficina 1207 Tel. 8934298 e-mail: guasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas		ESTUDIO DE AMENAZA VULNERABILIDAD Y RIESGO PARA UN TRAMO DEL COLECTOR DE AGUAS RESIDUALES LADERA NORTE MUNICIPIO DOSQUEBRADAS
		Página 132

ORIGEN DE LA UNIDAD GEOLÓGICA SUPERFICIAL	TIPO DE LA UNIDAD GEOLOGÍA SUPERFICIAL	SUBTIPO DE LA UNIDAD GEOLOGIA SUPERFICIAL	
		Loess	
		Cenizas Volcánicas	
	Depósitos Volcánicos	De caída piroclástica (ceniza, lapilli, arena, pómez), lahares, flujos piroclásticos, lavas, domos, etc.	
	Depósitos Glaciares		Morrenas y Tillita
			Fluvioglaciares
	Depósitos Antrópicos		Rellenos Sanitarios
			Rellenos de excavaciones
			Escombreras o botaderos

Las formaciones superficiales existentes en el presente estudio corresponden a: depósitos y derivados de roca insitu.

Las formaciones superficiales que se tienen en la zona de estudio se relacionan con depósitos de ceniza volcánica, depósitos de antrópicos y depósitos aluviales; y la roca meteorizada proveniente del Glacis del Quindío, ver mapa de formaciones superficiales.

Figura 50. Mapa de formaciones superficiales



Fuente: Propia, 2022

8.6.1 DEPÓSITOS ANTRÓPICOS

Estos depósitos corresponden a la mezcla de material que ha sido removido con fines urbanísticos, estos materiales se caracterizan por ser una mezcla entre las cenizas y la roca de la zona con presencia en algunos sectores de escombros.

Figura 51. En la imagen se observa la formación superficial depósitos antrópicos, la cual se caracteriza por ser una mezcla de materiales (suelos- cenizas y rocas)



Fuente: (Propia, 2022)

8.6.2 DEPÓSITOS DE CAÍDA PIROCLÁSTICA

Estos depósitos se presentan en la parte alta de la ladera y se encuentran suprayaciendo la roca meteorizada del glacis del Quindío; se caracterizan los depósitos de caída piroclástica por ser porosos y permeables, lo cual favorece la filtración de aguas lluvias y de escorrentía.

Figura 52. Depósitos de caída piroclástica, presentes en la zona de trabajo como formación superficial



Fuente: (Propia, 2022)

8.6.3 DEPÓSITOS ALUVIALES

Corresponde a depósitos aluviales provenientes del río Otún, se caracteriza por ser una mezcla de rocas de diferentes diámetros que se han depositado en la margen del río formando terrazas aluviales.

Figura 53. Rocas provenientes del río Otún



Fuente: (Propia, 2022)

8.6.4 ROCA METEORIZADA

Esta formación superficial corresponde a rocas meteorizadas provenientes del Glacis del Quindío, estas rocas se caracterizan por estar en un alto grado de meteorización, poseen una textura arcillosa y una tonalidad amarilla.

Figura 54. Formación superficial corresponde a roca meteorizada del Glacis del Quindío



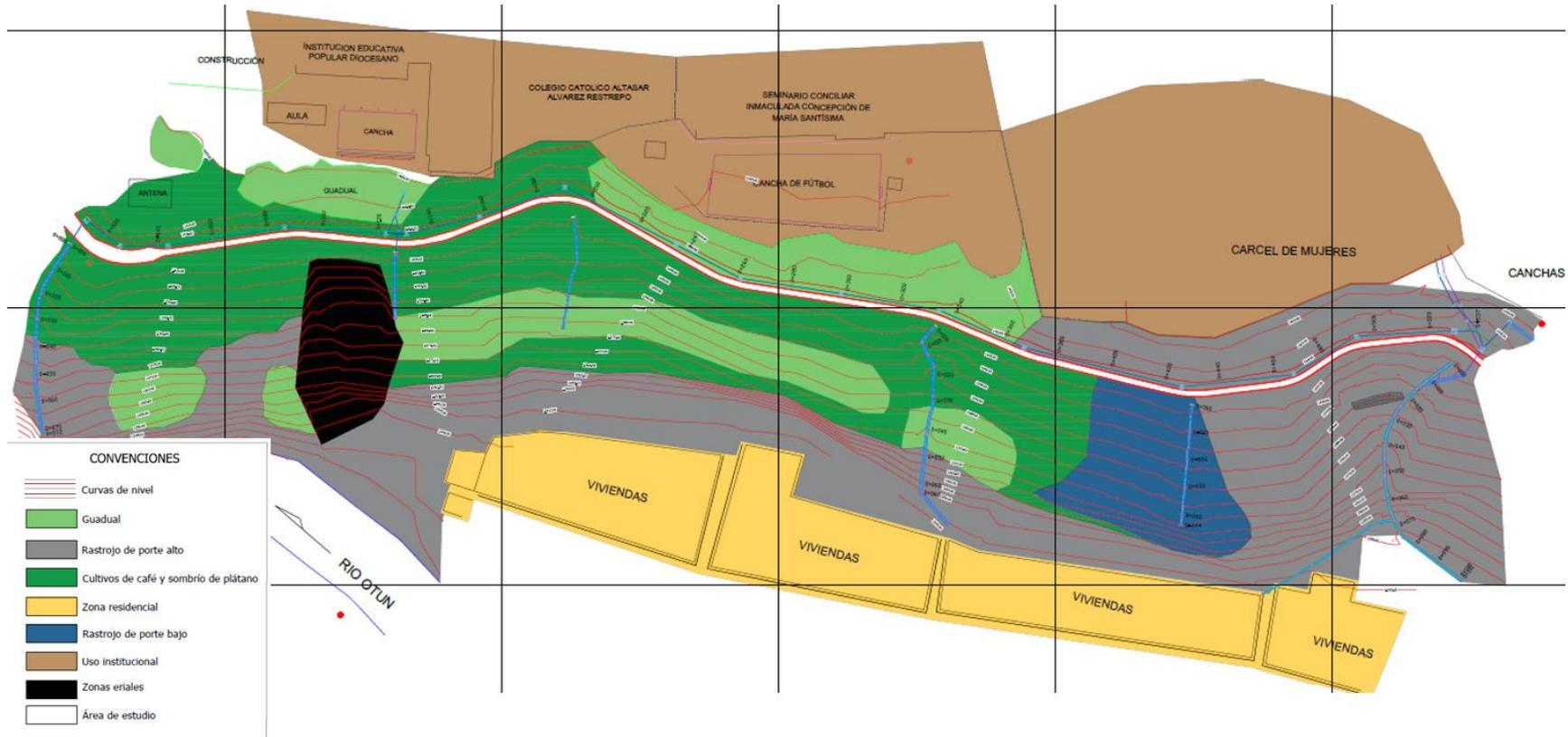
Fuente: (Propia, 2022)

8.7 USO DEL SUELO Y COBERTURA VEGETAL

El termino cobertura comprende los atributos de la tierra, los cuales por estar localizados sobre esta ocupan una porción de su superficie. La cobertura puede originarse de ambientes naturales productos de la evolución ecológica (bosques, sabanas, lagunas, etc.) o a partir de ambientes artificiales creados y mantenidos por el hombre (cultivos, represas, ciudades, etc), el término uso, se aplica al empleo o aprovechamiento cíclico o permanente que el hombre da a los diferentes tipos de cobertura para satisfacer sus necesidades con base en lo que esta le proporciona (ganadería, pesca, recreativo, etc.)

La clasificación del uso del suelo y cobertura vegetal en la ladera norte de estudio, se usó la metodología descrita en el folleto cobertura y uso de la tierra (Ciaf - Igac), 2004; de acuerdo a esta clasificación la cobertura vegetal que mayor predominio tiene en la zona de trabajo es la vegetación herbácea con un uso de suelo correspondiente a cultivos de café con sombrío de plátano, el restante corresponde a los usos de tierras eriales y residencial.

Figura 55. Mapa de uso del suelo y cobertura vegetal



Fuente: (Propia, 2022)

8.7.1 VEGETACIÓN HERBÁCEA DESCUBIERTA

8.7.2 RASTROJO DE PORTE ALTO

Este uso del suelo se localiza a lo largo de la ladera, dentro de la misma se pueden destacar rastrojo de porte medio y rastrojo de porte alto.

Figura 56. Uso del suelo correspondiente a rastrojo, ubicados en las márgenes de la ladera.



Fuente: (Propia, 2022)

8.7.3 GUADUAL

En el área de estudio se presentan varios sectores con esta cobertura vegetal, la cual se ve en pendientes superiores al 15% de inclinación, cubriendo la parte alta de la ladera norte.

Figura 57. Aspecto del guadual, que se destaca en la parte alta de la ladera



Fuente: (Propia, 2022)

8.7.4 CULTIVOS

Dentro de este uso se tienen cultivos de café con sombrío de plátano, ubicados en zonas con pendientes superiores al 15%.

Figura 58. Cultivos de café con sombrío de plátano



Fuente: (Propia, 2022)

8.7.5 USO RESIDENCIAL

Está conformada por edificaciones construidas en materiales como son ladrillo y concreto principalmente, estas viviendas las podemos encontrar en la parte baja del talud.

Figura 59. En la foto se observa las viviendas localizadas en la parte baja de la ladera.



Fuente: (Propia, 2022)

8.7.6 USO INSTITUCIONAL

A este uso de suelo se asocian las instituciones localizadas en la parte alta de la ladera, como son: colegios, Cárcel de mujeres y seminario.

Figura 60. Colegio Diocesano



Fuente: (Propia, 2022)

8.7.7 ZONAS ERIALIES

Se le llama así al uso del suelo que esta desprovisto de algún tipo de cobertura vegetal, tal como se observa en el área donde se registró el deslizamiento de la ladera norte.

Figura 61. Zonas eriales, asociados a el deslizamiento de la ladera norte.



Fuente: (Propia, 2022)

8.8 PROCESOS EROSIVOS

Los procesos denudativos involucran aquellos fenómenos de remoción y transporte de los materiales provenientes de los procesos de meteorización física y química y constituyen parte fundamental del ciclo geomorfológico, responsable en buena parte del modelamiento de la corteza terrestre.

Dentro de los procesos denudativos se han diferenciado dos grupos, la erosión superficial como fenómeno contribuyente y la remoción en masa como fenómeno contribuyente y determinante. La erosión superficial comprende el desalojo y transporte de materiales sueltos de la superficie terrestre, con la contribución de la gravedad, que actúa como una fuerza selectiva. La remoción en masa (movimiento en masa), relaciona el conjunto de procesos de transporte directo de material de tierra por acción de la gravedad; el principal mecanismo activador de estos procesos es el agua que actúa como factor detonante.

La metodología usada para la identificación y clasificación de los procesos erosivos en la zona de estudio fue el reconocimiento de los mismos en la fase de campo, donde se inspeccionaron, se identificaron y se clasificaron cada uno de estos procesos denudativos.

Figura 62. Mapa de procesos morfodinámicos



Fuente: (Propia, 2022).

8.8.1 MOVIMIENTOS EN MASA

Los movimientos en masa son procesos de la geodinámica externa, los cuales modifican las diferentes formas del terreno. Los deslizamientos, son la principal manifestación de los movimientos en masa e involucran el movimiento, pendiente abajo, de los materiales que componen la ladera bajo la influencia de la gravedad y pueden ser detonados por lluvias, sismos y actividad humana.

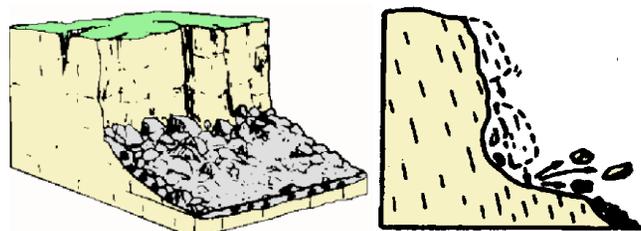
A continuación, se realiza una descripción general de los movimientos en masa tomada y modificada de Varnes, 1978.

8.8.1.1 TIPOS DE MOVIMIENTOS

Los deslizamientos pueden ocurrir como: caídas, basculamientos, separaciones laterales, deslizamientos o flujos.

- Caída de roca. masas desprendidas sobre pendientes muy fuertes o escarpes, que se mueven en caída libre, dando saltos o ruedan ladera abajo.

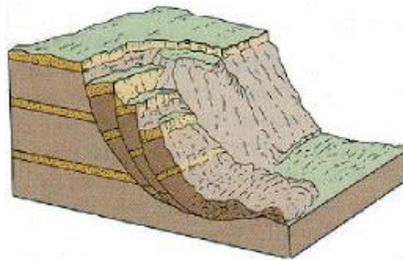
Figura 63. Caída de roca



- Deslizamientos. Estos fenómenos desplazan masas a lo largo de uno o más planos. Pueden ser rotacionales o traslacionales en su movimiento.

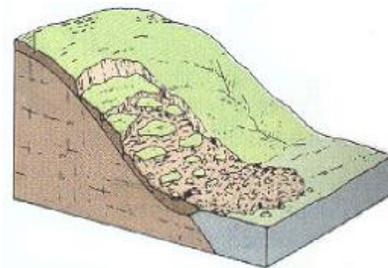
El movimiento rotacional. Se da donde la superficie de ruptura es curva, la masa rota hacia atrás alrededor de un eje paralelo a la ladera.

Figura 64. Imagen ilustrativa de un deslizamiento rotacional.



El movimiento traslacional. Se da cuando la superficie de ruptura es más o menos planar o suavemente ondulante y la masa se mueve paralela a la superficie del terreno.

Figura 65. Imagen ilustrativa de un deslizamiento traslacional.



- Reptación de suelos. Corresponde al desplazamiento lento, prácticamente imperceptible, que afecta a los materiales menos cohesivos de la cubierta de suelo, afecta los suelos hasta una profundidad promedio de un metro. Es un fenómeno prácticamente invisible a nivel morfológico, por lo que puede ser reconocido solo en cortes o a través de signos indirectos.

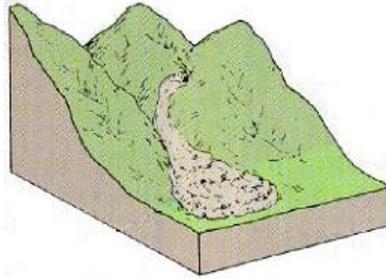
Presenta velocidades de pocos milímetros hasta más o menos un centímetro por año; decreciente en profundidad. El mecanismo aparentemente se trata de un movimiento cíclico pendiente abajo, prácticamente grano por grano, del material terroso, de cohesión media a baja, sobre pendientes iguales o superiores a los 20°. Sus efectos son desarreglos menores (inclinación y apertura de grietas en muros y postes de cimentación poco profunda, torceduras en los troncos de los árboles, discontinuidades en el manto vegetal bajo, etc.).

Figura 66. Aspecto ilustrativo del fenómeno de reptación.



- Flujos. Masas que se mueven como unidades deformadas, viscosas, sin un plano discreto de ruptura.

Figura 67. En la imagen se ilustra los fenómenos asociados a los flujos.

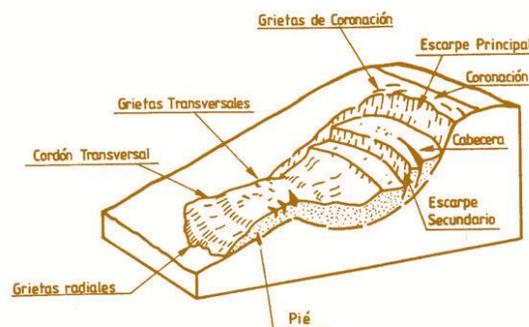


8.8.1.2 PARTES DE UN DESLIZAMIENTO

- Corona. Sector de la ladera que no ha fallado y localizada arriba del deslizamiento. Puede presentar grietas, llamadas grietas de la corona.
- Escarpe principal. Superficie de pendiente muy fuerte, localizada en el límite del deslizamiento y originada por el material desplazado de la ladera. Si este escarpe se proyecta bajo el material desplazado, se obtiene la superficie de ruptura.
- Escarpe menor. Superficie de pendiente muy fuerte en el material desplazado y producida por el movimiento diferencial dentro de este material.
- Punta de la superficie de ruptura. La intersección (algunas veces cubierta) de la parte baja de la superficie de ruptura y la superficie original del terreno.
- Cabeza. La parte superior del material desplazado a lo largo de su contacto con el escarpe principal.

- Tope: el punto más alto de contacto entre el material desplazado y el escarpe principal.
- Cuerpo principal. La parte del material desplazado que sobrepase la superficie de ruptura localizada entre el escarpe principal y la punta de la superficie de ruptura.
- Flanco. Lado del deslizamiento
- Pie. La porción de material desplazado que descansa ladera abajo desde la punta de la superficie de ruptura
- Dedo. el margen del material desplazado más distante del escarpe principal.
- Punta. El punto en el pie más distante del tope del deslizamiento.

Figura 68. En la figura se destacan las partes de un deslizamiento.

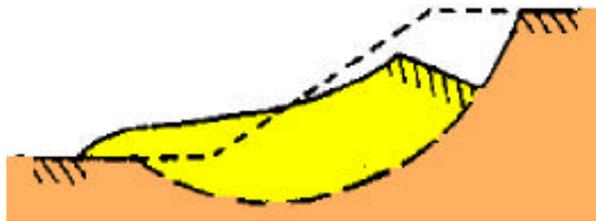


8.8.1.3 OTRAS CARACTERÍSTICAS DE UN DESLIZAMIENTO

Algunas veces se torna necesario describir el crecimiento de un deslizamiento. Se sugieren algunos términos en función de cómo la ruptura se propaga en relación con la dirección de movimiento.

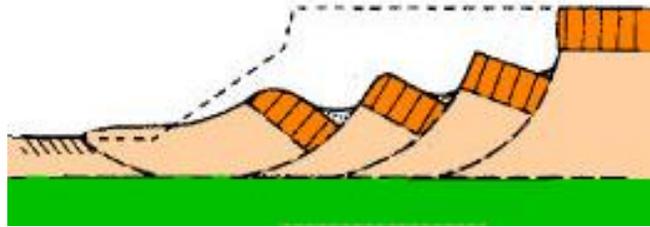
- Ruptura retrogresiva. Ampliación del deslizamiento en la dirección opuesta a su movimiento.
- Ruptura en avance. Ampliación del deslizamiento en la dirección del movimiento. Donde la ampliación se da en ambas direcciones, se utiliza el término progresivo.
- Movimiento simple. movimiento rotacional o translacional de una masa individual a lo largo de una superficie de ruptura particular.

Figura 69. La figura indica los Movimiento simple.



- Movimiento múltiple. Una o más masas con el mismo tipo de movimiento a lo largo de dos o más superficies de ruptura distintas.

Figura 70. Movimiento múltiple (Hutchinson, 1968).



Si un movimiento múltiple se desarrolla a lo largo de un período de tiempo, se utiliza el término movimiento sucesivo.

Figura 71. Movimiento sucesivo (Hutchinson, 1968).



Términos relacionados con el contenido de humedad

- **Seco.** No hay humedad visible
- **Húmedo.** Contiene algo de agua, pero no en estado libre, se comporta como un sólido plástico y no como un fluido.
- **Mojado.** Contiene suficiente agua para comportarse como un fluido, el agua fluye del material o forma depósitos significativos (charcas, lagunas).

- **Muy mojado.** Contiene suficiente agua para fluir como un líquido viscoso en pendientes bajas.

8.8.1.4 TÉRMINOS RELACIONADOS CON LA VELOCIDAD DE MOVIMIENTO

La velocidad de movimiento de los deslizamientos varía desde extremadamente lenta (menos de 0.06 m/año) a extremadamente rápida (3 m/s). Para que exista un movimiento de ladera es necesaria la presencia de un conjunto de factores condicionantes a la inestabilidad. Uno de ellos son los factores "intrínsecos" que corresponden a los existentes en la propia ladera como son las características del substrato geológico y la pendiente, éstos son la causa de que los movimientos de ladera se manifiesten en un determinado sector del territorio. Otros factores son los "externos" como por ejemplo la climatología, la densidad de vegetación y los usos del suelo por parte del ser humano. Finalmente, existen los factores "desencadenantes" que son los encargados de detonar finalmente el movimiento de ladera. Existen diferentes factores desencadenantes, pero los más relevantes son el agua, los terremotos, los procesos erosivos y las acciones antrópicas. La saturación del substrato geológico por agua es la causa desencadenante principal. El agua puede llegar a la ladera por diferentes vías: episodios de lluvias extremas, intensas y periodos de lluvias prolongados.

Normalmente, inundaciones y movimientos de ladera se suelen producir de forma simultánea ya que los dos se manifiestan en episodios de lluvias extremas. Por otro lado, los períodos de lluvias prolongados contribuyen a aumentar el nivel freático de las aguas subterráneas y, por tanto, favorecer a la inestabilidad. En casos de macizos rocosos, los episodios prolongados contribuyen a la infiltración de agua en las discontinuidades más profundas de las rocas, lo cual puede desencadenar grandes desprendimientos.

Los sismos producen temblores que contribuyen a la licuefacción de los materiales arcillosos saturados en agua, a la infiltración del agua dentro del suelo y a la movilización de los cuerpos rocosos inestables situados en vertientes rocosas.

Los antiguos deslizamientos pueden ser reactivados por la erosión de su pie por parte de las aguas fluviales, por otro lado, la erosión marina en la base de los acantilados puede provocar movimientos de ladera, básicamente desprendimientos.

Las acciones antrópicas pueden provocar cambios en las condiciones de estabilidad de las laderas. Durante el transcurso de una obra de ingeniería se pueden modificar la geometría y la pendiente de terreno, a causa de la excavación de los taludes para la construcción de vías. Otras causas antrópicas que pueden contribuir en el desencadenamiento de movimientos de ladera son la construcción de embalses y los incendios forestales. (Highland y Bobrowsky, 2008).

En la zona de estudio, las áreas amenazadas por inestabilidad del terreno están asociadas principalmente a la acción de la gravedad por saturación del agua. Estos fenómenos son poco representativos en la zona, se identifican algunos movimientos lentos asociados con reptación del terreno, este fenómeno lo podemos observar sobre el talud de ladera norte, donde se observan unos muros en gaviones que están en mal estado, debido a este movimiento.

En el área de interés se presenta un movimiento en masa que genera daños en la ladera norte de Dosquebradas, afectando vidas, viviendas, terreno obras de infraestructura; el movimiento de masa es causado por actividad sísmica que tiene influencia en el área, el tipo de rocas presentes, el porcentaje de inclinación del talud y la saturación por lluvias; el deslizamiento se describe a continuación.

Deslizamiento Principal ocurrido en febrero del año 2022.

- 1. Tipo:** Deslizamiento.
- 2. Subtipo:** Traslacional.
- 3. Actividad:** múltiples rupturas.
- 4. Material:** rocas del glacis del Quindío, depósitos de caída piroclástica y depósitos antrópicos.
- 5. Talud:** Natural.
- 6. Grietas:** En la corona del deslizamiento.
- 7. Escarpe:** Principal.
- 8. Cuerpo:** Existente.
- 9. Superficie de ruptura:** Única.
- 10. Efectos:** vidas, Terrenos, pérdida de suelos, cultivos y casas.
- 11. Morfometría:**

Amplitud: 40 metros aproximadamente

Longitud: 60 metros aproximadamente.

Profundidad: menor a 5.

Pendiente: 100% de inclinación.

12. Causas:

12.1. Característica del material. El alto grado de meteorización de las rocas que conforman la zona favorece la acción de los diferentes procesos erosivos.

12.2. Angulo de la pendiente. La fuerte inclinación de la ladera favorece la acción de la gravedad sobre el desplazamiento de los materiales.

12.3. Estructuras geológicas. El área se encuentra en la zona de influencia del sistema de fallas de Romeral, lo que produce un fuerte control estructural en la zona, manifestado en la vertiente por el diaclasamiento y fracturamiento de las rocas, lo que las hace aún más vulnerables frente a la acción de los diferentes procesos erosivos.

12.4. manejo de aguas. Las canales existentes en la zona de estudio para manejo de agua, algunas presentan taponamiento con material vegetal, lo que impide el libre flujo de agua.

13. Elemento detonante. Las fuertes y prolongadas precipitaciones que se presentan principalmente durante las temporadas de lluvias generan incrementos importantes de caudal de las aguas, lo que a su vez genera mayor poder de erosión de dichas aguas sobre las rocas existentes en el área.

Figura 72. Aspecto del deslizamiento que afecto el talud



Fuente: (Propia, 2022)

Reptación. Se presenta en la zona de interés el fenómeno de reptación que dada las condiciones geológicas del terreno, como lo es la fuerte pendiente, las características de los materiales pueden, evolucionar este fenómeno de reptación a un deslizamiento. La reptación se puede observar a lo largo del talud en varios puntos, tal como se demarca en el plano geológico.

Figura 73. Fenómenos de reptación



Fuente: (Propia, 2022)

Cicatrices de deslizamiento.

Se observan varias cicatrices de deslizamiento en el talud, lo que evidencia una actividad erosiva en épocas anteriores y podemos decir que este sector es una zona de alta amenaza por deslizamientos.

La morfometría de estas cicatrices en promedio es:

Amplitud: 5 metros.

Longitud: 10 metros.

Profundidad: menor a 1.

Pendiente: 60% de inclinación.

Figura 74. Cicatrices de deslizamiento, presentes en la zona de estudio



Fuente: (Propia, 2022)

Humedales.

La parte alta del talud, más exactamente en la cancha del colegio Diocesano, se presenta una zona de recarga, puesto que se presente aquí una zona de acumulación de agua, permitiendo la saturación del terreno lo que favorece la ocurrencia de posteriores fenómenos de deslizamiento.

Figura 75. Empozamientos presentes en la cancha del colegio diocesano



Fuente: (Propia, 2022)

Socavación lateral.

Fenómeno erosivo asociado a la acción del agua, este proceso erosivo se observa claramente en la parte baja del deslizamiento.

Figura 76. Fenómeno de socavación lateral



Fuente: (Propia, 2022)

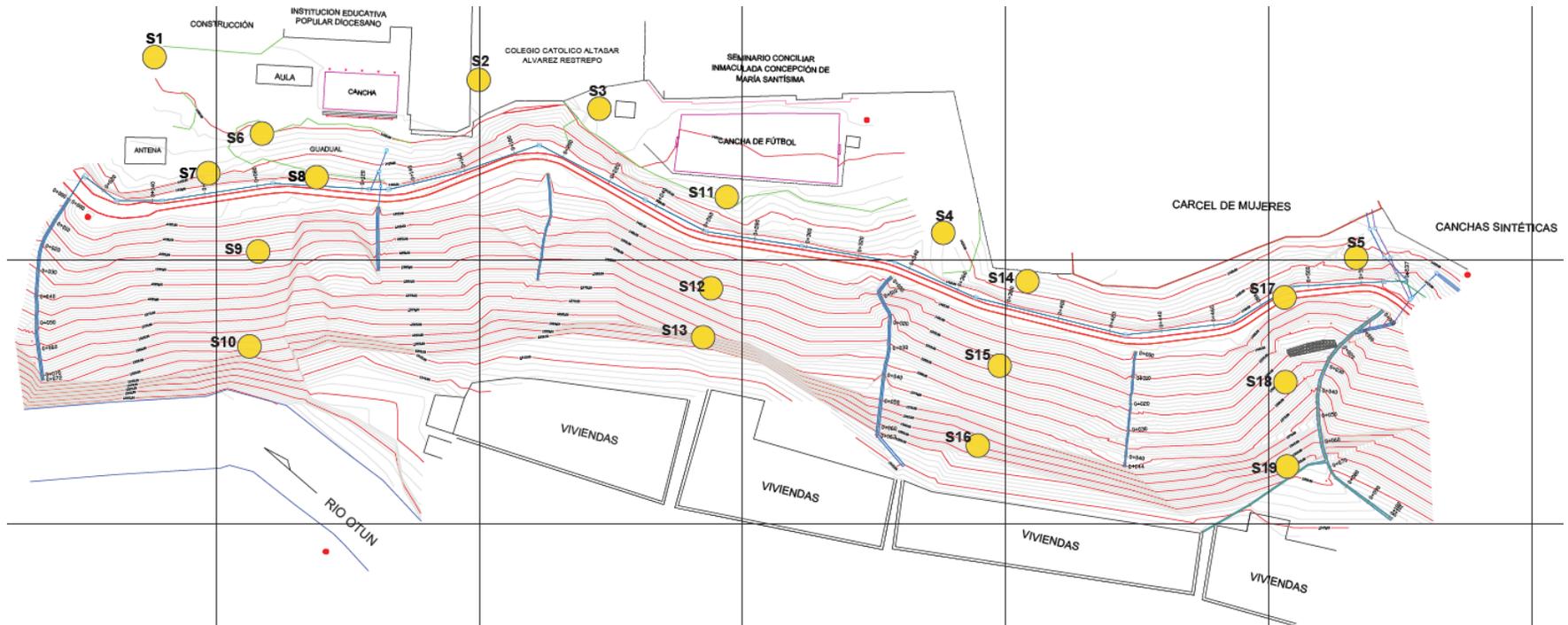
9 ESTUDIO GEOTÉCNICO

El método de prospección en la zona de estudio consistió en la realización de sondeos exploratorios. De cada una de las perforaciones se extrajeron muestras en tubos de pared delgada y en bolsa para ser ensayadas en laboratorio. Los ensayos realizados fueron los siguientes:

- **NTC 1493** — Suelos. Ensayo para determinar el límite plástico y el índice de plasticidad. (ASTM D 4318)
- **NTC 1494** — Suelos. Ensayo para determinar el límite líquido. (ASTM D 4318)
- **NTC 1495** — Suelos. Ensayo para determinar el contenido de agua. (ASTM D 2216)
- **NTC 1522** — Suelos. Ensayo para determinar la granulometría por tamizado NTC 1527.
- **NTC 1917** — Suelos. Determinación de la resistencia al corte. Método de corte directo (CD). (ASTM D 3080)
- **ASTM D 2166-06** — Suelos. Ensayo para determinar la resistencia a la compresión inconfiada.

Los demás parámetros se obtuvieron mediante correlaciones empíricas propuestas en la literatura para los suelos de la región.

Figura 77. Localización de sondeos



Fuente: Propia.

Tabla 5. Características de sondeos realizados

Sondeos	Profundidad (m)	Coordenada X	Coordenada Y
1	15.00	1152776.599	1025276.868
2	15.00	1152899.825	1025268.217
3	10.00	1152945.675	1025257.351
4	20.00	1153076.279	1025210.269
5	10.00	1153233.191	1025200.852
6	4.80	1152817.426	1025247.905
7	5.00	1152797.088	1025232.887
8	4.60	1152838.184	1025231.331
9	4.10	1152816.018	1025203.157
10	3.10	1152812.415	1025166.857
11	13.50	1152994.061	1025223.831
12	2.90	1152988.078	1025189.232
13	3.20	1152985.078	1025170.625
14	10.00	1153108.265	1025191.900
15	3.30	1153097.703	1025159.914
16	2.70	1153089.448	1025129.432
17	7.30	1153205.955	1025185.755
18	3.00	1153206.491	1025153.834
19	2.50	1153206.957	1025121.663

Fuente: Propia.

Figura 78. Panorámicas de las perforaciones



Fuente: Capturas propias

Figura 79. Panorámicas de las muestras extraídas



Fuente: Capturas propias

Figura 80. Panorámicas de las muestras extraídas



Fuente: Capturas propias

Figura 81. Panorámicas de las muestras extraídas



Fuente: Capturas propias

Figura 82. Panorámicas de las muestras extraídas



Fuente: Capturas propias

Figura 83. Panorámicas de las perforaciones



Fuente: Capturas propias

Figura 84. Panorámicas de las perforaciones



Fuente: Capturas propias

Figura 85. Panorámicas de las muestras extraídas



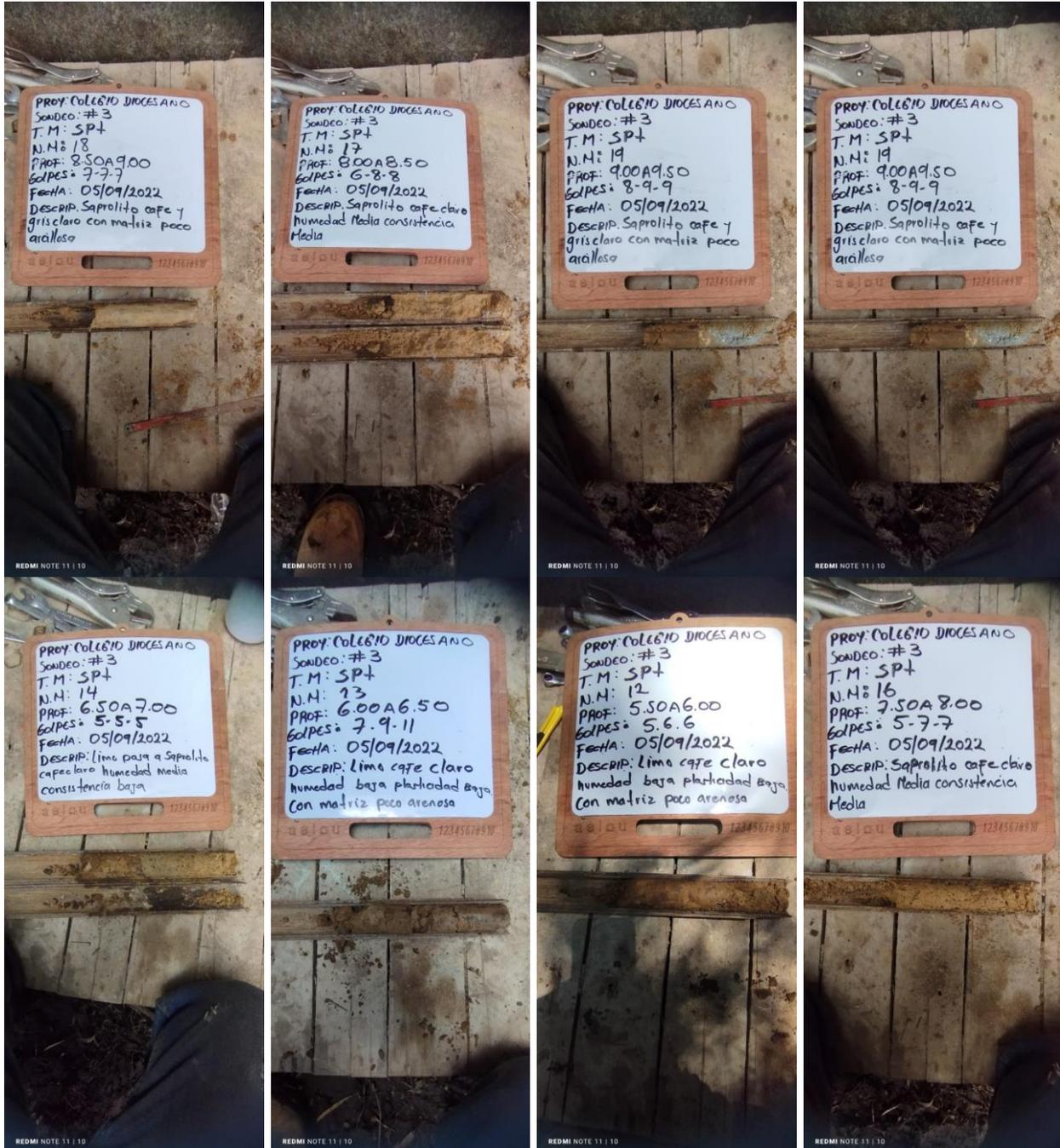
Fuente: Capturas propias

Figura 86. Panorámicas de las muestras extraídas



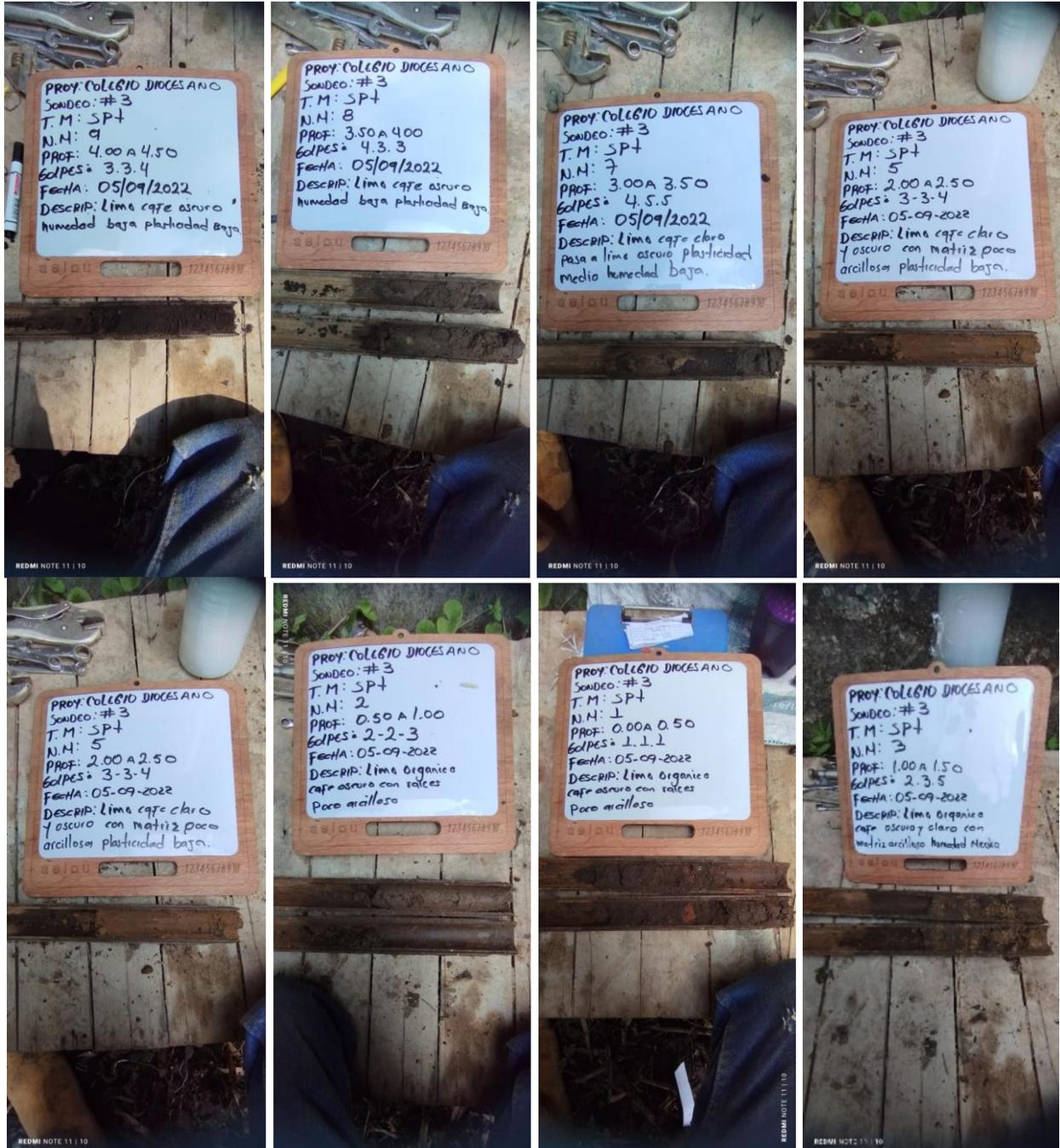
Fuente: Capturas propias

Figura 87. Panorámicas de las muestras extraídas



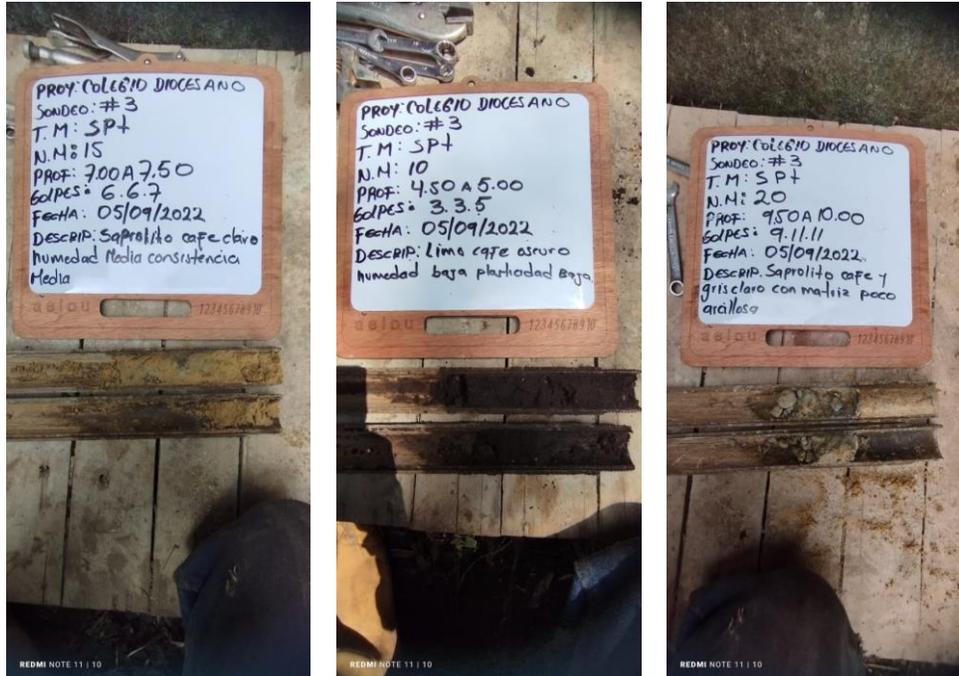
Fuente: Capturas propias

Figura 88. Panorámicas de las muestras extraídas



Fuente: Capturas propias

Figura 89. Panorámicas de las muestras extraídas



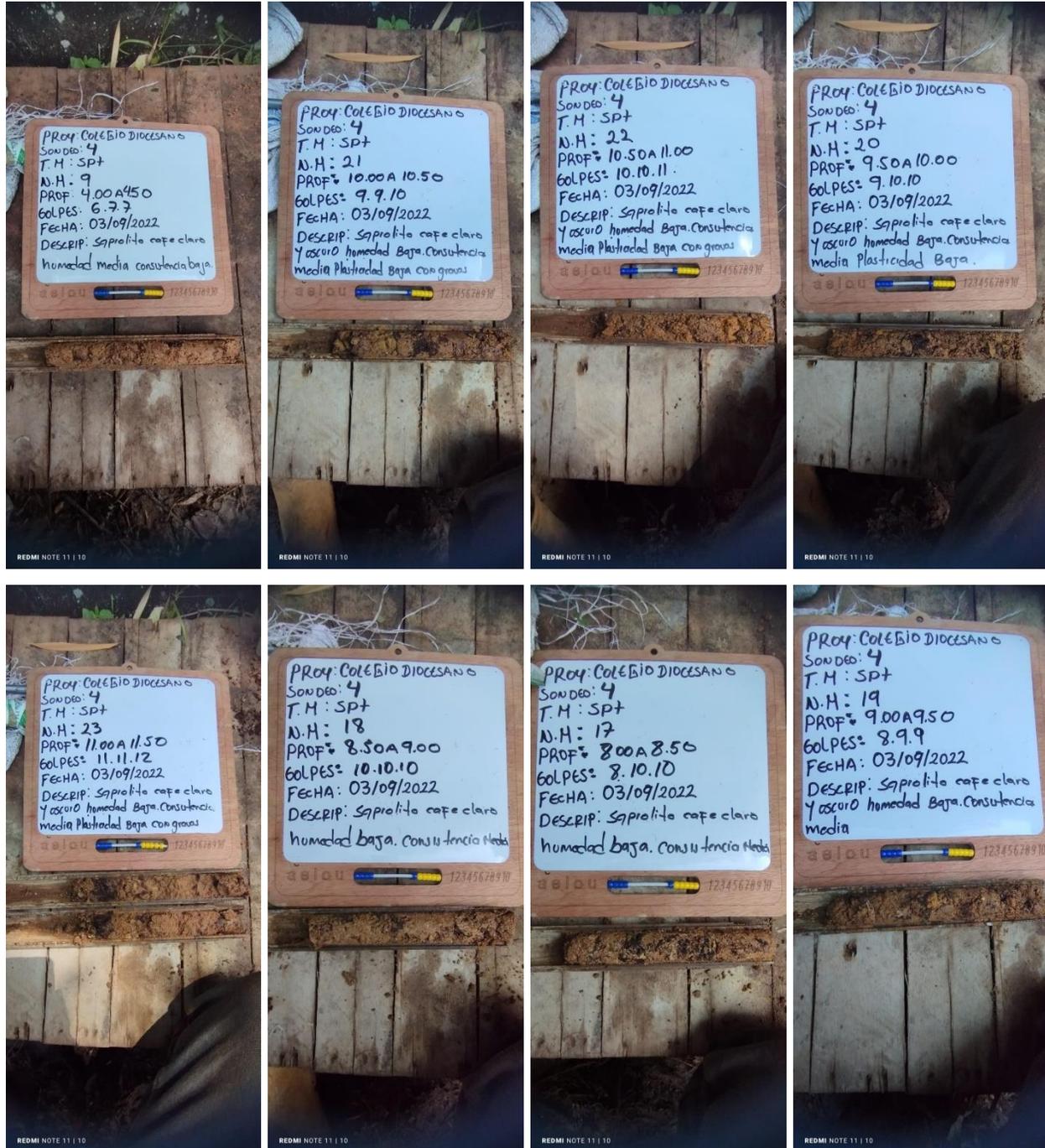
Fuente: Capturas propias

Figura 90. Panorámicas de las perforaciones y muestras extraídas



Fuente: Capturas propias

Figura 91. Panorámicas de las muestras extraídas



Fuente: Capturas propias

Figura 92. Panorámicas de las muestras extraídas



Fuente: Capturas propias

Figura 93. Panorámicas de las muestras extraídas



Fuente: Capturas propias

Figura 94. Panorámicas de las muestras extraídas



Fuente: Capturas propias

9.1 DESCRIPCIÓN DE LAS PERFORACIONES

Una vez realizada la prospección Geotécnica en diferentes sectores de la zona de estudio se puede determinar claramente un perfil característico, el cual se describe de la superficie hacia abajo de la siguiente manera:

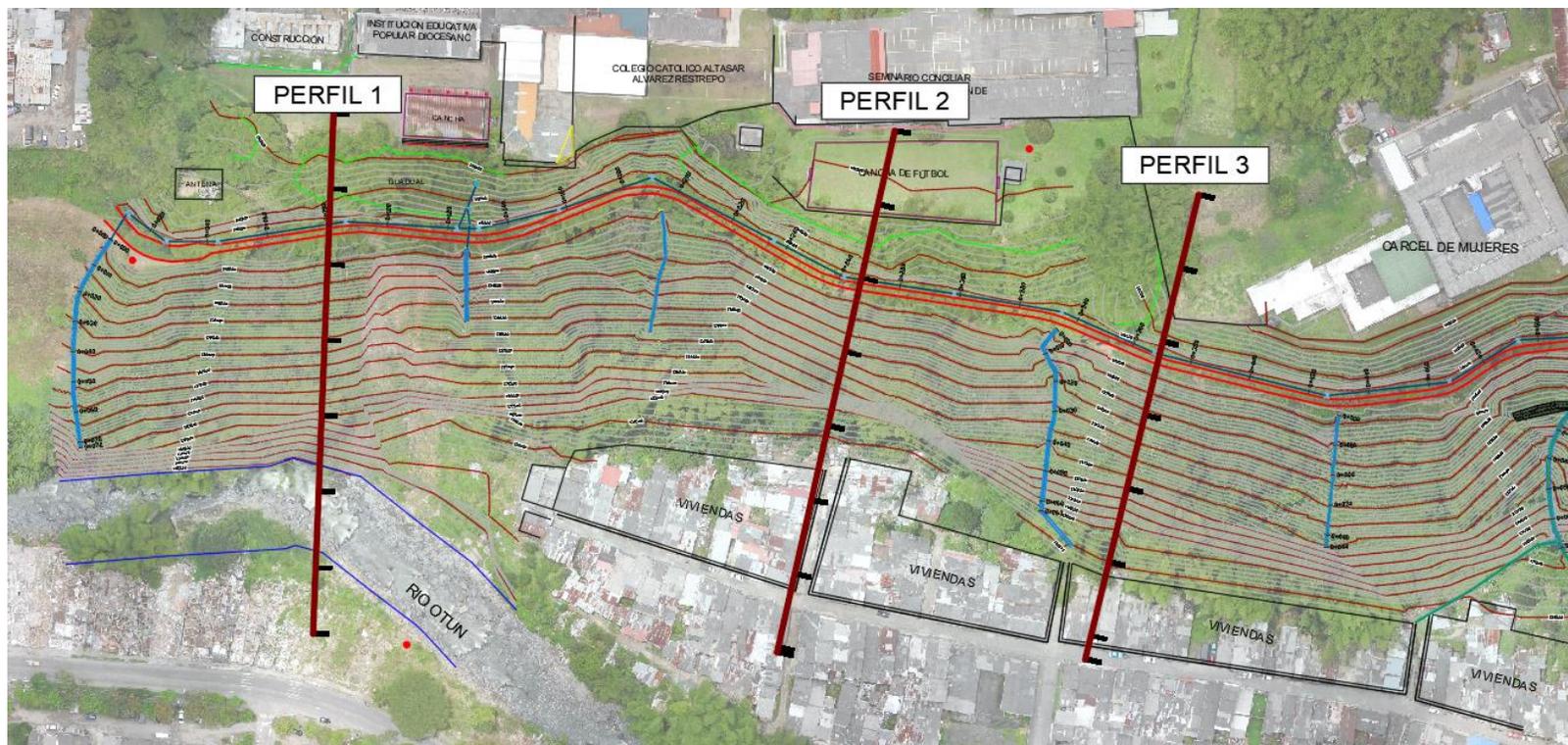
1. Desde el inicio de las perforaciones se encontró una capa vegetal color negro, con un espesor promedio de 1.0m.

2. Superado los depósitos antrópicos, se pueden observar los depósitos de caída piroclástica los cuales presentan en general una textura limo arenosa, presentan una coloración amarilla, café y gris, de resistencia y humedad medias, los depósitos de caída piroclástica pueden alcanzar en la parte de la ladera una profundidad de 10.0m, y en la parte baja de la ladera de 3.0 m aproximadamente

3. Infrayaciendo los materiales anteriores, se pudieron observar los depósitos correlacionables con la formación Glacis del Quindío, presentan una textura limo arcillosa y con fragmentos de roca. De resistencia media a alta y humedad alta. La coloración predominante en este depósito es el color café rojizo con vetas meteorizadas.

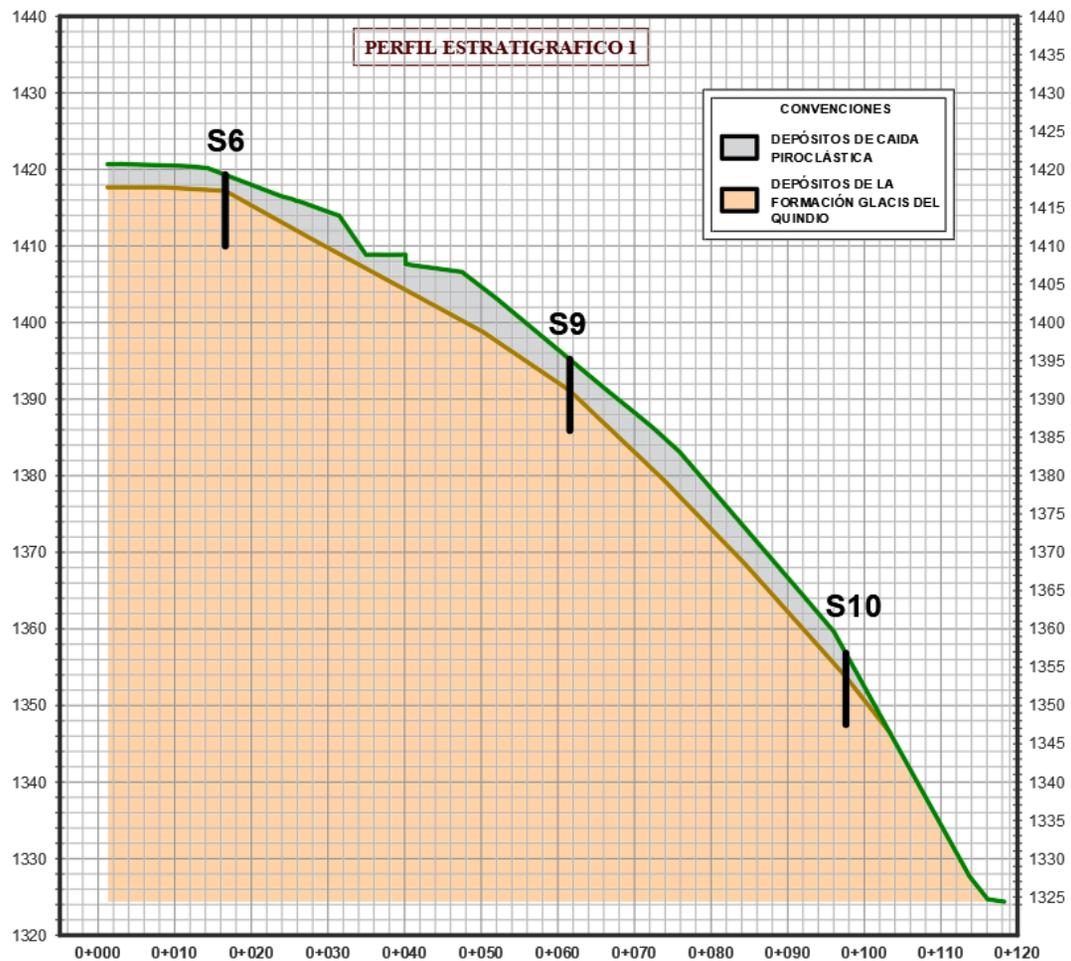
Cada una de las perforaciones se describe en el anexo.

Figura 95. Planas De Localizacion Perfiles Estratigraficos



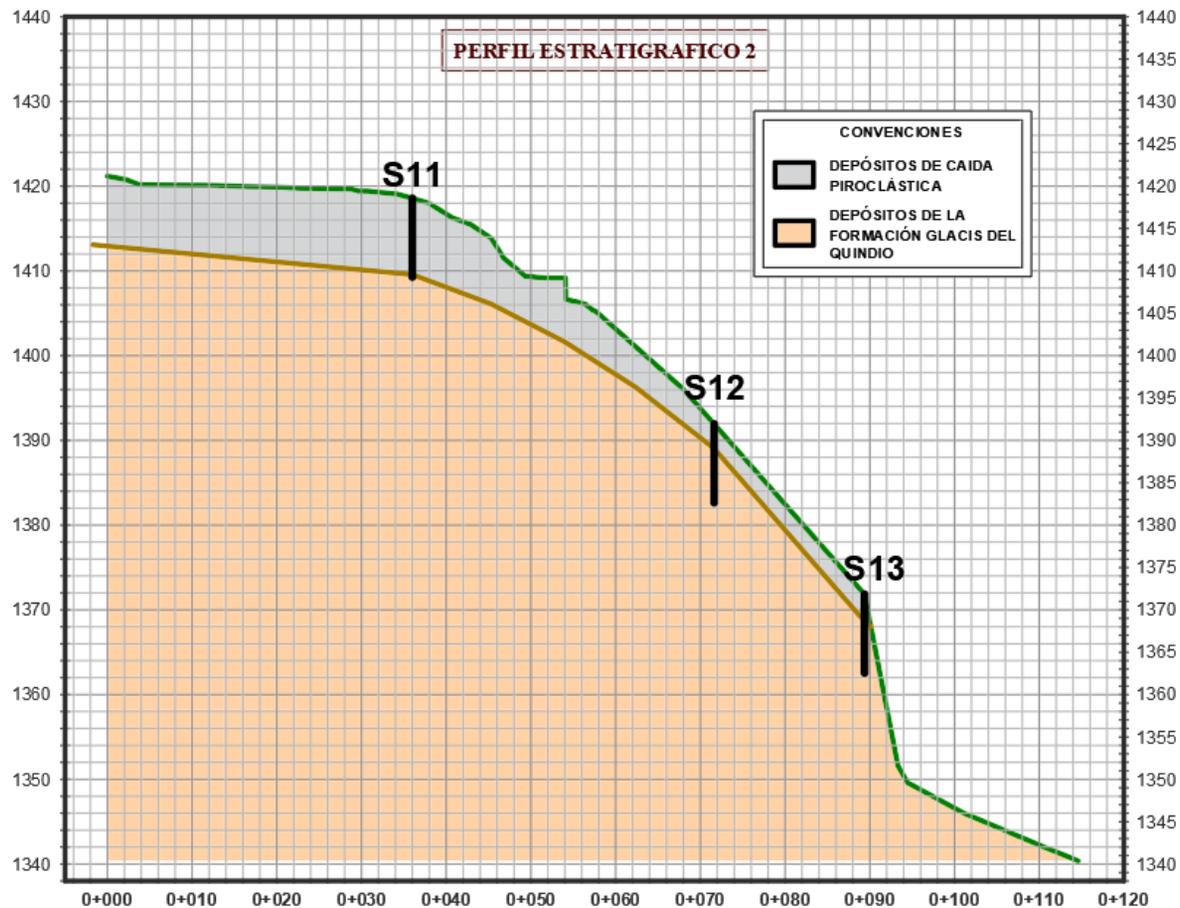
Fuente: Propia.

Figura 96. Perfil estratigráfico 1



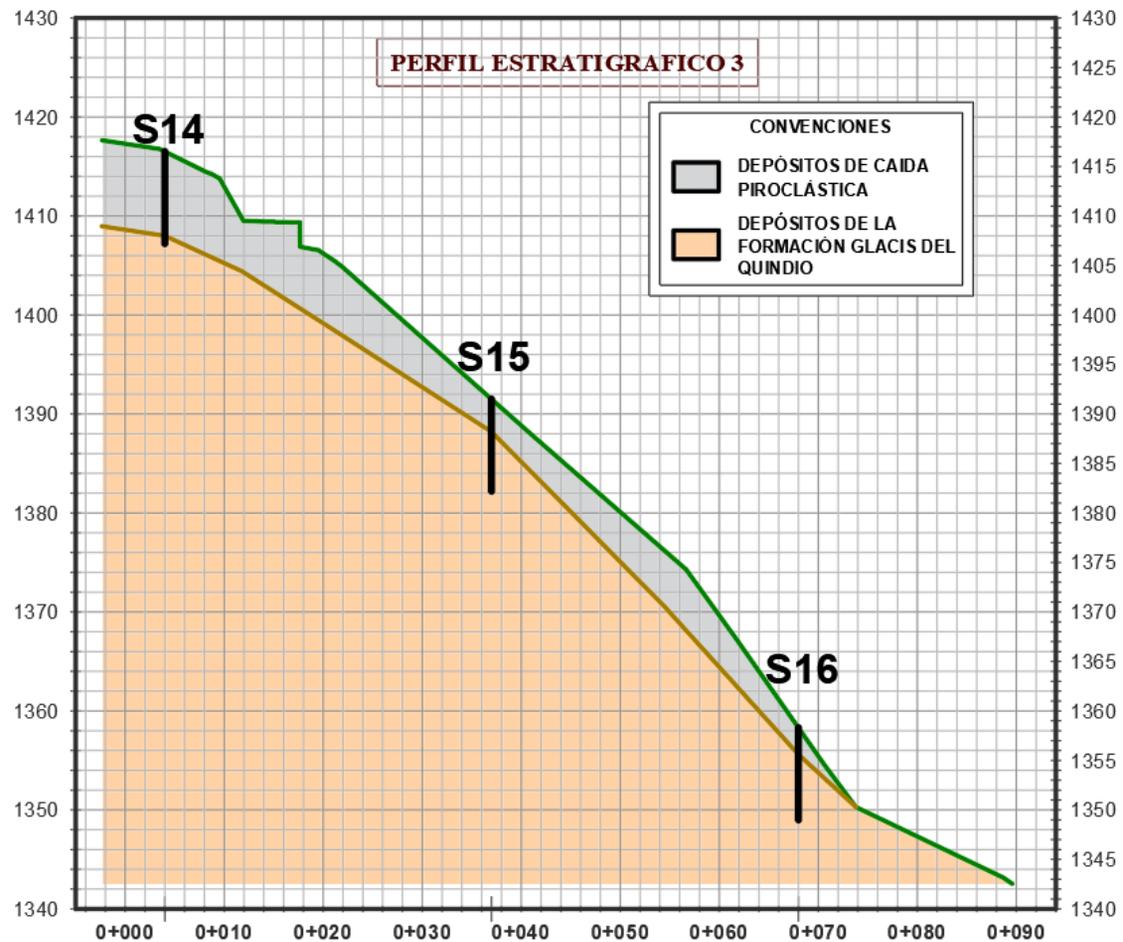
Fuente: Propia.

Figura 97. Perfil estratigráfico 2



Fuente: Propia.

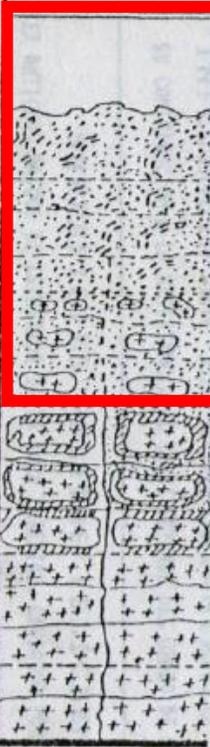
Figura 98. Perfil estratigráfico 3



Fuente: Propia.

9.2 PERFIL DE METEORIZACIÓN ASOCIADO A LOS SONDEOS

Figura 99. Perfil meteorización Deere y Patton

	Deere y Patton, 1971	Dearnan, 1976	CONTROL DE LA FALLA	MECANISMO DE LA FALLA	
	I SUELO RESIDUAL	HORIZONTE A I A HORIZONTE B I B HORIZONTE C (Saprolito) I C	VI SUELO RESIDUAL	FABRICA TEXTURAL HEREDADA	EROSION SUPERFICIE CURVA O IRREGULAR
	II	TRANSICION II A	V ROCA COMPLETAMENTE DESCOMPUSTA		PLANAR
	ROCA METEORIZADA	ROCA PARCIALMENTE METEORIZADA II B	IV ROCA ALTAMENTE DESCOMPUSTA	TEXTURAL O ESTRUCTURAL HEREDADA	VOLCAMIENTO CAIDA
	I ROCA NO METEORIZADA	ROCA FRESCA	III ROCA MODERADAMENTE DESCOMPUSTA		PLANAR CUNA VOLCAMIENTO CAIDA
		ROCA FRESCA	II ROCA DEBILMENTE DESCOMPUSTA	ESTRUCTURALMENTE CONTROLADA	SUPERFICIE CURVA EN ROCA TRITURADA
			I ROCA FRESCA		

El perfil de meteorización muestra que los depósitos de caída piroclástica y los suelos meteorizados de la Formación Glacis Del Quindío corresponden a los horizontes A, B y C. En este horizonte se evidencia que el mecanismo de falla son procesos erosivos y deslizamiento como lo observado en el análisis multitemporal y lo evidenciado en campo.

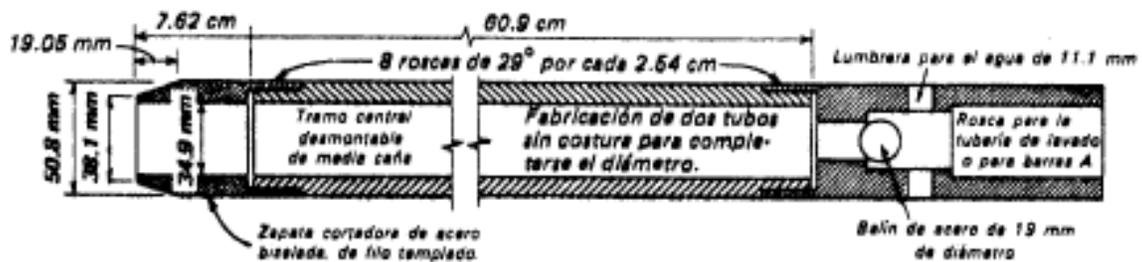
En lo que tiene que ver con las rocas conglomeráticas de la Formación Glacis del Quindío está enmarcada entre los horizontes Transición IIA y roca parcialmente meteorizada IIB.

9.3 ENSAYO SPT

El método de penetración estándar SPT (Standard Penetration Test) es tal vez el más conocido y usado en la exploración de suelos, tal vez por su sencillez de ejecución y sobre él existe una literatura muy abundante.

El método ha sido estandarizado desde 1958, con varias revisiones (ASTM D-1586) y consiste (p.ej. Bowles, 1988) en hincar una toma muestras partido de 18" (» 45cm) de largo colocado al extremo de una varilla AW, por medio de un peso (martillo) de 140lb (» 63.5kg) que se deja caer "libremente" desde una altura de 30" (» 76cm), anotando los golpes necesarios para penetrar cada 6" (» 15cm).

Figura 100. Figura cuchara partida



El valor normalizado de penetración N es para 12" (1 pie» 30cm), se expresa en golpes/pie y es la suma de los dos últimos valores registrados. El ensayo se dice que muestra "rechazo" si: (a) N es mayor de 50 golpes/15cm, (b) N es igual a 100golpes/pie o (c) No hay avance luego de 10 golpes.

Aunque se denomina "estándar", el ensayo tiene muchas variantes y fuentes de diferencia, en especial a la energía que llega a la toma muestras, entre las cuales sobresalen (Bowles, 1988):

- 1) Equipos producidos por diferentes fabricantes.
- 2) Diferentes configuraciones del martillo de hinca
- 3) La forma de control de la altura de caída:
- 4) Si hay o no revestimiento interno en la toma muestras, el cual normalmente no se usa.
- 5) La cercanía del revestimiento externo al sitio de ensayo, el cual debe ser estar alejado.
- 6) La longitud de la varilla desde el sitio de golpe y la toma muestras.
- 7) El diámetro de la perforación
- 8) La presión de confinamiento efectiva a la toma muestras, la cual depende del esfuerzo vertical efectivo en el sitio del ensayo.

Para casi todas estas variantes hay factores de corrección a la energía teórica de referencia E_r y el valor de N de campo debe corregirse de la siguiente forma (Bowles, 1988):

$$N_{crr} = N \times C_n \times \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times \eta_4 \quad (1)$$

En la cual

- N_{crr} = valor de N corregido
- N = valor de N de campo
- C_n = factor de corrección por confinamiento efectivo
- η_1 = factor por energía del martillo ($0.45 \leq \eta_1 \leq 1$)
- η_2 = factor por longitud de la varilla ($0.75 \leq \eta_2 \leq 1$)
- η_3 = factor por revestimiento interno de tomamuestras ($0.8 \leq \eta_3 \leq 1$)
- η_4 = factor por diámetro de la perforación (> 1 para $D > 5''$, = 1.15 para $D = 8''$)

$$\eta_2 = \eta_3 = \eta_4 = 1$$

Usualmente, combinando tanto las correcciones de energía como de confinamiento el valor de N se suele expresar como $N1e$. En forma inicial se considera que para martillo anular $e = 45\%$ y para martillo de seguridad $e = 70\%$ - 100% . En Estados Unidos es usual considerar que $e = 60\%$ es un valor representativo mientras que para Japón el valor representativo puede ser $e = 72\%$. Para Colombia y, salvo mediciones al respecto (p.ej. Villafañe et al, 1997), se debe tomar, conservativamente, $e = 45\%$. Arroja un valor de η_1 **de 0.75**.

Para la corrección por confinamiento se tomará la fórmula de Seed – Idriss:

Seed-Idriss
(Marcuson)

$$C_n = 1 - K \cdot \log R_s$$

($K=1.41$ para $R_s < 1$; $K=0.92$ para $R_s \geq 1$)

$$R_s = \sigma_v' / p_a$$

Las muestras con penetrómetro estándar se toman cada 1.5 m, a partir de este ensayo se puede realizar varias correlaciones como la propuesta por Braja M. Das en su libro Fundamentos de ingeniería geotécnica:

Tabla 6. Consistencia y correlación aproximada con el número de penetración estándar N

Numero de penetración estándar, N	Consistencia	Resistencia a compresión simple, q_u (KN/M ²)
0-2	Muy blanda	0-25
2-5	Blanda	25-50
5-10	Rigidez media	50-100
10-20	Firme	100-200
20-30	Muy Firme	200-400
>30	Dura	>400

Tabla 7. Ensayo SPT Sondeo 1

Profundidad (m)	Valores de campo				Consistencia
	N1 (g/pie)	N2 (g/pie)	N3 (g/pie)	N2+N3 (g/pie)	
1.50	4	6	7	13	FIRME
3.00	7	8	8	16	FIRME
4.50	10	10	11	21	MUY FIRME
6.00	12	13	13	26	MUY FIRME
7.50	12	12	14	26	MUY FIRME
9.00	9	9	9	18	FIRME
10.50	11	14	14	28	MUY FIRME
12.00	13	14	14	28	MUY FIRME
13.50	10	9	9	18	FIRME
15.00	10	10	12	22	MUY FIRME

Fuente: (propia)

Tabla 8. Ensayo SPT Sondeo 2

Profundidad (m)	Valores de campo				Consistencia
	N1 (g/pie)	N2 (g/pie)	N3 (g/pie)	N2+N3 (g/pie)	
1.50	2	3	3	6	RIGIDEZ MEDIA
3.00	9	10	10	20	MUY FIRME
4.50	11	11	11	22	MUY FIRME
6.00	9	12	12	24	MUY FIRME
7.50	10	10	10	20	MUY FIRME
9.00	9	11	11	22	MUY FIRME
10.50	10	12	12	24	MUY FIRME
12.00	10	10	10	20	MUY FIRME
13.50	9	10	10	20	MUY FIRME
15.00	14	16	19	35	DURO

Fuente: (propia)

Tabla 9. Ensayo SPT Sondeo 3

Profundidad (m)	Valores de campo				Consistencia
	N1 (g/pie)	N2 (g/pie)	N3 (g/pie)	N2+N3 (g/pie)	
1.50	2	3	5	8	RIGIDEZ MEDIA
3.00	4	4	5	9	RIGIDEZ MEDIA
4.50	3	3	4	7	RIGIDEZ MEDIA
6.00	5	6	6	12	FIRME
7.50	6	6	7	13	FIRME
9.00	7	7	7	14	FIRME

Fuente: (propia)

Tabla 10. Ensayo SPT Sondeo 4

Profundidad (m)	Valores de campo				Consistencia
	N1 (g/pie)	N2 (g/pie)	N3 (g/pie)	N2+N3 (g/pie)	
1.50	3	3	3	6	RIGIDEZ MEDIA
3.00	6	6	7	13	FIRME
4.50	6	7	7	14	FIRME
6.00	6	7	7	14	FIRME
7.50	8	9	9	18	FIRME
9.00	10	10	10	20	MUY FIRME
10.50	9	9	10	19	FIRME
12.00	11	12	12	24	MUY FIRME
13.50	10	11	11	22	MUY FIRME
15.00	11	12	14	26	MUY FIRME
16.50	8	8	8	16	FIRME
18.00	9	9	10	19	FIRME
19.50	11	12	12	24	MUY FIRME

9.4 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS MATERIALES

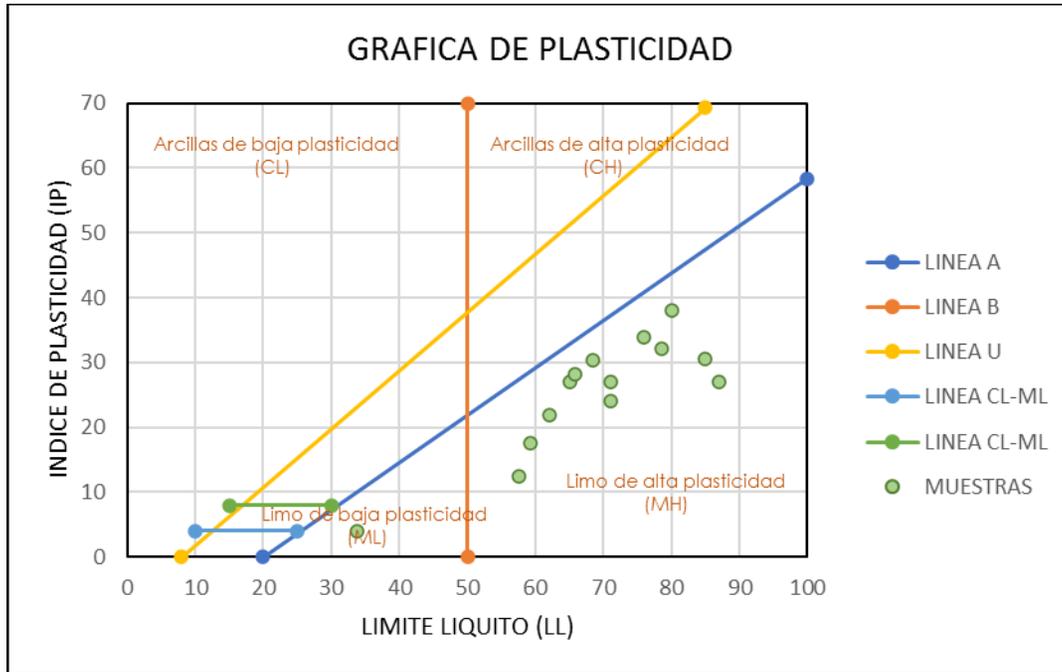
9.4.1 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS MATERIALES DE LOS DEPÓSITOS DE CAÍDA PIROCLÁSTICA

9.4.1.1 CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Para la clasificación de los materiales extraídos de cada una de las perforaciones, se utilizará el sistema unificado de clasificación de suelos, el cual tiene como principal parámetro la carta de plasticidad. Por tal motivo es necesaria la determinación de los Límites de Atterberg y la realización de Granulometrías por Lavado.

- Los depósitos que conforman la zona de estudio presentan una textura limo arenosa, lo que hace que se clasifican en la carta de Casagrande como limos de alta plasticidad MH.
- La humedad natural promedio es de 61.04%

Figura 101. Clasificación de muestras depósitos de caída piroclástica



Fuente: (Propia, 2022)

9.4.1.2 LÍMITE LÍQUIDO

Esta propiedad presenta un valor promedio de 76.88%. Indicando una alta plasticidad de los materiales, como estos valores promedios son superiores a la humedad natural promedio, se descarta que se vaya a generar una pérdida súbita de la resistencia por efectos de remoldeo debidos a una sobrecarga rápida.

9.4.1.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN INCONFINADA

El valor promedio de la resistencia a la compresión inconfinada para el estrato de depósito de caída piroclástica es de 4.7 ton/m².

9.4.1.4 PESO UNITARIO DEL SUELO

El valor promedio es 1.57 ton/m³ para pesos unitarios húmedos y de 1.03 ton/m³ para pesos unitarios secos.

9.4.1.5 INDICÉ DE PLASTICIDAD

El valor de esta propiedad presenta un valor promedio de 27.98%.

9.4.1.6 COHESIÓN

El valor de esta propiedad presenta un promedio de 5.50 ton/m².

9.4.1.7 ÁNGULO DE FRICCIÓN

El valor de esta propiedad presenta un promedio de 33.23°.

Tabla 11. Propiedades mecánicas de los depósitos de caída piroclástica

Sondeo	γ húmedo (Ton/m ³)	γ seco (Ton/m ³)	qu (Ton/m ²)	W (%)	LI (%)	Lp (%)	Ip (%)	Tamiz 200 (%)	SUCS	C (Ton/m ²)	ϕ (°)	Gs	Lc	P<2 μ (%)
S2-4.00	1.443	0.852		69	76	42	34	67.8	MH	3.3	35.7			
S3-3.60				63	65	38	27	51.5	MH			2.518	29	
S4-1.50	1.584	0.944	11.32	67.7	71	47	24	94.9	MH	4.2	30			
S7 -1.60	1.295	0.702	3.4	84.48	126.7	75.3	51.4	66.57	MH			2.53	23.41	10
S8 -1.40				66.56	78.6	46.5	32.1	58.05	MH					
S9-3.00	1.649	1.083	2.2	52.36	57.6	45.1	12.5	59.3	MH					
S10-3.10				72	80	42	38	46	SC			2.60	23	
S11-4.00	1.455	0.934		55.7	87	60	27	60.8	MH	9	34			
S12-2.00	1.592	1.033	4.2	55	62	40	22	75.4	MH			2.612	37	
S12-2.90				54.11	59.3	41.9	17.5	70.95	MH					
S13-1.60				60.6	71.1	44.2	27	69.28	MH			2.521		24
S13-2.20	1.483	0.99	2.5	49.71	65.8	37.7	28.2	56.23	MH					
S14-3.00				95.12	109.1	73	36.1	53.02	MH			2.52		15
S16 - 2.70	1.704	1.077	6.4	58.3	68.5	38.1	30.4	87.7	MH					
S17-4.00	1.242	0.712	5.5	74.51	110.4	76.6	33.9	64.77	MH					
S18 - 3.00	2.024	1.568	2.1	29.11	85	54.5	30.5	57.67	MH					
S19 - 2.50	1.829	1.402		30.4	33.8	29.8	4	38.8	SM					
Promedio	1.57	1.03	4.70	61.04	76.88	48.92	27.98	63.46		5.50	33.23	2.55	28.10	16.33
Máximo	2.02	1.57	11.32	95.12	126.70	76.60	51.40	94.90		9.00	35.70	2.61	37.00	24.00
Mínimo	1.24	0.70	2.10	29.11	33.80	29.80	4.00	38.80		3.30	30.00	2.52	23.00	10.00

Fuente: (propia, 2022).

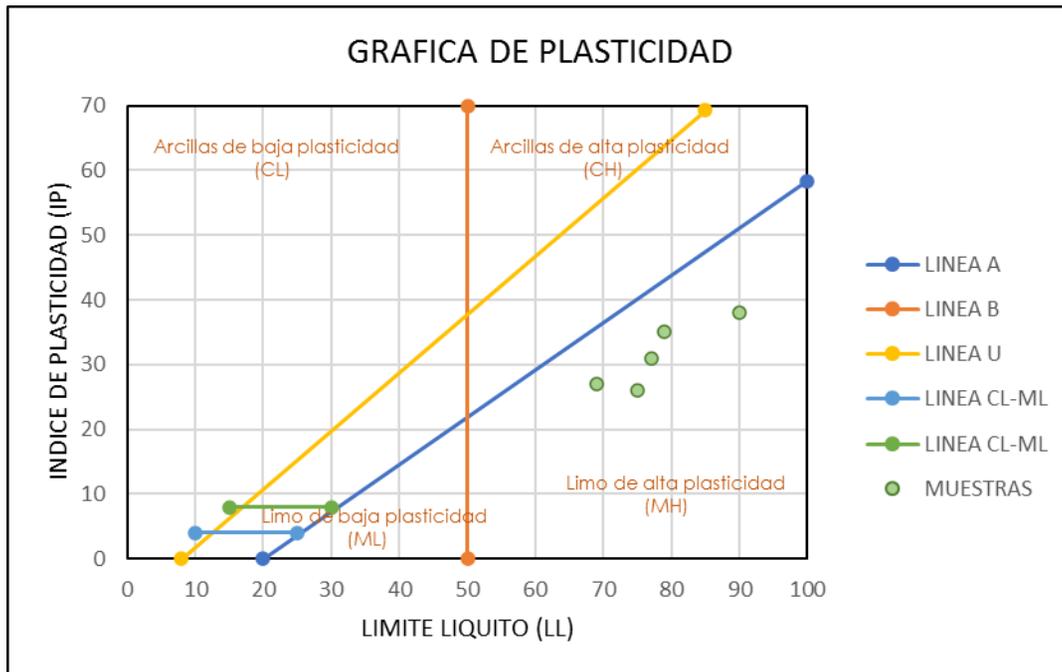
9.4.2 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS SUELOS DE LA FORMACIÓN GLACIS DEL QUINDÍO

9.4.2.1 CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Para la clasificación de los materiales extraídos de cada una de las perforaciones, se utilizará el sistema unificado de clasificación de suelos, el cual tiene como principal parámetro la carta de plasticidad. Por tal motivo es necesaria la determinación de los Límites de Atterberg y la realización de Granulometrías por Lavado.

- Los depósitos que conforman la zona de estudio presentan una textura limo arenosa, lo que hace que se clasifican en la carta de Casagrande como limos de alta plasticidad MH.
- La humedad natural promedio es de 63.12%

Figura 102. Clasificación de muestras de suelos de la Formación Glacis del Quindío



Fuente: (Propia, 2022)

9.4.2.2 LÍMITE LÍQUIDO

Esta propiedad presenta un valor promedio de 78.0%. Indicando una alta plasticidad de los materiales, como estos valores promedios son superiores a la humedad natural promedio, se descarta que se vaya a generar una pérdida súbita de la resistencia por efectos de remoldeo debidos a una sobrecarga rápida.

9.4.2.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN INCONFINADA

El valor promedio de la resistencia a la compresión inconfiada para el estrato es de 9.77ton/m².

9.4.2.4 PESO UNITARIO DEL SUELO

El valor promedio es 1.55 ton/m³ para pesos unitarios húmedos y de 0.95 ton/m³ para pesos unitarios secos.

9.4.2.5 INDICÉ DE PLASTICIDAD

El valor de esta propiedad presenta un valor promedio de 31.4%.

9.4.2.6 COHESIÓN

El valor de esta propiedad presenta un promedio de 3.68 ton/m².

9.4.2.7 ÁNGULO DE FRICCIÓN

El valor de esta propiedad presenta un promedio de 33.18°.

Tabla 12. Propiedades mecánicas de los suelos del Glacis del Quindío

Sondeo	γ húmedo (Ton/m ³)	γ seco (Ton/m ³)	qu (Ton/m ²)	W (%)	LI (%)	Lp (%)	Ip (%)	Tamiz 200 (%)	SUCS	C (Ton/m ²)	ϕ (°)	Gs	Lc
S1-6.50	1.609	1.039	9.77	55	69	42	27	66	MH	3.9	35.5		
S4-2.50	1.584	0.933		69.8	77	46	31	88	MH	4.2	30		
S11-12.20	1.549	0.999		55.1	75	49	26	97	MH	3.8	32.9		
S14-8.50	1.441	0.811		77.7	90	52	38	60.4	MH	2.8	34.3		
S17-6.00				58	79	44	35	71	MH			2.533	40
Promedio	1.55	0.95	9.77	63.12	78.00	46.60	31.40	76.48		3.68	33.18	2.53	40.00
Máximo	1.61	1.04	9.77	77.70	90.00	52.00	38.00	97.00		4.20	35.50	2.53	40.00
Mínimo	1.44	0.81	9.77	55.00	69.00	42.00	26.00	60.40		2.80	30.00	2.53	40.00

Fuente: (propia, 2022).

9.5 EXPLORACIÓN GEOFÍSICA

La exploración realizada se orientó a obtener información básica del subsuelo tal como profundidades a roca, espesor y forma del contacto entre capas y continuidad o discontinuidad del modelo interpretativo, así como la obtención de parámetros sísmicos básicos tales como las velocidades compresionales y de corte.

La exploración consistió en la ejecución de líneas de Refracción Sísmica con medición de velocidad de onda compresional y la realización del ensayo MASW para la medición de onda de corte, con el propósito principal es obtener parámetros que permitan caracterizar geotécnicamente el material encontrado.

Los estudios geofísicos realizados tuvieron como objetivos específicos complementar la información geotécnica del área en los siguientes aspectos:

- Determinar las velocidades compresionales (V_p) de los diferentes estratos y con base en esta velocidad, presentar un modelo del subsuelo que muestre las diferentes capas del subsuelo, la forma del contacto entre ellas y sus espesores.
- Elaborar secciones del subsuelo correlacionando las velocidades con los probables materiales a encontrar.
- Cálculo de las velocidades de corte (V_s) de los diferentes estratos, y a partir de estos determinar los cambios de capas en el subsuelo.

- Realizar la descripción estratigráfica sísmica y la profundidad de los estratos sísmicos por medio de la comparación de las ondas de corte.

9.5.1 EQUIPOS EMPLEADOS

- **Sismógrafo:**

La adquisición de los datos sísmicos se hizo utilizando un sismógrafo marca GEODE con 12 canales, marca Geometrics/USA y computador portátil externo.

- **Geófonos:**

Para refracción sísmica se utilizan geófonos verticales con una frecuencia natural de 28 Hz, este sensor de frecuencias altas permitiría captar mejor las primeras llegadas de ondas P y aminoraría la llegada de las ondas superficiales, mejorando el procesamiento posterior de los registros. Para MASW se usan geófonos verticales con una frecuencia natural de 4.5 Hz, porque las ondas superficiales tienen una banda ancha global relativamente más baja en comparación con las refracciones y reflexiones.

- **Cable de refracción:**

También conocido como cable conector de geófonos, la regla general es que la longitud extendida del cable conector de geófonos sea 1.5 a 2.5 veces la profundidad de investigación.

- **Fuente:**

Para líneas de refracción sísmica un martillo 20 libras es apropiado para la mayoría de los estudios. Para el ensayo MASW, un martillo de 10 a 20 libras es conveniente para la mayoría de los estudios. El martillo se utiliza junto con un plato metálico de impacto y un cable de especial interruptor o trigger, que permite obtener el tiempo cero.

- **Batería:**

Se requiere una batería para respaldar un buen trabajo en campo, son baterías de alta densidad de energía, excelente rendimiento y completamente selladas a prueba de fugas, con un voltaje de entrada de corriente continua de 12 Voltios, con la magnitud y frecuencia deseada.

Figura 103. Fotografías e campo del ensayo hecho en campo



Fuente: Capturas propias

Figura 104. Fotografías e campo del ensayo hecho en campo



Fuente: Capturas propias

Figura 105. Fotografías e campo del ensayo hecho en campo

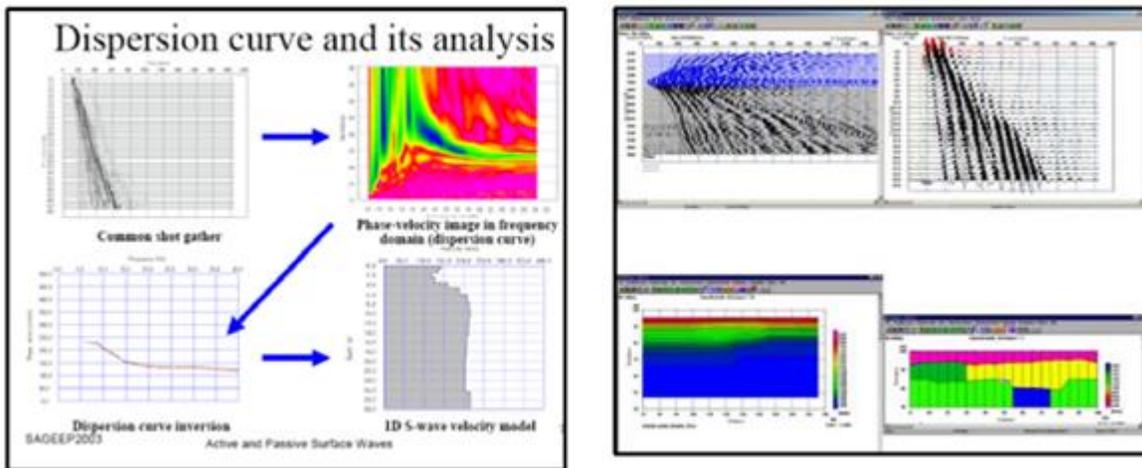


Fuente: Capturas propias

- **Software de análisis de datos:**

El equipo cuenta con software de recepción de datos, control de calidad e interpretación y en consecuencia, toda la información se encuentra debidamente almacenada en archivos digitales. Utilizamos el Software SeisImager/SW-1D para la obtención de perfiles sísmicos bidimensionales para estudios de Refracción Sísmica y para la obtención de perfiles sísmicos unidimensionales de ensayos MASW.

Figura 106. Software análisis de datos para el ensayo MASW y refracción sísmica



9.5.2 REFRACCIÓN SÍSMICA

La refracción sísmica es un método geofísico no destructivo para la interpretación de las propiedades de los suelos, y la detección de la profundidad de la roca, mediante el análisis de las variaciones en las velocidades sísmicas. Este ensayo permite obtener los perfiles de ondas P de una zona de investigación, el principio del método consiste en medir el tiempo de llegada de las ondas de compresión (P) de una fuente artificial (caída de peso, pistolas de aire, martillo, explosivo).

Los materiales más compactos muestran velocidades altas de ondas P, en comparación con las velocidades bajas en materiales no consolidados. Las mediciones de refracción sísmica se llevan a cabo a lo largo de los perfiles longitudinales de con múltiples sensores alineados (geófonos), con diferentes impactos posicionados en los extremos y parte central del tendido de la línea.

Este método se basa en determinar los tiempos de recorrido de las ondas P (primarias), longitudinales o compresionales, desde un punto conocido (fuente sísmica) hasta una serie de sensores (geófonos) situados a lo largo de una línea de adquisición. Conociendo tiempo de recorrido y distancia entre fuente y geófonos, se puede determinar la velocidad de propagación del medio situado entre ambos. La refracción sísmica permite reconstruir un perfil bidimensional de ondas P (V_p) en función de la profundidad a lo largo de la línea de geófonos. Estas velocidades están controladas por los parámetros elásticos que describen el material y pueden correlacionarse con numerosas propiedades geomecánicas.

La interpretación se hizo empleando el paquete SEISMAGER-SW el cual se compone de varios programas de computador para aplicaciones específicas dentro del proceso de interpretación (Oyo Geophysics, 2005, actualización noviembre de 2018 última disponible). Este paquete de programas está homologado y es suministrado por la casa fabricante del sismógrafo. Los métodos interpretativos empleados para refracción sísmica fueron los conocidos como tiempos de retraso o "Delay Times" y Tomografía sísmica y las etapas para la interpretación fueron las siguientes:

a) Tiempos de llegada de las ondas: Los tiempos de llegada de las ondas compresionales son interpretados de manera semiautomática por el programa PickWin, y dependiendo de la calidad de los mismos pueden ser ajustados manualmente. Este proceso se realiza para cada uno de los archivos generados en cada punto de disparo de una línea de refracción sísmica.

b) Creación de archivos Tiempo – Distancia: Una vez definidos los tiempos de llegada para cada disparo o shotpoint de una línea, se crea un archivo que agrupa estos resultados en un gráfico Tiempo - Distancia. Cada archivo en este caso está compuesto por varios registros (uno por cada punto de disparo) donde en cada uno de ellos muestra los tiempos de llegada de la onda en cada geófono que compone la línea.

Se acostumbra determinar la longitud de la línea como 2 a 3 veces la profundidad de investigación, como primera aproximación. De esta manera, para profundidades de investigación de 10 a 20 metros esperados con la geosísmica, la longitud de cada línea debe ser del orden de 20 a 40 metros respectivamente. Para la generación de ondas se utilizó el tradicional sistema de percusión con “sledge hammer”.

c) Delay Times/Tomografía: A cada archivo de Tiempo – Distancia obtenido en el paso anterior, se asignan las posibles capas o estratos de acuerdo a los cambios de pendiente. Cada pendiente representa una velocidad que se asocia a una capa. El programa estima las velocidades, los espesores y las profundidades de las capas. El análisis de las líneas de refracción sísmica se hace empleando dos métodos. El primero de ellos es convencional para refracción y se denomina “Delay Times”; su respuesta es un modelo simplificado en tres a cinco conjuntos de capas.

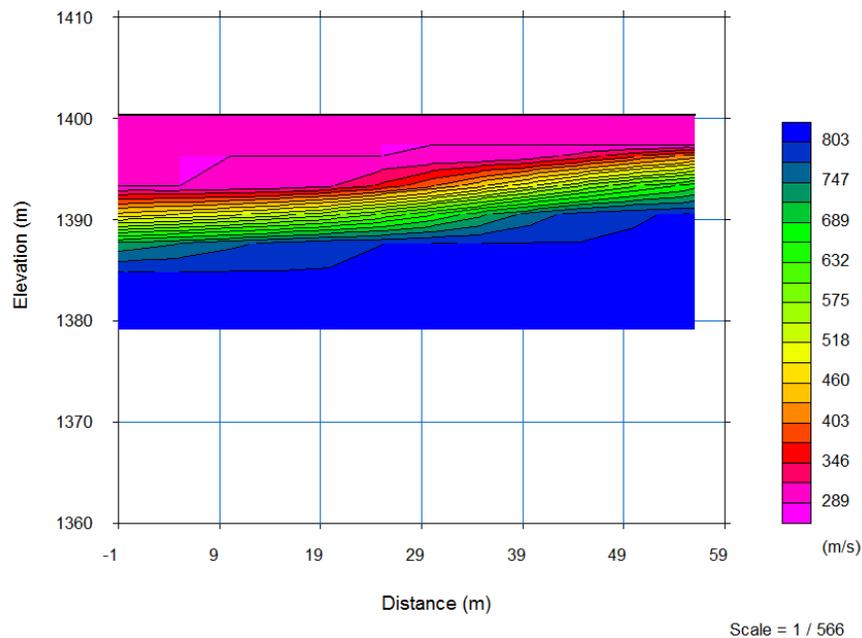
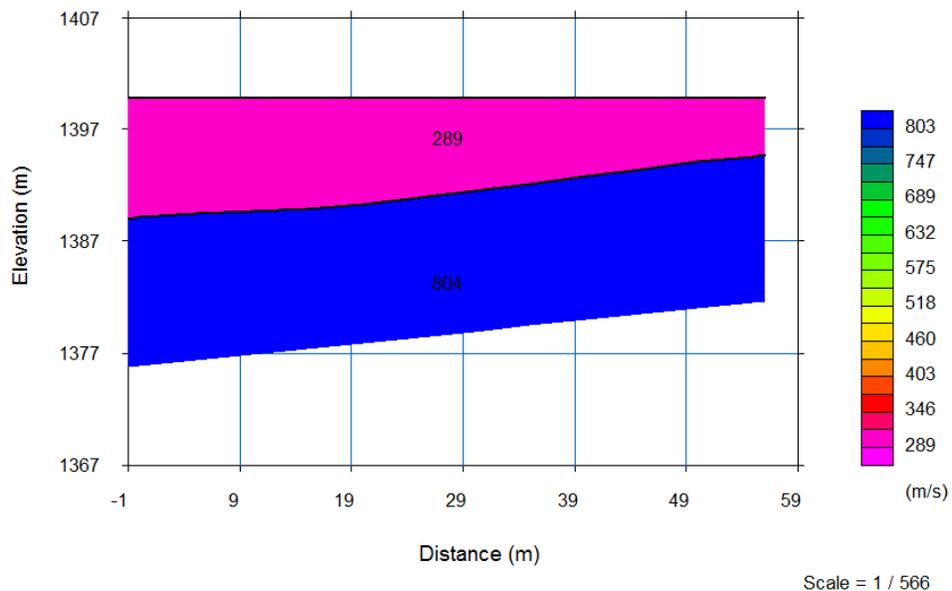
El segundo método que se empleó es la interpretación tomográfica, método que permite por resolución de sistemas de ecuaciones diferenciales por elementos finitos, detallar mayor número de capas y en consecuencia permite ver más claramente variaciones laterales y en profundidad de las velocidades compresionales, lo cual a su vez, permite afinar la interpretación en cuanto a que deja ver más claramente anomalías correlacionables con discontinuidades de cualquier tipo.

d) Verificación: Usualmente es necesario calcular iterativamente una línea hasta encontrar que las velocidades son similares para cada capa y que el resultado final es satisfactorio.

El criterio que define que el resultado final sea satisfactorio es el llamado RMS o “root mean square” el cual es un valor proveniente de comparar los datos de campo medidos con los datos de campo generados a partir del modelo interpretativo. Este valor (RMS) debe ser inferior a 2 y preferiblemente estar en el orden de 0.5 a 1.5.

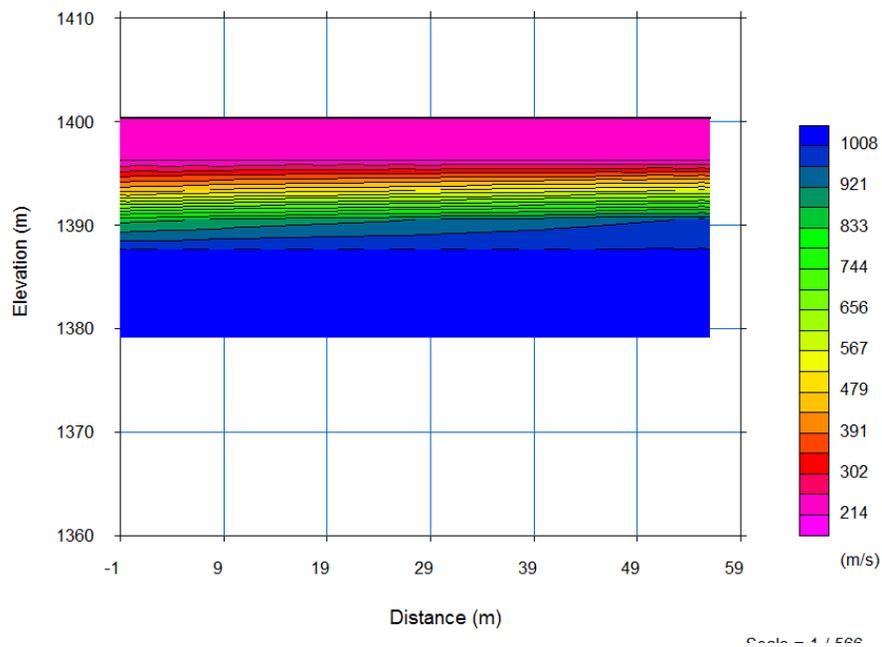
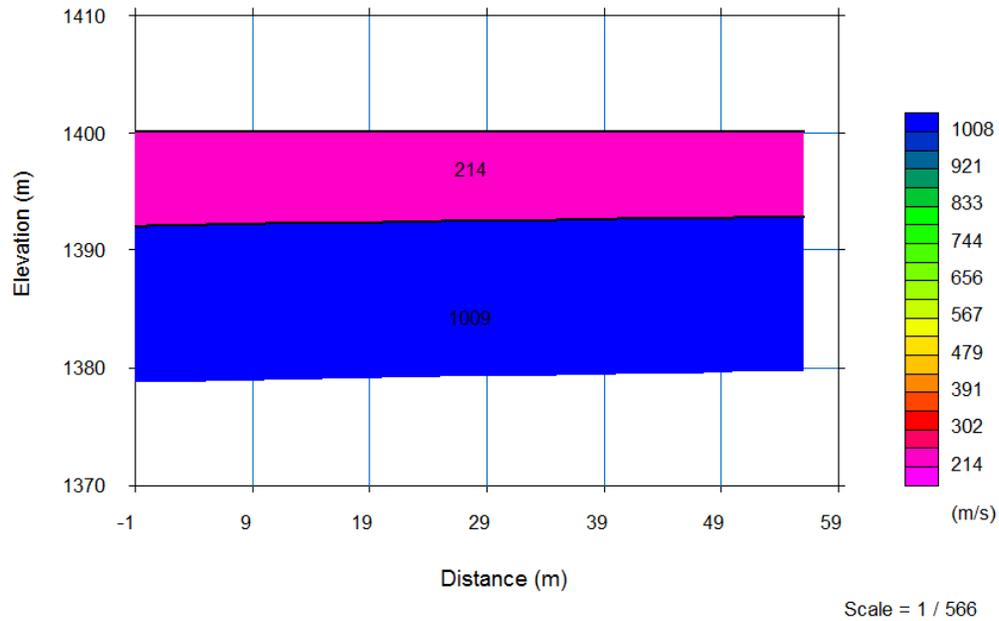
Entre mayor complejidad exista en la geología de la zona en particular, mayor será el número de iteraciones que habrá que realizar. Paralelamente a este proceso se consulta la información acerca de la geología, perforaciones, etc., con el fin de establecer la correlación entre velocidades, espesores y clases de material. La interpretación general de toda la zona consiste en un modelo del subsuelo compuesto por dos conjunto principales de estratos de la siguiente manera.

Figura 107. Perfil sísmico compuesto por la línea sísmica LRS-1



Fuente: (Propia, 2022)

Figura 108. Perfil sísmico compuesto por la línea sísmica LRS-2



Fuente: (Propia, 2022)

Tabla 13. Resumen velocidades de onda líneas de refracción sísmica

Perfil sísmico	Velocidad P (m/seg) Estrato 1 (lilas)	Velocidad P (m/seg) Estrato 2 (azul)
LRS- 1	289	804
LRS- 2	214	1009

Fuente: (Propia, 2022)

La figura anterior nos permite identificar dos estratos en la zona de estudio, la primera comprende la gama de lilas, las cuales presentan velocidades de onda p del orden de 252 m/s, la segunda gama representada por el color azul corresponde a velocidades compresionales de 907 m/s. La primera capa es fácilmente correlacionable con los materiales de consistencia baja, la segunda capa se asocia a los depósitos de consistencia media.

9.5.3 MASW

El Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW), es un método no destructivo, se usa para evaluar la velocidad de onda de corte (V_s), vinculado al mismo módulo de corte (G). Este método analiza las propiedades de dispersión de los modos fundamentales de las ondas Rayleigh, las cuales se propagan a lo largo de la superficie desde el punto de impacto a los receptores (Park et al., 1999).

Los registros se realizan con 12 o más geófonos en distancias cortas y largas desde una fuente impulsiva o vibratoria, que proporcionan una redundancia estadística para medir las velocidades de fase. Los datos multicanal permiten la identificación y rechazo de los modos no fundamentales de ondas Rayleigh, permiten también un proceso más efectivo para la eliminación del ruido y un proceso de recolección de datos más rápido (Louie, J. 2001).

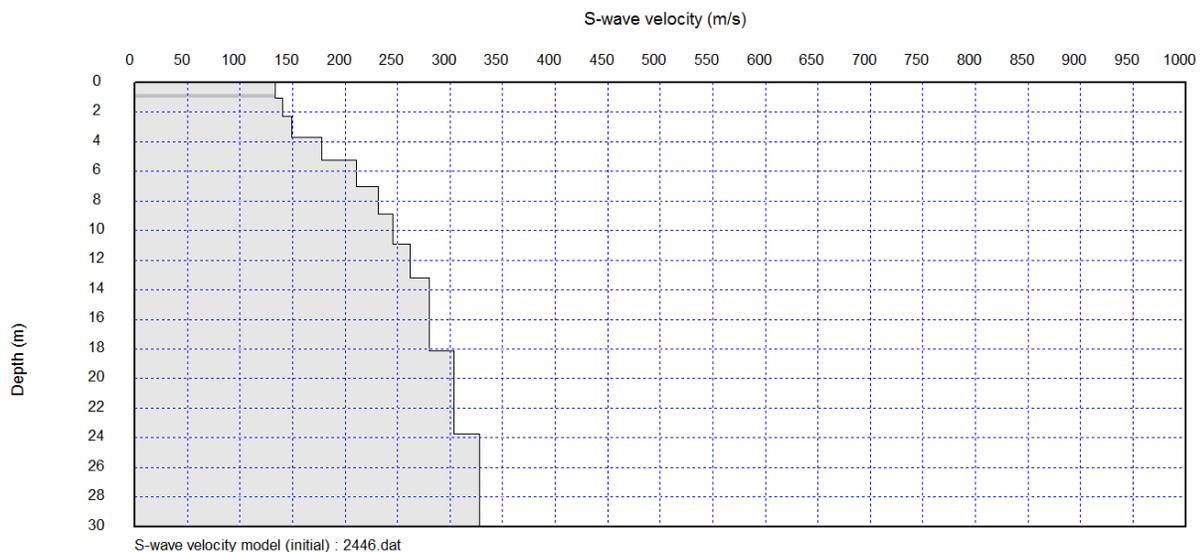
El método de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW) ha sido utilizado eficazmente para determinar la velocidad de la onda de corte (V_s) de la zona de estudio. La velocidad de la onda de corte (V_s) ha sido largamente reconocida como un factor clave para la caracterización sísmica de una zona. Debido a que la velocidad de la onda S es propiedad dominante del modo fundamental de la velocidad de fase de las ondas Rayleigh, y la onda Rayleigh tiene menor atenuación, alta relación señal/ruido y una inmunidad más fuerte a la interferencia; las velocidades de la onda S pueden estimarse rápidamente de la inversión de los datos de la onda Rayleigh.

Esta técnica consiste en:

- La adquisición de ondas superficiales de alta frecuencia (ground roll, también denominadas ondas Rayleigh) utilizando un sistema de registro multicanal de banda ancha.
- Creación de algoritmos organizados, eficaces y precisos en una sencilla secuencia de procesamiento de datos diseñada para extraer y analizar la curva de dispersión de la onda Rayleigh.
- El desarrollo de algoritmos de inversión estable y eficiente para obtener los perfiles de la velocidad de la onda S.

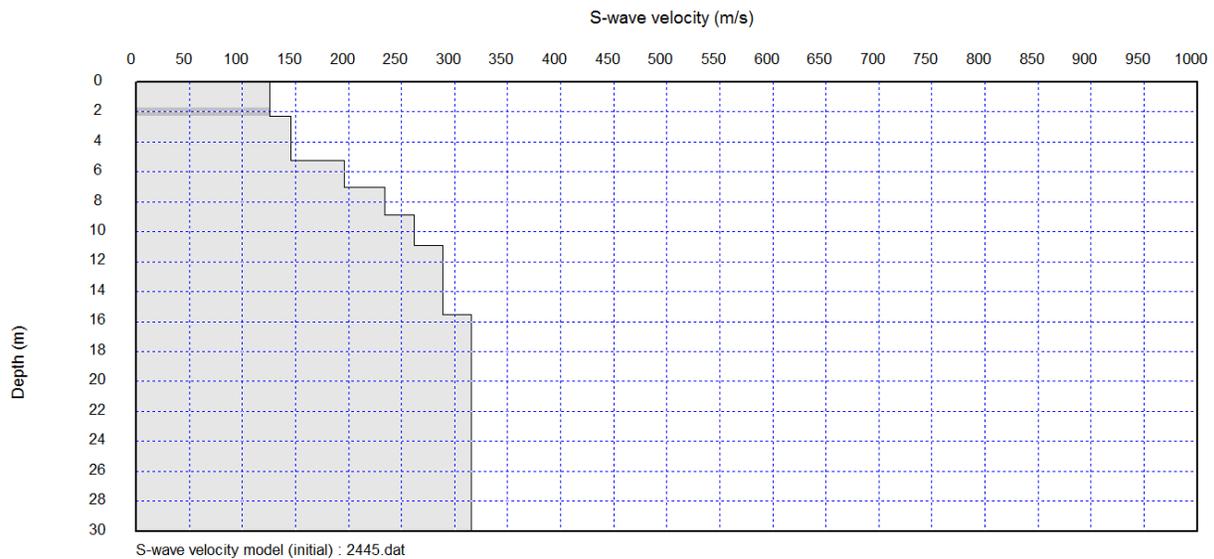
A partir de esta información, es posible determinar el tipo de perfil de suelo, con el fin de obtener los valores de coeficientes de amplificación que posteriormente serán utilizados en el análisis de estabilidad.

Figura 109. Perfil velocidad onda MASW-1



Fuente: (Propia, 2022)

Figura 110. Perfil velocidad onda MASW-2



Fuente: (Propia, 2022)

De acuerdo con los ensayos geofísicos se pudo evidenciar en estos las variaciones de velocidad de onda p y s a medida que aumenta la profundidad. En lo que tiene que ver con las velocidades de onda para los dos depósitos predominantes se puede apreciar que en el caso de la ceniza el valor de la velocidad de onda P es de 251 m/s y para la onda S 150 m/s, y contrasta con lo encontrado para los depósitos de flujos de lodo donde la onda P es cercana a 900 m/s y la S 330 m/s. Esto muestra que la rigidez de los depósitos del Glacis es mucho mayor que los materiales superficiales, ratificando nuevamente que el mecanismo de falla corresponde a deslizamientos planares de los suelos poco rígidos sobre los competentes.

9.6 TOMOGRAFÍA GEO ELÉCTRICA

Las técnicas de prospección geofísica son ya una exigencia metodológica para la investigación geotécnica; tratando de acercarse a la visualización de un modelo detallado del subsuelo en un talud inestable ubicado en la ladera norte del Rio Otún en el municipio de Dosquebradas, sector La Badea, departamento de Risaralda.

El objetivo general del estudio fue el delineamiento de patrones de infiltración y saturación asociados al proceso de inestabilidad del talud estudiado.

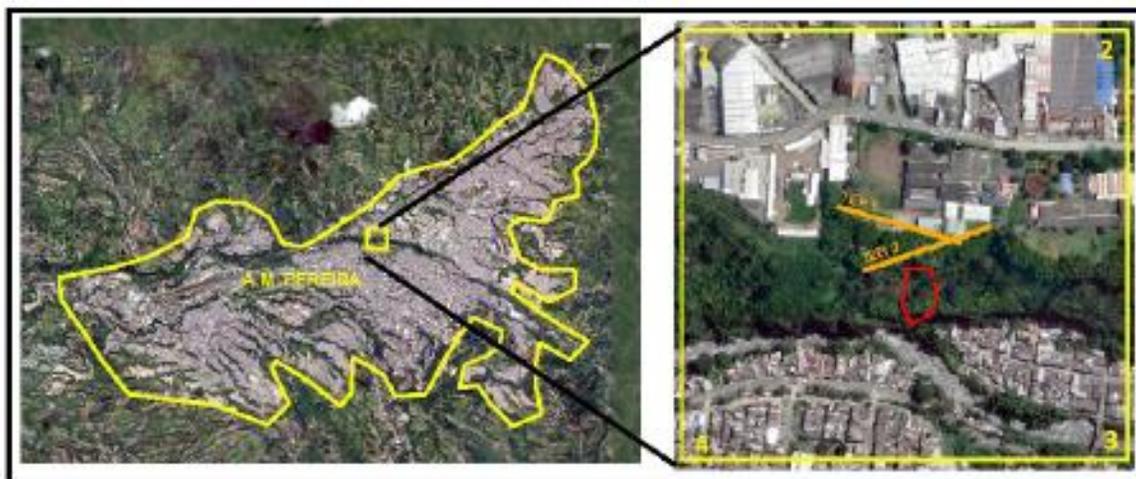
Para tal fin, se dio uso de la técnica geofísica denominada Tomografía Eléctrica de Resistividad (T.E.R.). La campaña consistió de la adquisición, procesamiento e interpretación de 2 perfiles TER con los cuales se pudo explorar el subsuelo hasta una profundidad aproximada de 25 metros.

9.6.1 OBJETIVOS

- Delinear la geometría de los contactos entre los materiales subyacentes al trazado de los perfiles geoeléctricos.
- Identificar patrones de infiltración.
- Identificar zonas saturadas del subsuelo.

9.6.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SITIO DE TRABAJO

Figura 111. Ubicación del sitio de estudio en el área metropolitana de Pereira, ubicación de las líneas de tomografía geoelectrica (color naranja) y superficie de deslizamiento (color rojo) en el area de estudio



Fuente: Propia.

9.6.2.1 COORDENADAS

Como área específica de estudio se seleccionó un polígono cuadrado de 500 metros de lado, que incluye los tendidos tomográficos usados, cuyas coordenadas (Colombia West Zone) se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 14. Georeferenciación de vértices del área de estudio

Punto	W	N
1	1152960	1025170
2	1153460	1025170
3	1153460	1024670
4	1152960	1024670

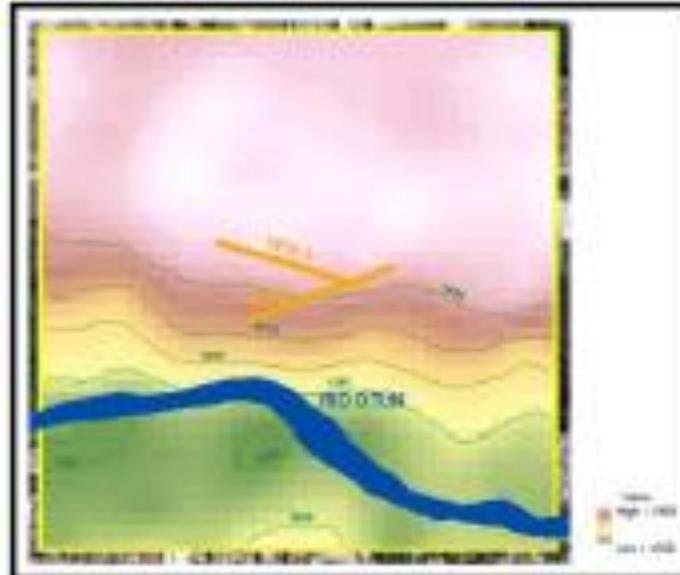
Fuente: Propia.

9.6.2.2 TOPOGRAFÍA

Regionalmente la zona de estudio pertenece al denominado “Cono del Quindío” que, “desde las partes altas se aprecia como una superficie suavemente ondulada, con una leve inclinación de oriente a occidente, con pendiente que no excede los 5°. Se compone de pequeñas colinas redondeadas, aproximadamente con la misma altura y diámetro formadas enteramente por gruesas capas de cenizas volcánicas disectadas por el drenaje dendrítico fino” (Caballero, 1984).

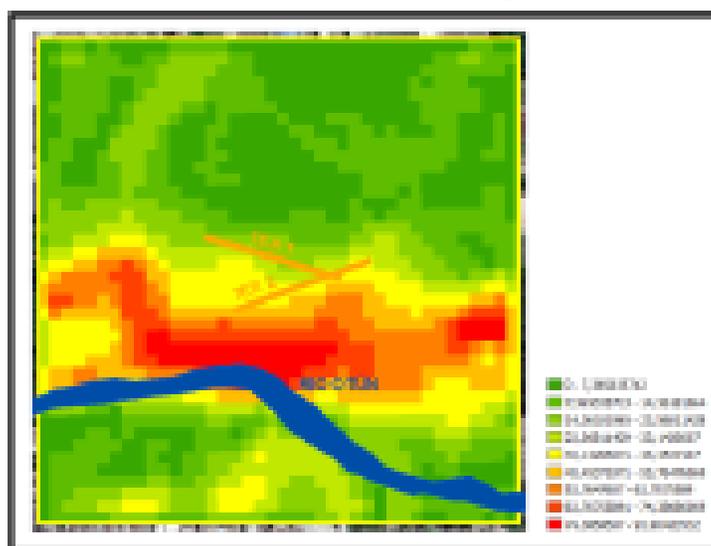
Localmente la ladera estudiada muestra una fuerte pendiente con una caída casi vertical que representa el límite natural entre la plataforma elevada que ocupa el municipio de Dosquebradas al norte y el valle de inundación del Río Otún y el casco urbano de la ciudad de Pereira al sur.

Figura 112. Modelo digital de elevaciones escala local



Fuente: (Modificado de ASF DAAC, 2011).

Figura 113. Mapa de pendientes para la zona de estudio



Fuente: (Modificado de ASF DAAC, 2011).

9.6.2.3 HIDROGRAFÍA

Están extensamente documentadas (González, 2014; Valencia, 2014) las causas, consecuencias y nexos entre las particulares características meteorológicas de la zona de estudio y su vulnerabilidad en el escenario actual de cambio climático; este contexto resalta el rol de la dinámica hidrológica local.

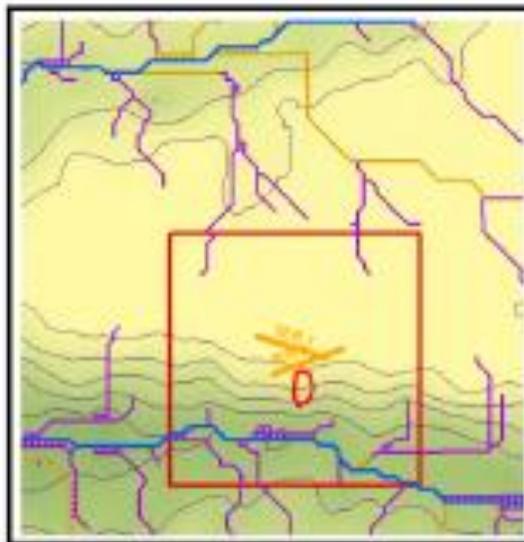
AL realizar la visita de campo se puede notar una zona en el talud con presencia de agua aflorando, dicho afloramiento puede corresponder a aguas infiltradas por efecto de lluvias y al nivel de aguas freáticas del talud. Al aplicar la metodología de O'Callaghan y Mark (1984) para modelamiento de escorrentías encontramos que en general los drenajes al norte del Rio Otún siguen un curso en sentido S-N desembocando en la quebrada Dosquebradas y que en el sector estudiado de la ladera de interés no se presentan escorrentías superficiales subsidiarias del rio Otún.

Figura 114. Hidrografía sub – regional



Fuente: (Igac, 2009).

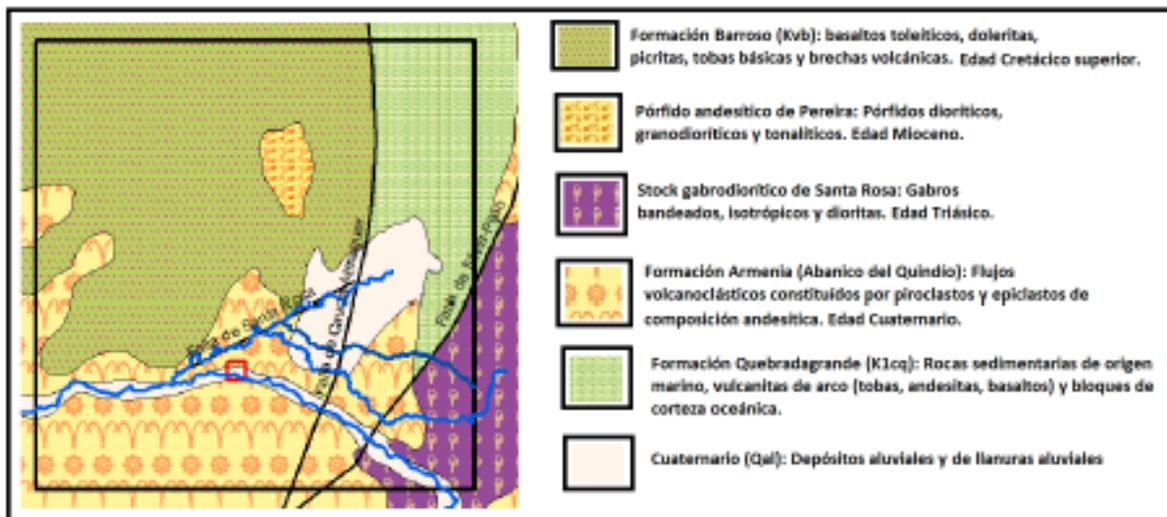
Figura 115. Modelo de drenajes



Fuente: (O'Callaghan y Mark, 1984).).

A escala regional el área de estudio se ubica sobre la zona de influencia de uno de los rasgos más sobresalientes de la geología colombiana: el Sistema de Fallas de Romeral (SFR); este es definido por Etayo (1969) como el límite entre basamento andino continental al E y corteza oceánica cretácea acrecionada al W. La historia geodinámica de este rasgo incluye procesos de subducción, acreción, intrusión, basculamiento, exhumación, formación de cuencas trasarco y esfuerzos extensivos, compresivos y transpresionales además de una intensa actividad volcánica (...) y paleosísmica desde Jurásico (Braz, 2006) hasta el presente (Lalinde, 2004; López, 2006); la amplitud del rango de edades de las formaciones aflorantes en la zona de interés refleja la complejidad estos procesos.

Figura 117. Unidades geológicas aflorantes, a escala sub – regional en el area de estudio



Fuente:(MGC, 2015).

A escala más local, Caballero (1984) ubica el área sobre el denominado CONO o ABANICO DEL QUINDÍO, “un conjunto de depósitos de lodo y cenizas semirrígidas y cohesivas recientes con espesores entre 10 y 25 metros, que reposan sobre conglomerados de buena rigidez y cimentación cuya profundidad es superior a 150 metros.” (Quiceno, 2009).

9.6.3 MATERIALES Y MÉTODOS

En el contexto de los ensayos propuestos para la evaluación geotécnica del talud estudiado se contrató la ejecución de 2 perfiles de Tomografía Eléctrica de Resistividades (TER); la tomografía 1 se ejecutó aproximadamente 40 metros al norte del canal de conducción hidráulica y la tomografía 2 transversal a dicha estructura; además se llevó a cabo el procesamiento e interpretación de datos gravimétricos satelitales.

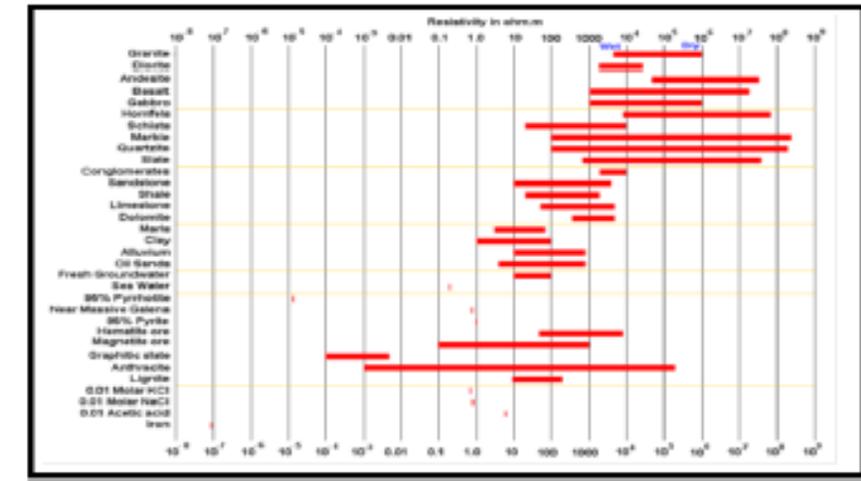
9.6.3.1 GEO ELÉCTRICA

Dentro de las técnicas geofísicas los métodos de prospección eléctrica ocupan, por su amplio rango dinámico y ventajas logísticas (Meju, 2002), un lugar prominente. Algunos de estos métodos hacen uso de campos naturales mientras otros requieren la inyección de corrientes eléctricas generadas artificialmente. Los métodos de resistividad eléctrica son usados asiduamente en el estudio de discontinuidades verticales y horizontales en prospección minera, ingeniería e investigaciones hidrogeológicas para auscultar los primeros cientos de metros del subsuelo (Kearey, 2002). En estudios de suelos para aplicaciones de ingeniería civil los métodos geoelectrónicos brindan información relevante no solo acerca de la geometría de los materiales involucrados sino también sobre los patrones de infiltración del subsuelo, las zonas de heterogeneidad y la geometría de superficies de falla (Suarez, 1998; Roth, 2002; Grandjean, 2006; Sastry, 2006; Pánek, 2008; Colangelo, 2008).

9.6.3.1.1 MARCO TEÓRICO

La prospección geoelectrónica es una técnica geofísica que, a partir de mediciones de resistividad eléctrica hechas en superficie, genera imágenes del subsuelo. Las imágenes son interpretadas usando tablas de referencia correlacionan los rangos de resistividad obtenidos con los tipos de roca cartografiados en la zona de interés.

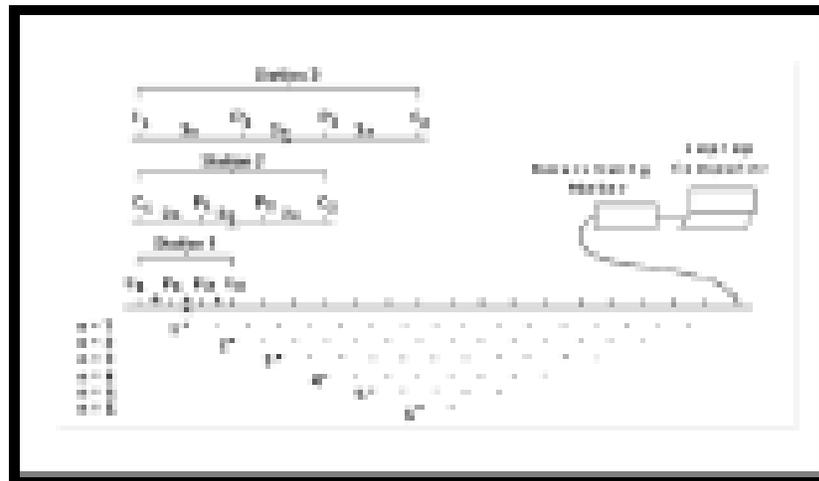
Figura 118. Valores de resistividades de las rocas



Fuente: (Locke, 2012).

9.6.3.1.2 ADQUISICIÓN DE DATOS TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA DE RESISTIVIDAD

Figura 119. Esquema general para la adquisición de datos de tomografía geoelectrica



Fuente: (Locke, 2012).

Figura 120. KARDONTGA – 24



Fuente: Propia.

Para este estudio la adquisición de datos se realizó empleando un equipo de referencia KARDON TGA-24 (Ortega, 2002) aplicando el método multielectrodo con un espaciado inter-electródico de 4 y 8 metros, longitud de tendido de 148 mts y arreglos tipo wenner-Schlumberguer. La figura muestra la ubicación de los perfiles TER adquiridos.

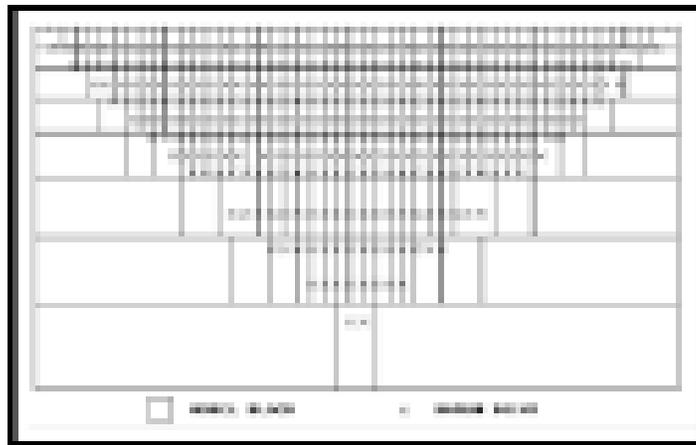
Figura 121. Ubicación del perfil de tomografía geoelectrica



Fuente: Propia.

El procesamiento se realizó utilizando un arreglo de bloques) en donde cada “x” representa un punto en profundidad del terreno con el valor de resistividad medido.

Figura 122. Modelo utilizado por el software de inversion



Fuente: Propia. (Locke, 2012).

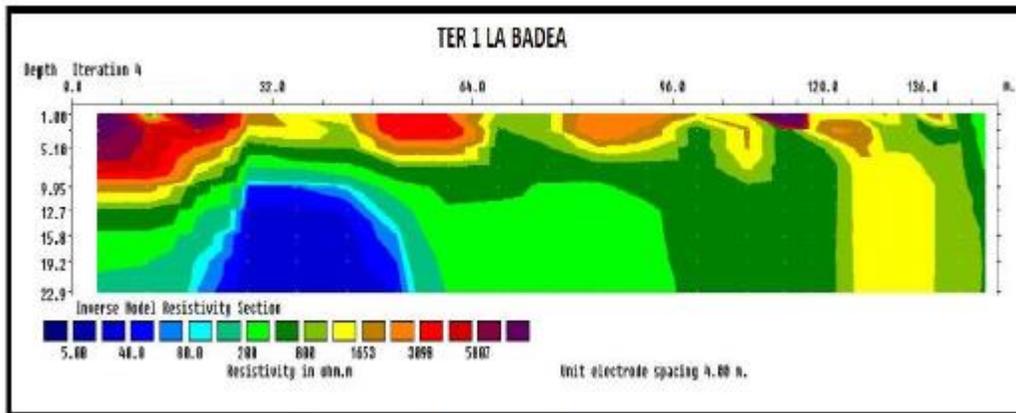
Una vez medidos los datos de resistividad se aplica el algoritmo del modelo inverso para la obtención de las resistividades reales del subsuelo, mediante el método de mínimos cuadrados (Sasaki, 1992):

$$(J^T J + \nu F) \mathbf{d} = J^T \mathbf{g}$$

where $F = f_x f_x^T + f_z f_z^T$
 f_x = horizontal flatness filter
 f_z = vertical flatness filter
 J = matrix of partial derivatives
 ν = damping factor
 \mathbf{d} = model perturbation vector
 \mathbf{g} = discrepancy vector

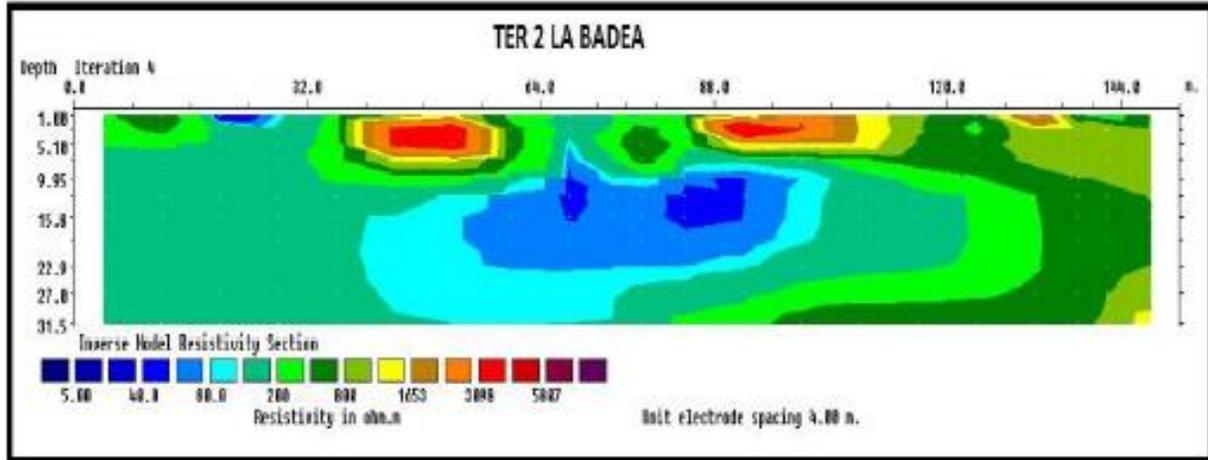
En los archivos anexos se expone los parámetros de adquisición utilizados, contiene la georreferenciación de los electrodos y el registro de los datos adquiridos. Las figuras muestran los resultados de los perfiles TER a interpretar.

Figura 123. Tomografía 1 La Badea



Fuente: Propia.

Figura 124. Tomografía 2 La Badea



Fuente: Propia.

Figura 125. Fotografías de la problemática en el sitio



9.6.3.2 ANÁLISIS GRAVIMÉTRICO

El método gravimétrico tiene como finalidad medir las variaciones, laterales y verticales, de la atracción gravitatoria; estas variaciones están ligadas a cambios en la densidad de los materiales del subsuelo; el método gravimétrico permite entonces estudiar la geometría y composición de estructuras geológicas a partir de los contrastes de sus densidades (Dobrin, 1961).

La ley de gravitación universal (Newton, 1687) da sustento teórico a este conjunto de metodologías que, tras el advenimiento de la era espacial, nos permiten el modelamiento de áreas del planeta antes inaccesibles sin ingentes gastos en recursos y tiempo.

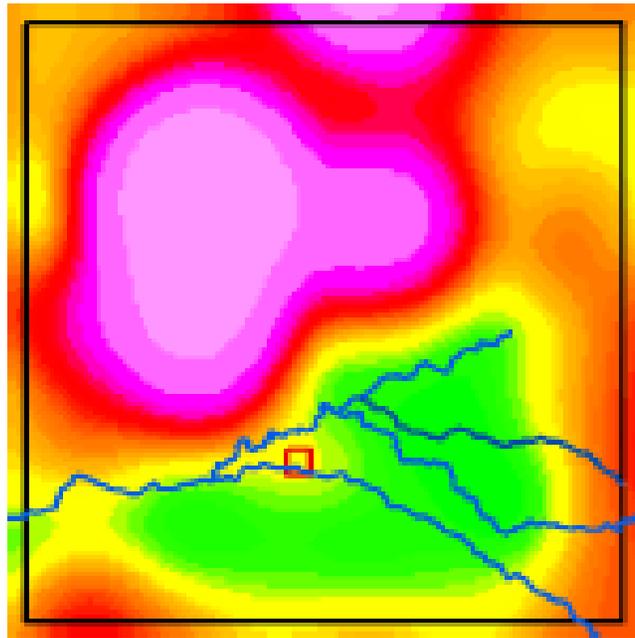
El uso de esta técnica para el modelamiento de cuencas sedimentarias es rutinario hace más de un siglo (DeGolyer, 1935) y su capacidad regional de interpretación la convierten en la manera más eficiente de hacer análisis geofísico a esta escala.

9.6.3.2.1 PROCESAMIENTO DE DATOS GRAVIMÉTRICOS

Para este trabajo se usaron datos gravimétricos satelitales provenientes de la base de datos GGMplus (Hirt, 2013; Ortega, 2019); esta base de datos se generó usando modelos de armónicos esféricos obtenidos con datos gravimétricos satelitales y terrestres a partir de los cuales, utilizando pseudogravedades generadas de información geodésica, logra aumentar su resolución espacial (Hirt, 2013).

El procesamiento consistió de la aplicación de las correcciones necesarias (de aire libre, latitud y de Bouguer {Dobrin, 1961}) para generar mapas de anomalía de Bouguer de los que se selecciona su componente regional para la interpretación. Para el procesamiento de datos gravimétricos se utilizó el software de referencia OASIS MONTAJ® versión 6.4.2.

Figura 126. Mapa de la componente regional de la anomalía gravimétrica



9.7 RESULTADO E INTERPRETACIÓN

9.7.1 RESULTADOS E INTERPRETACIÓN GEO ELÉCTRICA

Para la zona de estudio se propone un modelo geoeléctrico de un solo material correspondiente a depósitos cuaternarios del abanico del Quindío, este material presenta diferentes grados saturación que se manifiestan en los patrones de infiltración asociados a la dinámica hidrogeológica del sitio. Las figuras usan esta interpretación, según el modelo propuesto, para el delineamiento de las zonas saturadas encontradas.

Con este criterio, y usando los rangos de resistividades asignados en las tablas de referencia para el agua dulce (10-100 ohm/m en la tabla 3), se interpreta:

- Una zona saturada (Z_SAT1) presente en la imagen tomográfica 1 que se extiende desde una profundidad aproximada de 10 metros hasta el fondo de la imagen (23 metros aproximadamente); esta zona abarca una longitud de al menos 30 metros de ancho.
- Una zona saturada (Z_SAT2) presente en la imagen tomográfica 2 a una profundidad aproximada de 10 metros con 40 metros de ancho y 10 metros de alto.

Las figuras siguientes muestra la proyección en superficie de las zonas saturadas Z_SAT1 y Z_SAT2. La figura muestra la proyección en superficie de la interpolación de las zonas saturadas señaladas en las imágenes tomográficas y del manantial reportado; la alineación de estos elementos SUGIERE LA EXISTENCIA DE UN CANAL DE FLUJO DE AGUA SUBTERRÁNEA en dirección N-S que aflora directamente sobre la superficie de falla del deslizamiento.

Figura 127. Resistividades de zonas saturadas

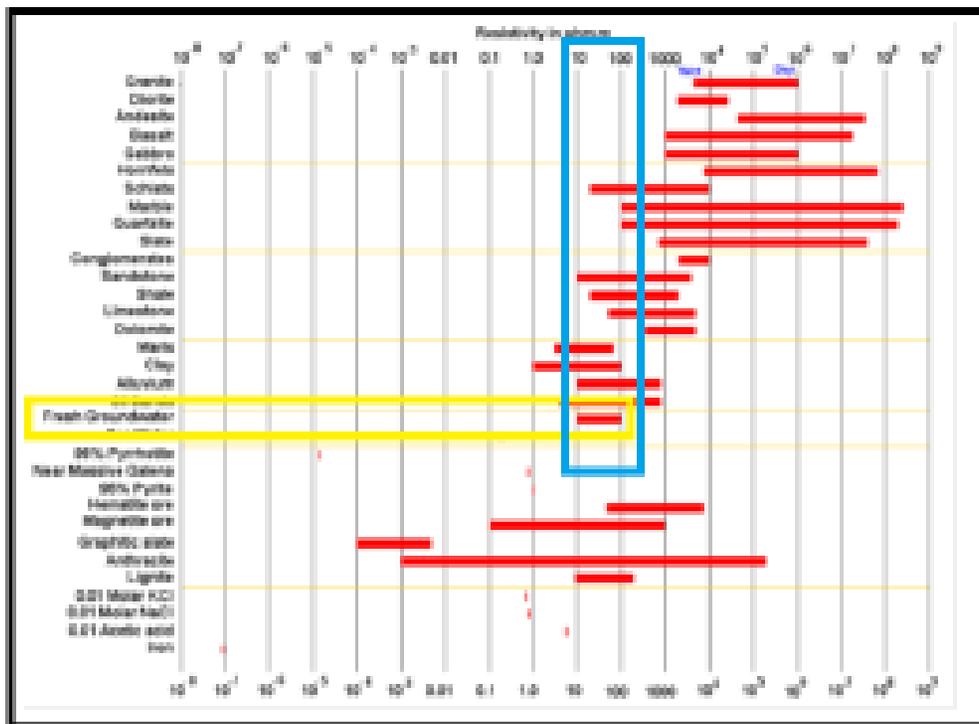


Figura 128. Tomografía geelectrica 1 La Badea interpretada

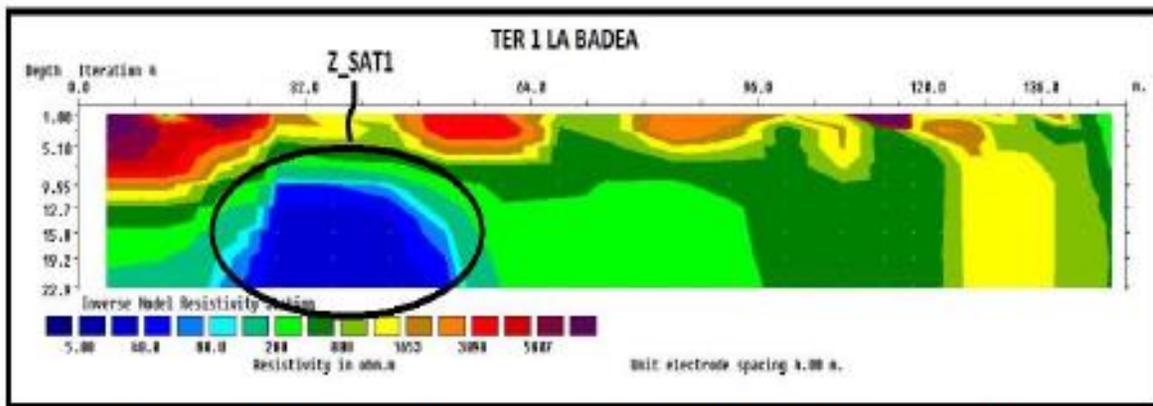


Figura 129. Tomografía geelectrica 2 La Badea interpretada

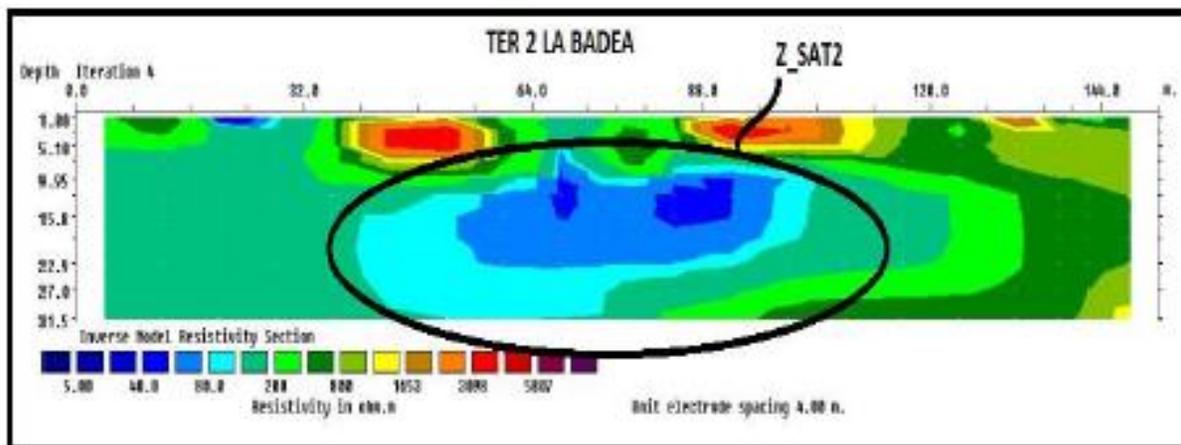


Figura 130. Proyección en superficie de las zonas saturadas interpretadas en las tomografías 1 y 2



Figura 131. Proyección en superficie de la interpolación de las zonas saturadas interpretadas en la tomografía 1 y 2



9.7.1.1 RESULTADOS E INTERPRETACIÓN GRAVIMÉTRICA

El análisis de los mapas de anomalía gravimétrica obtenidos indica, por la presencia de un mínimo gravimétrico, la existencia de un DEPOCENTRO SEDIMENTARIO que abarca buena parte del área metropolitana de la ciudad de Pereira; el espacio de acomodación generado por este rasgo (posiblemente producto de un paleosurco cortical) sería entonces el receptor del material sedimentario depositado durante el proceso de colmatación asociado a la formación del Abanico del Quindío.

El análisis gravimétrico confirma también la existencia (por la presencia de un máximo gravimétrico) de un basamento ígneo correlacionado al Pórfido andesítico de Pereira y al Stock gabrodiorítico de Santa Rosa así como de un basamento ígneo subyacente a las formaciones Barroso y Quebradagrande .

Aunque la cartografía geológica regional indica que el área de estudio se ubica sobre el Abanico del Quindío (Formación Armenia en otras nomenclaturas) de los resultados gravimétricos obtenidos se denota la prolongación en profundidad del zócalo ígneo subyacente a la Formación Barroso. El paralelismo (en la zona de estudio) entre el lineamiento del límite sur del zócalo ígneo señalado y el curso del Rio Otún podría sugerir un origen tectónico para la pseudo-meseta que ocupa este sector de Dosquebradas.

De acuerdo con los mapas de anomalía gravimétrica obtenidos la zona de estudio se ubica directamente sobre el contacto entre el zócalo ígneo que subyace a la formación barroso y los depósitos del abanico del Quindío.

Figura 132. Mapa de anomalía gravimétrica interpretando un depocentro sedimentario

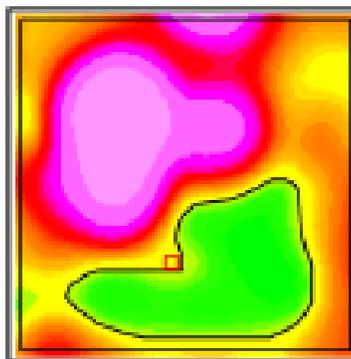


Figura 133. Ubicación en el area metropolitana de Pereira de depocentro sedimentario interpretado a partir de mapa de anomalia gravimetrica



Figura 134. Abanico del Quindío y otros depósitos cuaternarios (MGC, 2015) sobrepuestos a mapa de anomalía gravimétrica.

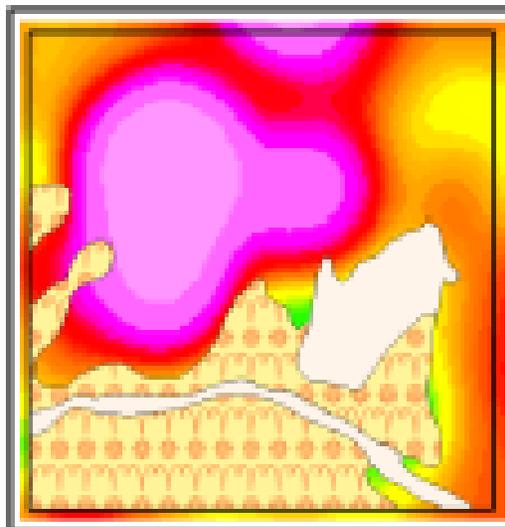


Figura 135. Pórfido andesítico de Pereira (MGC, 2015) sobrepuesto a mapa de anomalía gravimétrica.

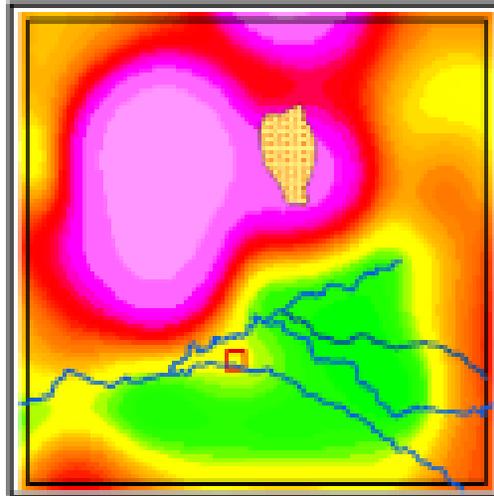


Figura 136. Stock gabrodiorítico de Santa Rosa (MGC, 2015) sobrepuesto a mapa de anomalía gravimétrica.

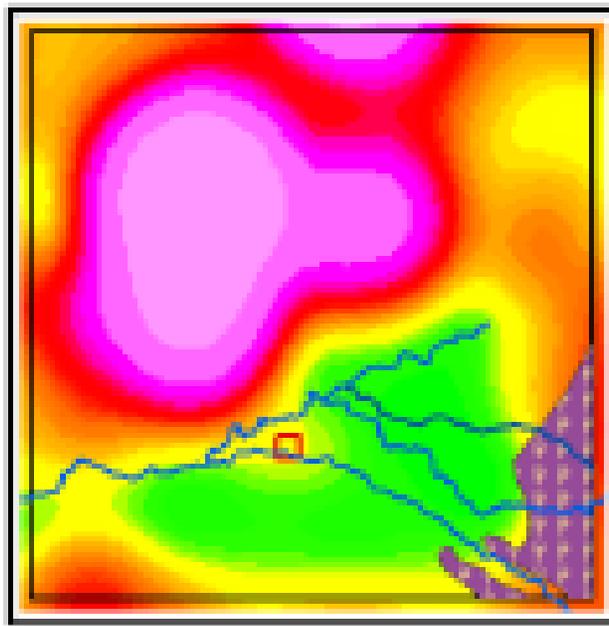


Figura 137. Formación Barroso (MGC, 2015) sobrepuesto a mapa de anomalía gravimétrica.

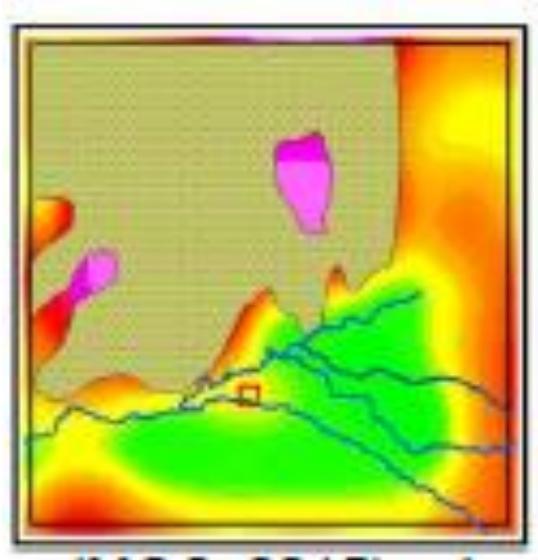
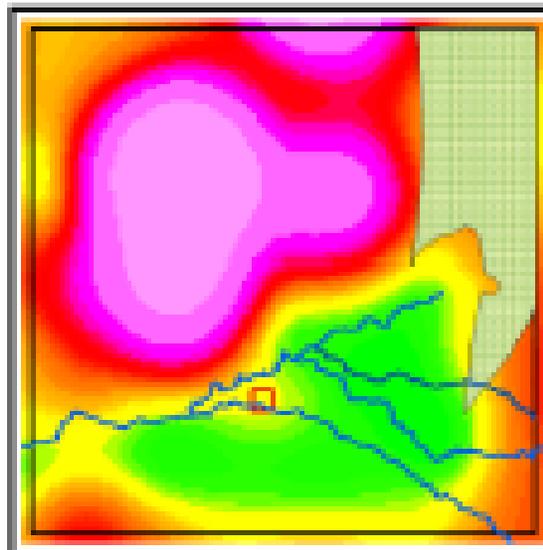


Figura 138. Formación Quebradagrande (MGC, 2015) sobrepuesto a mapa de anomalía gravimétrica.



9.7.1.2 ANÁLISIS HIDROGEOLÓGICO

La interpretación sugerida apunta a que la dinámica hidrogeológica asociada al proceso de inestabilidad del talud analizado está determinada por flujos subterráneos y no solo por escorrentías superficiales.

Esta afirmación se sustenta en el hecho de que la dirección de flujo (SURNORTE) de las escorrentías modeladas (según la metodología de O'Callaghan y Mark {1984}) y documentadas en la cartografía oficial (IGAC, 2009) no corresponde con la dirección del proceso de remoción mientras que la dirección del canal de flujo de agua subterránea (norte-sur) modelado tomográficamente si corresponde. La presencia de un caudal permanente (no estacional) en el manantial sugiere además la existencia de un acuífero local que provee este flujo.

De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio se propone el modelo geológico conceptual expuesto:

Figura 139. Dirección De flujo de las escorrentías superficiales y del canal e flujo de agua subterranea modelado tomograficamente

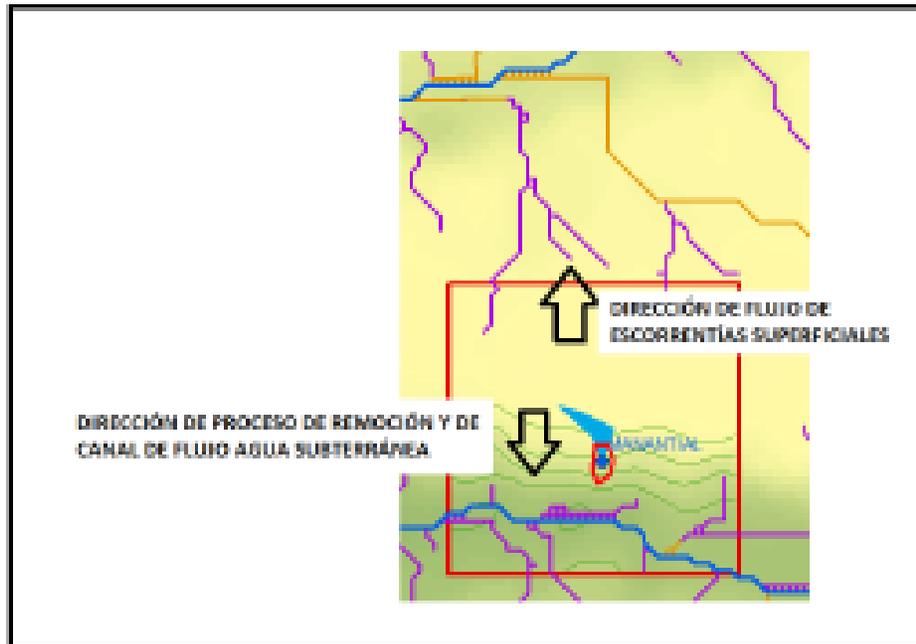
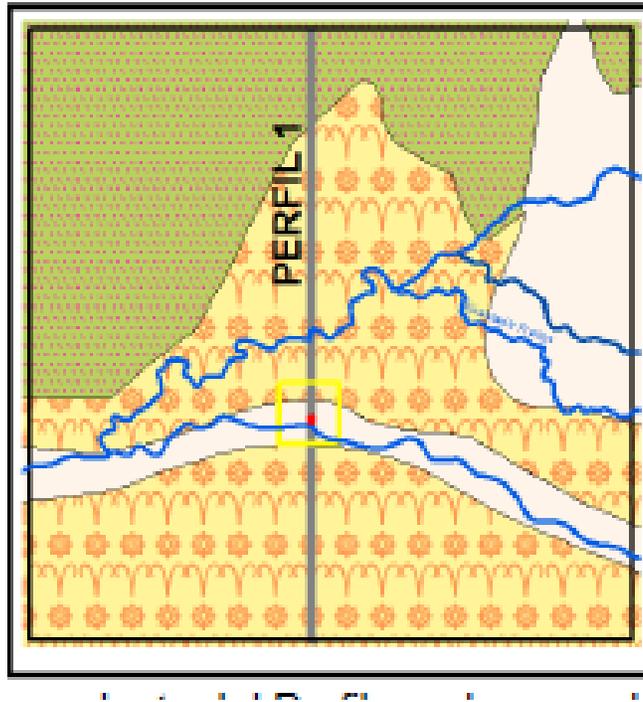


Figura 140. Vista en planta del Perfil usado para el modelo geológico conceptual propuesto.



9.8 PERFIL DEL SUELO

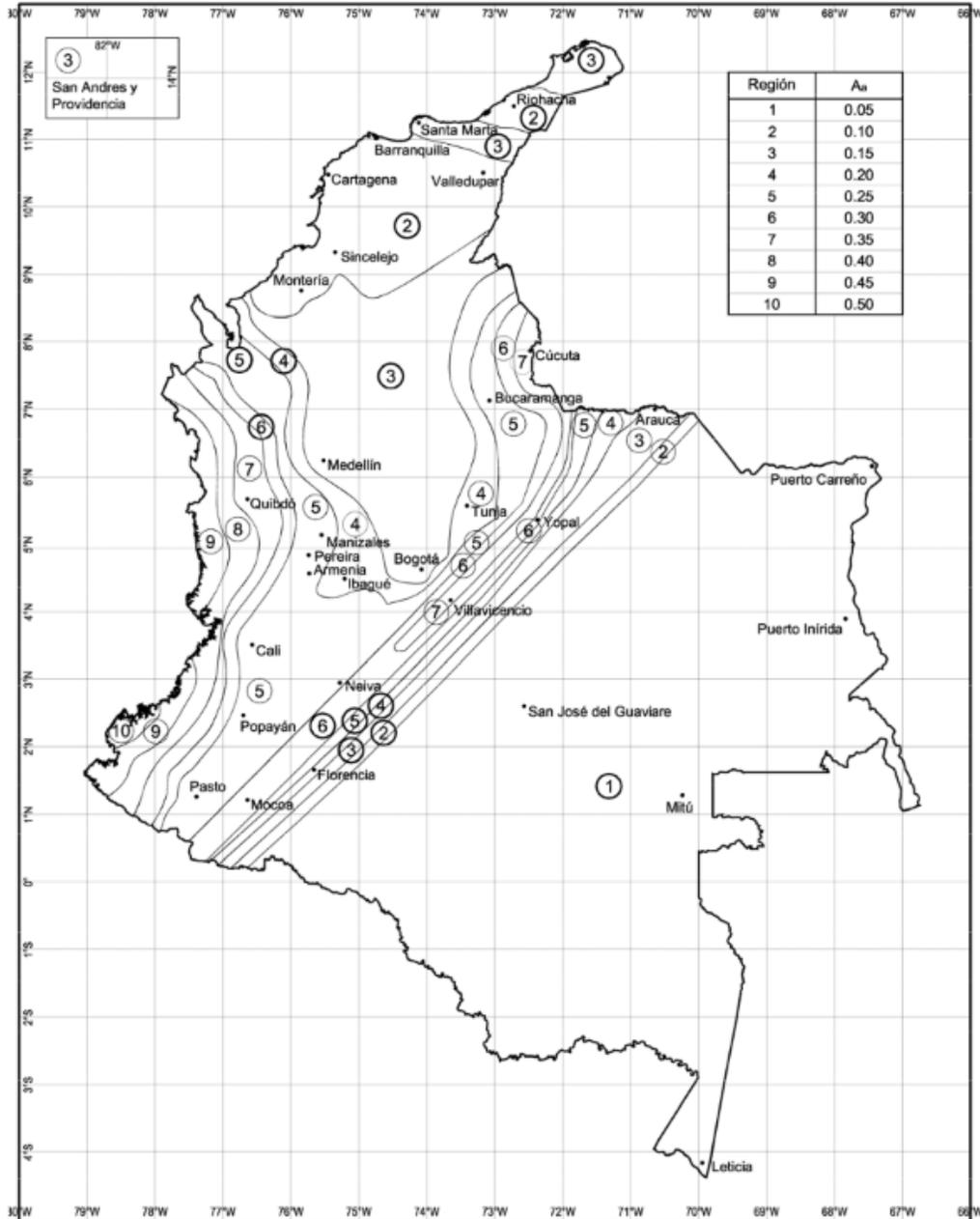
De acuerdo con los efectos locales descritos en el NSR-10 reglamento Colombiano de Construcciones sismo resistente, el perfil del suelo en la zona de estudio, se tiene de acuerdo con la tabla A.2.4-1 y A.2.3-2.

9.8.1 DEFINICIÓN DE LA ZONA DE AMENAZA

Segun la NSR-10 se puede clasificar la zona de la siguiente forma:

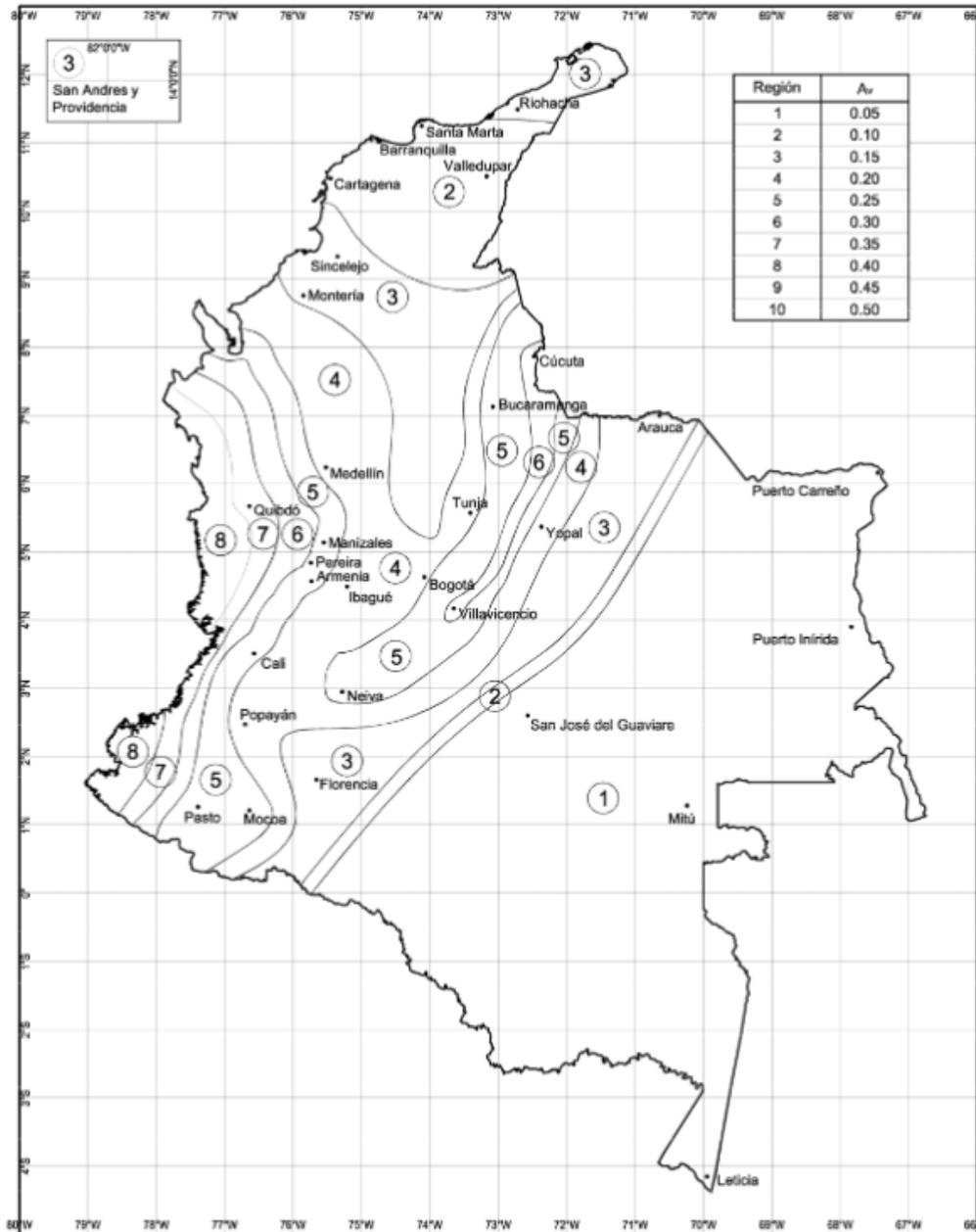
Carrera 21 #64 ^a -33 Edificio Multiplaza oficina 1207 Tel. 8934298 e-mail: guasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas	ESTUDIO DE AMENAZA VULNERABILIDAD Y RIESGO PARA UN TRAMO DEL COLECTOR DE AGUAS RESIDUALES LADERA NORTE MUNICIPIO DOSQUEBRADAS	Página 253
---	---	------------

Figura 141. Mapa de valores de Aa



Fuente: NSR – 10

Figura 142. Mapa de valores de Av



Fuente: NSR – 10

Tabla 15. Valores de A_a y A_v para los municipios de Risaralda según NSR-10.

Departamento de Risaralda						
Municipio	Código Municipio	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica	A_e	A_d
Pereira	66001	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Apía	66045	0.30	0.30	Alta	0.20	0.10
Balboa	66075	0.25	0.30	Alta	0.20	0.10
Belén de Umbría	66088	0.25	0.30	Alta	0.20	0.10
Dos Quebradas	66170	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Guática	66318	0.25	0.30	Alta	0.20	0.10
La Celia	66383	0.30	0.30	Alta	0.20	0.10
La Virginia	66400	0.25	0.30	Alta	0.20	0.10
Marsella	66440	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Mistrató	66456	0.30	0.30	Alta	0.20	0.10
Pueblo Rico	66572	0.30	0.30	Alta	0.20	0.10
Quinchía	66594	0.25	0.30	Alta	0.20	0.10
Santa Rosa de Cabal	66682	0.25	0.25	Alta	0.18	0.09
Santuario	66687	0.30	0.30	Alta	0.20	0.10

Para Dosquebradas y sus municipios aledaños, se tiene una zona de amenaza sísmica **alta**.

$A_a=0.25$

$A_v=0.25$

9.8.2 DEFINICIÓN DEL TIPO PERFIL DEL SUELO

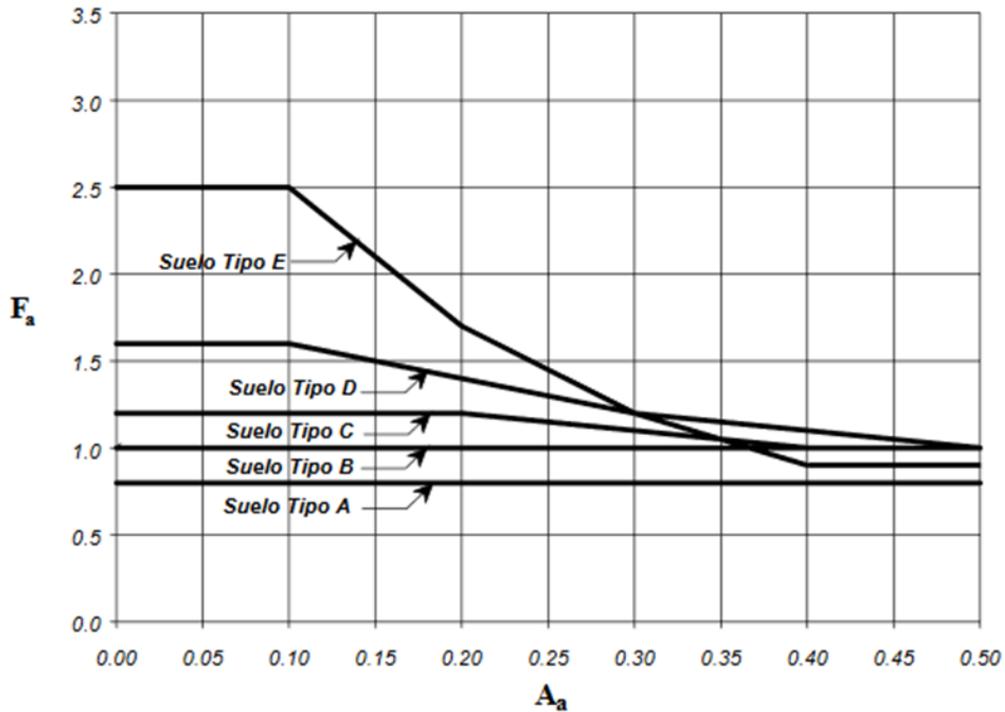
Tabla 16. Clasificación perfil del suelo

**Tabla A.2.4-1
Clasificación de los perfiles de suelo**

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$\bar{v}_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s > $\bar{v}_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	760 m/s > $\bar{v}_s \geq 360$ m/s
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\bar{N} \geq 50$, o $\bar{\sigma}_u \geq 100$ kPa (=1 kgf/cm ²)
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	360 m/s > $\bar{v}_s \geq 180$ m/s
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > \bar{N} \geq 15$, o 100 kPa (=1 kgf/cm ²) > $\bar{\sigma}_u \geq 50$ kPa (=0.5 kgf/cm ²)
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	180 m/s > \bar{v}_s
	perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	IP > 20 w ≥ 40% 50 kPa (=0.50 kgf/cm ²) > $\bar{\sigma}_u$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases: F₁ — Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. F₂ — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). F₃ — Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con Índice de Plasticidad IP > 75) F₄ — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 36 m)	

De la anterior tabla, se puede establecer que los suelos de la zona de estudio se ajustan a un suelo con perfil tipo D, por lo tanto, el Coeficiente de amplificación F_a del suelo para la zona de períodos cortos del espectro es de:

Figura 143. Coeficiente de amplificación F_a

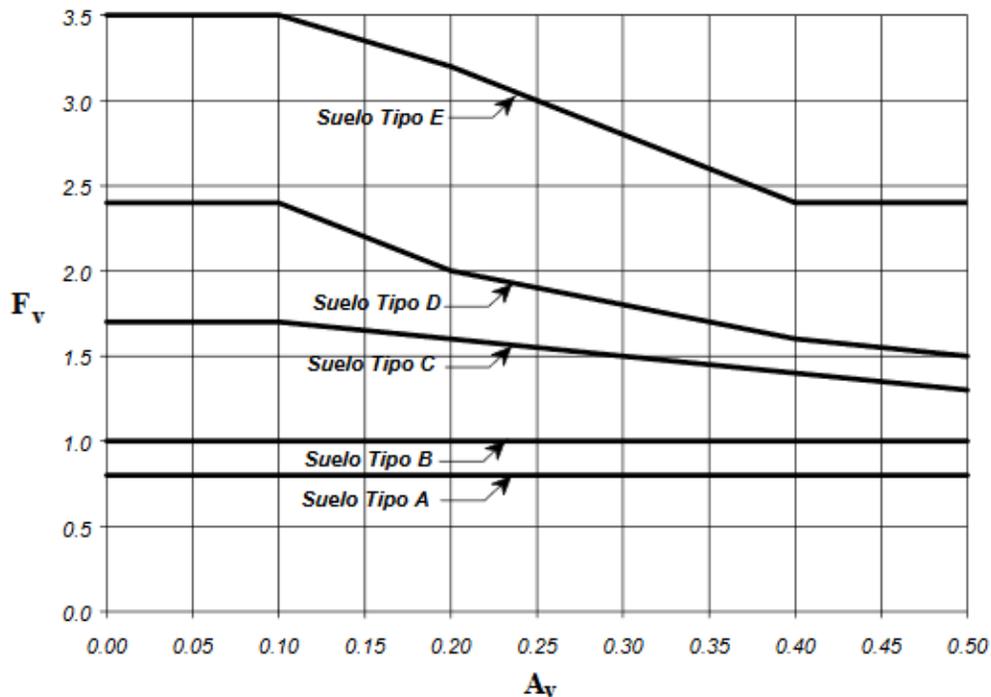


Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_a \leq 0.1$	$A_a = 0.2$	$A_a = 0.3$	$A_a = 0.4$	$A_a \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

Nota: Para el perfil tipo F debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda de acuerdo con A.2.10.

Fuente: NSR – 10

Figura 144. Coeficiente de amplificación F_v



Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_v \leq 0.1$	$A_v = 0.2$	$A_v = 0.3$	$A_v = 0.4$	$A_v \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

Nota: Para el perfil tipo **F** debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda de acuerdo con A.2.10.

Fuente: NSR – 10

Tabla 17. Coeficientes de amplificación Fa y Fv

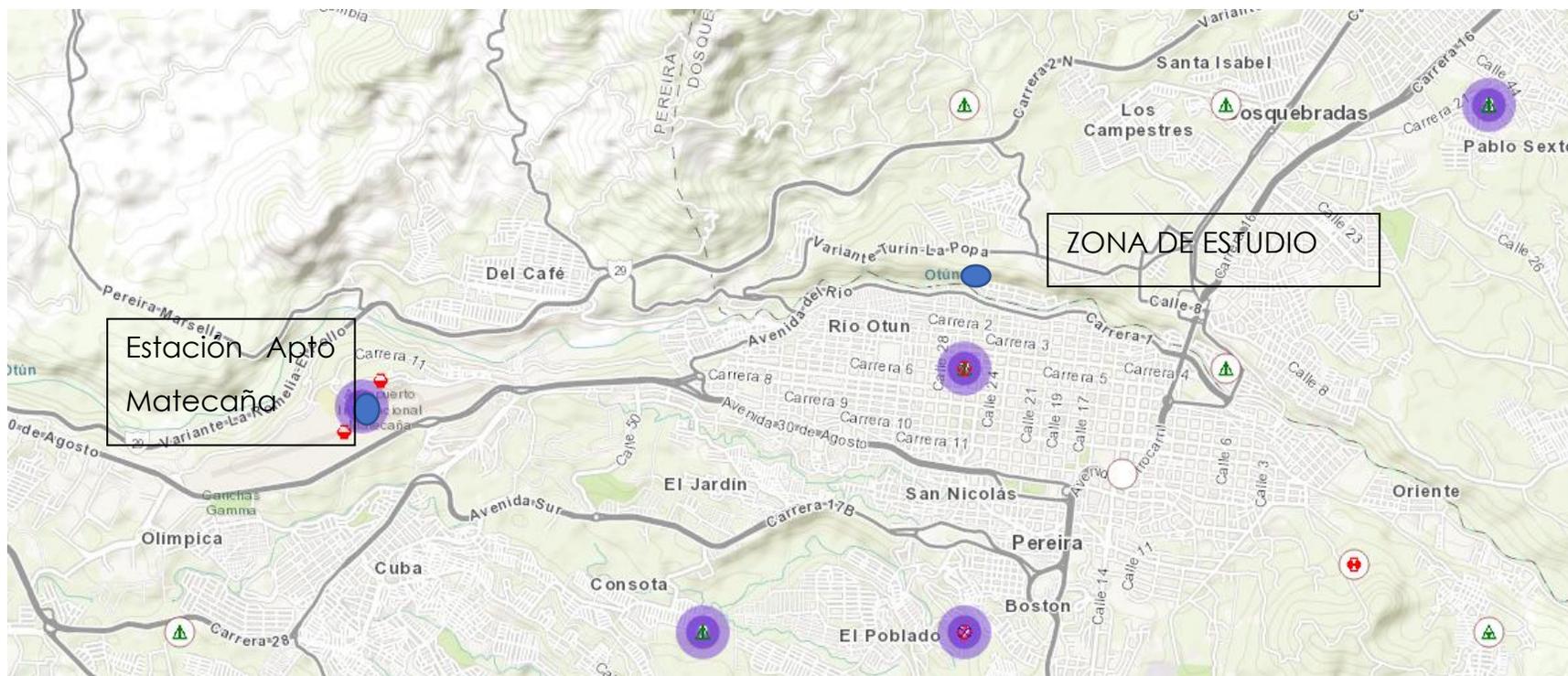
Coeficiente	Profundidad
Perfil del suelo	D
Fa	1.30
Fv	1.90

10 INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA DE LA ZONA

Se recopiló información de las estaciones climatológicas e hidrométricas localizadas en la zona de influencia del proyecto y áreas vecinas con el objeto de lograr una descripción adecuada de las características hidrológicas de las zonas aferentes al sitio.

El estudio se realizó con información secundaria recopilada en el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Cercanas al sitio de estudio, se encuentran varias estaciones meteorológicas o climáticas, La mayoría de las estaciones presentan información incompleta o su información no se encuentra disponible. A continuación, se presenta la localización de las estaciones según el IDEAM

Figura 145. Localizaicon estaciones meteorologica y el sitio de estudio



Fuente: IDEAM.

Tabla 18. Características estación

Estación	Municipio	Departamento	Elevación	latitud	longitud	Clase de estación
Aeropuerto Matecaña	Pereira	Risaralda	1342	4°48'57.1"N	75°44'1.9"W	Sinóptica principal

Fuente: IDEAM

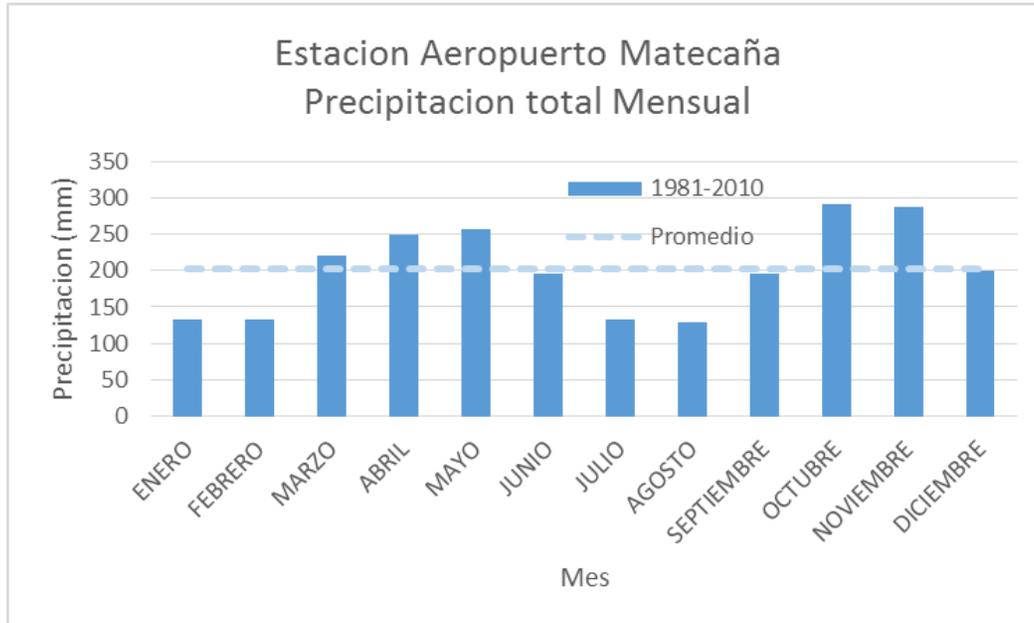
10.1 INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA DE LA ZONA

La estación meteorológica Aeropuerto Matecaña, ubicada en 04° 48' 57.1'' de latitud norte y 075° 44' 01.9'' de longitud oeste y elevación de 1342 metros sobre el nivel del mar. El clima de Pereira se caracteriza por ser templado - húmedo El promedio de lluvia total anual es de 2301 mm. Durante el año las lluvias se distribuyen en dos temporadas secas y dos temporadas lluviosas. Los meses de enero, febrero, julio y agosto, son los más secos del año. Las temporadas de lluvia se extienden desde finales de marzo hasta principios de junio y desde finales de septiembre hasta principios de diciembre. En los meses secos de principios y mediados de año, llueve alrededor de 15 días/mes; en los meses de mayores lluvias puede llover de 22 a 24 días/mes.

10.1.1 PRECIPITACIÓN

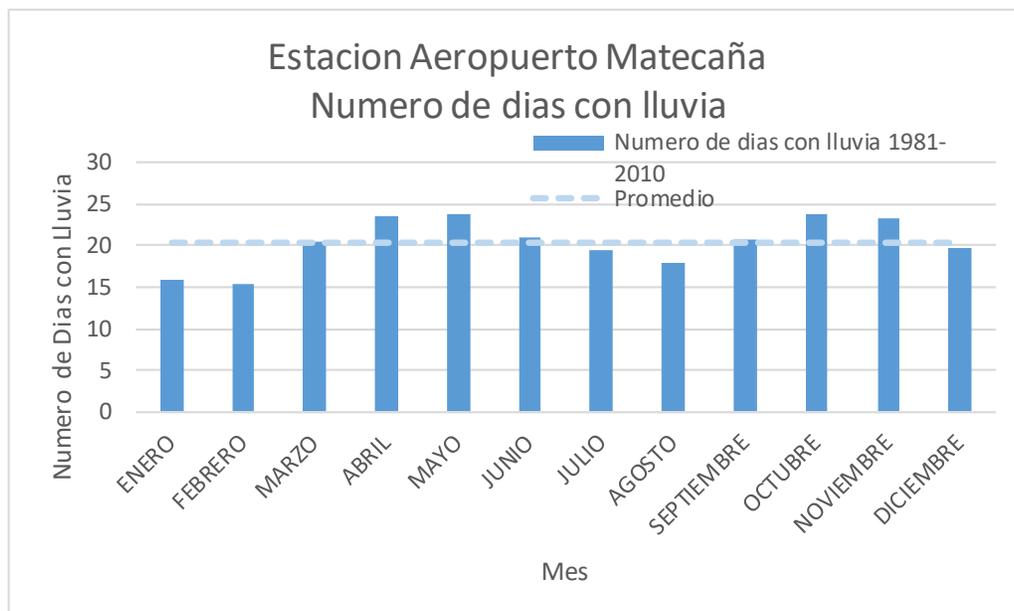
Con el fin de lograr un mejor entendimiento del comportamiento de las lluvias en la zona de estudio, se presentan en los siguientes hietogramas se evidencia que dicho comportamiento es bimodal, con periodos predominantemente húmedos entre los meses de marzo- mayo y entre septiembre - noviembre. La precipitación media mensual multianual se presenta a continuación:

Figura 146. Precipitación total mensual estación aeropuerto matecaña



Fuente: IDEAM

Figura 147. Número de días con lluvia estación aeropuerto matecaña

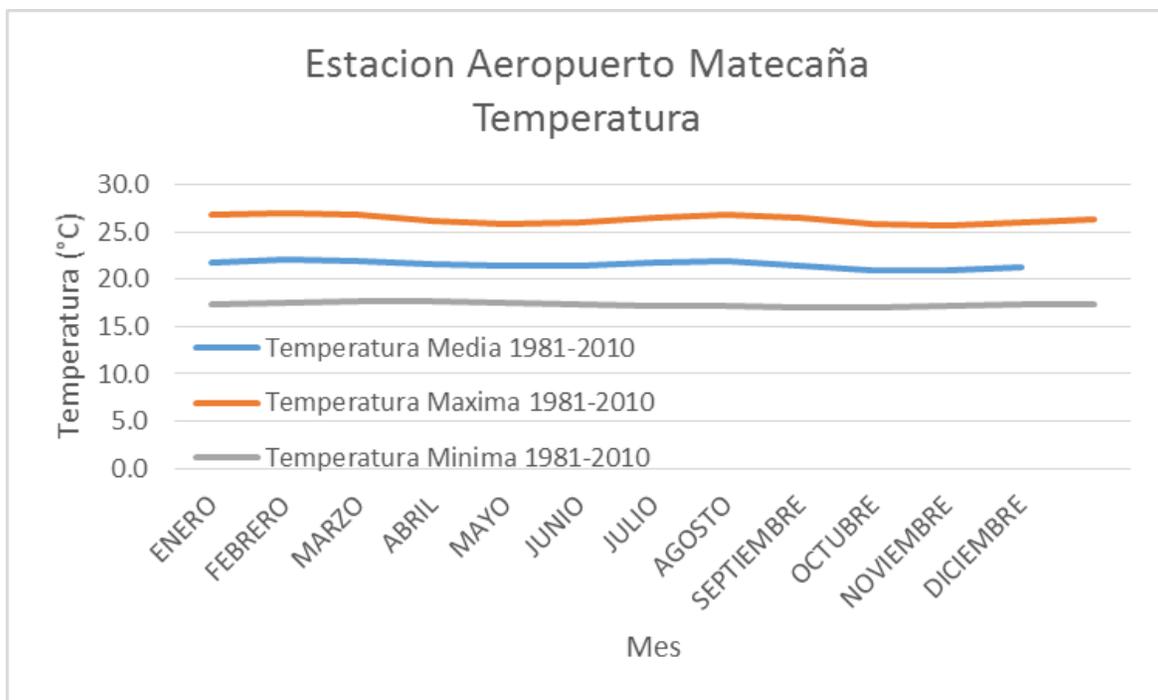


Fuente: IDEAM

10.1.2 TEMPERATURA

La temperatura es un carácter climatológico muy importante, por su influencia en los factores hidrológicos, biológicos y económicos de una región. El comportamiento de este elemento está condicionado por la presión atmosférica. En Pereira la temperatura media anual es de 21.4°C. El clima es templado y húmedo. La temperatura promedio es de 21.4°C. Al medio día la temperatura máxima media oscila entre 26°C y 27°C. En la madrugada la temperatura mínima está entre 16°C y 17°C.

Figura 148. Temperatura estación aeropuerto matecaña



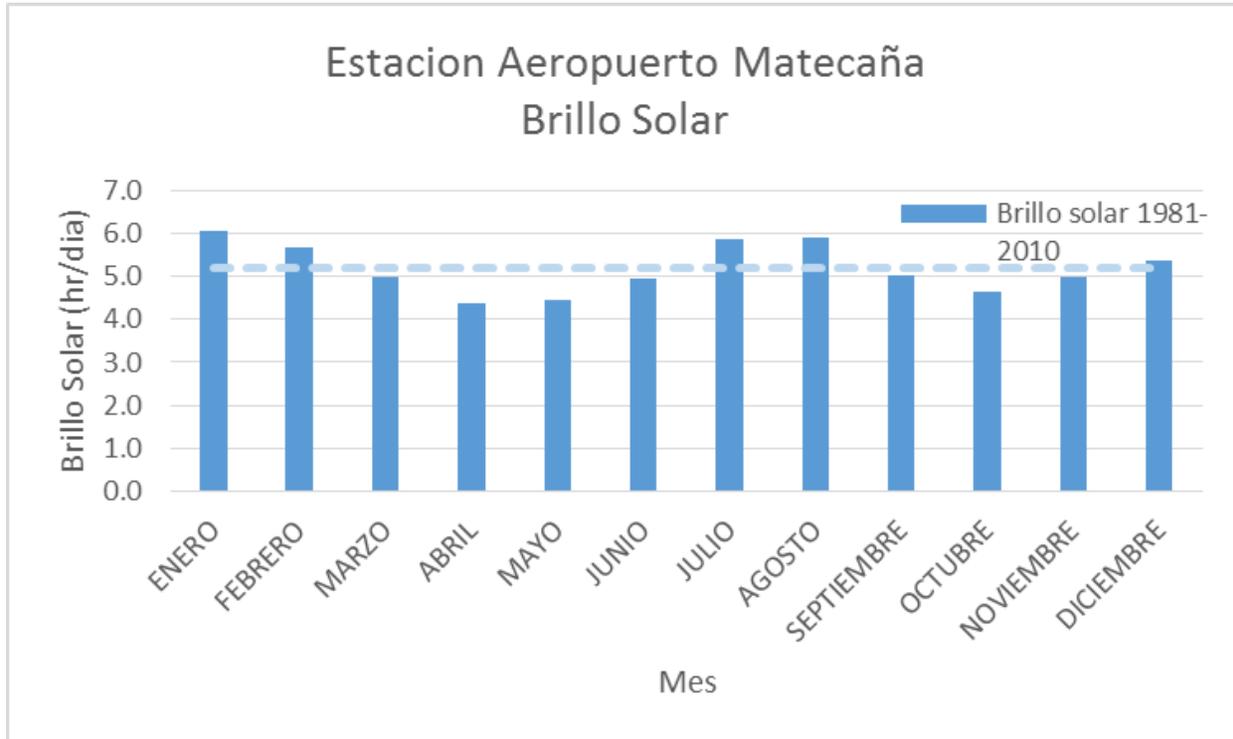
Fuente: IDEAM

10.1.3 BRILLO SOLAR

El brillo solar es un elemento meteorológico importante en diversas actividades humanas y sectores como el agrícola, construcción, forestal, turismo, energía, entre otros, ya que su planificación y proyección de actividades futuras se basan en la cantidad con que pueden disponer de brillo solar durante el día.

La heliofanía en horas o duración del brillo solar representa el periodo total entre el alba y el atardecer durante el cual, la luz solar incide directamente sobre una zona. El total de horas de brillo solar de un lugar es uno de los factores que determinan su clima. Así mismo, el adecuado conocimiento de su régimen permite estimar características cuantitativas de nubosidad y radiación solar. El sol brilla cerca de 4 horas diarias en los meses lluviosos, pero en los meses secos, la insolación llega a 6 horas diarias/día.

Figura 149. Brillo solar estación aeropuerto matecaña

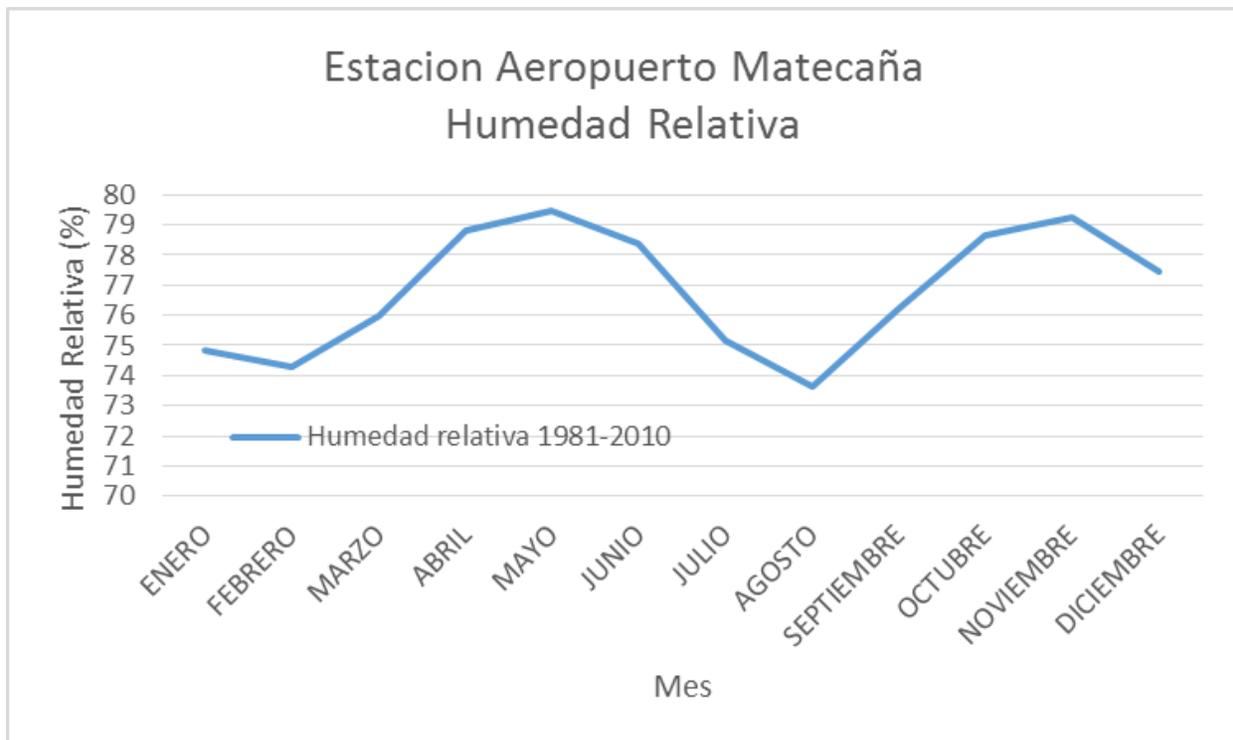


Fuente: IDEAM

10.1.4 HUMEDAD RELATIVA

La medida de la cantidad de agua presente en el aire en forma de vapor, comparado con la cantidad máxima de agua que puede ser mantenida a una temperatura dada se conoce como Humedad Relativa. Este parámetro influye en la evaporación, pues al ser menor la humedad relativa, la evaporación se realizará con mayor facilidad. La humedad relativa del aire oscila durante el año entre 73% y 79 %, siendo levemente superior en la época lluviosa del primer semestre.

Figura 150. Humedad relativa estación aeropuerto matecaña

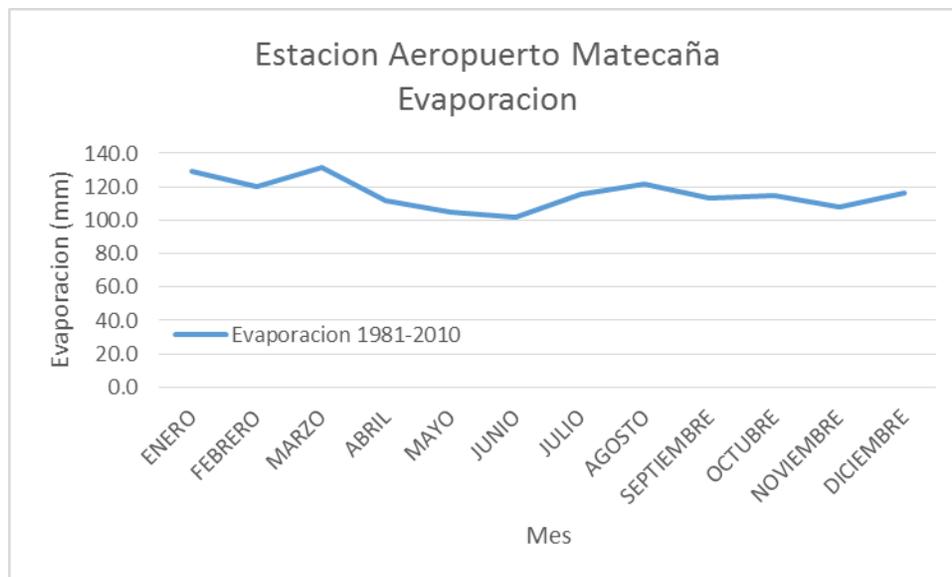


Fuente: IDEAM

10.1.5 EVAPORACIÓN

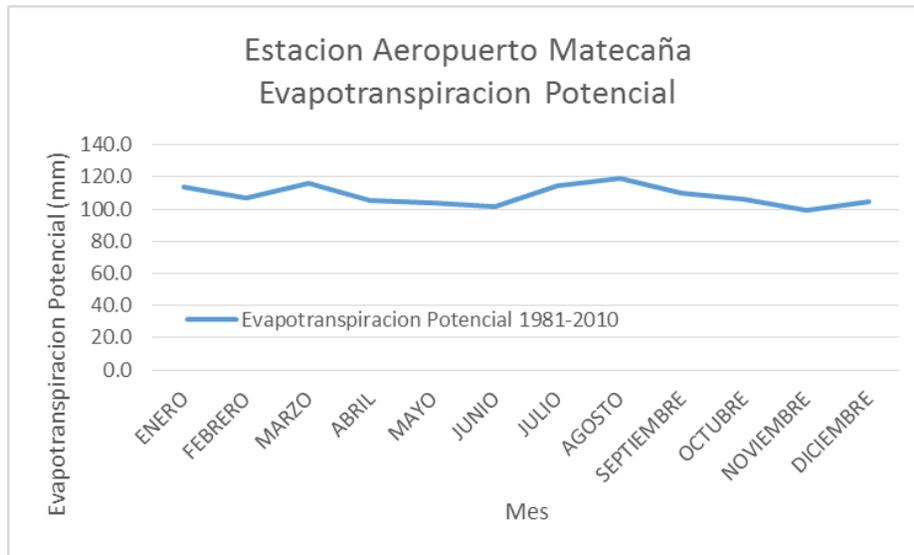
La evaporación es una de las variables hidrológicas importantes al momento de establecer el balance hídrico de una determinada cuenca hidrográfica o parte de ésta. Es un proceso físico que consiste en el pasaje lento y gradual de un estado líquido hacia un estado gaseoso, en función de un aumento natural o artificial de la temperatura, lo que produce influencia en el movimiento de las moléculas, agitándolas. Con la intensificación del desplazamiento, las partículas escapan hacia la atmósfera transformándose, consecuentemente, en vapor.

Figura 151. Evaporación estación aeropuerto matecaña



Fuente: IDEAM

Figura 152. Evapotranspiración potencial estación aeropuerto matecaña



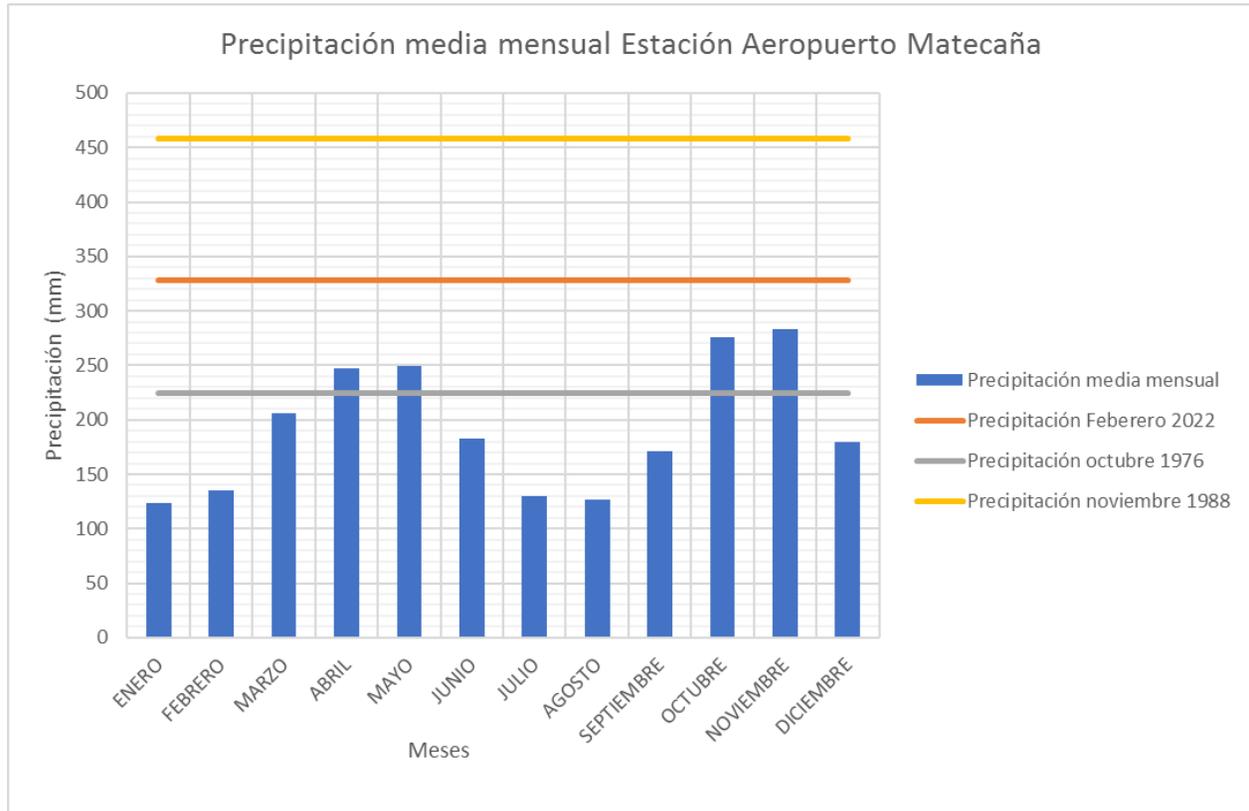
Fuente: IDEAM

10.2 PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL CORRELACIONADA CON AÑOS DONDE SE PRESENTAN DESLIZAMIENTOS

En la siguiente grafica se evidencia la precipitación media mensual desde el año 1947 hasta el año 2022 para la estación Matecaña, en esas graficas se evidencia del comportamiento de las lluvias en la zona de estudio, se presentan en los siguientes hietogramas se evidencia que dicho comportamiento es bimodal, con periodos predominantemente húmedos entre los meses de abril- mayo y entre septiembre - noviembre.

Adicionalmente se evidencia que en los años donde según la prensa mencionada en los capítulos de antecedentes, donde se presentaron deslizamientos en la ladera superaron ampliamente los registros medios mensuales de precipitación.

Figura 153. Precipitación media mensual estación aeropuerto Matecaña vs precipitación en los meses de registros de deslizamientos



Fuente: IDEAM

11 EVALUACIONES HIDRÁULICAS

11.1 EVALUACIÓN TÉCNICA DE FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DEL COLECTOR LADERA NORTE

En este documento se hace un análisis del funcionamiento actual del colector de alcantarillado sanitario, ubicado desde el costado posterior de la cárcel de mujeres, hasta el costado posterior del Colegio Diocesano Monseñor Baltasar Álvarez Restrepo. Este colector este compuesto por 536ml de tuberías de 8" (200mm) en PVC corrugado externo, además se identificaron 19 cámaras de inspección.

Figura 154. Colector existente



Se realizó el levantamiento topográfico del talud de la avenida del río, Sector de La Badea. En este se incluyó el levantamiento de las cámaras de inspección que hacen parte del colector existente, registrando las cotas bateas de cada salida, y la cota de la tapa de cada cámara de inspección.

11.1.1 INSPECCIÓN DE CAMPO

Se hizo una inspección de campo, con el apoyo de funcionarios de Serviciudad. Esta visita sirvió para constatar el actual funcionamiento hidráulico de colector, evidenciar a que capacidad fluye el agua a través de las tuberías, revisar el estado de las cámaras de inspección, mirar indicios de posibles derrames de aguas negras, y posibles conexiones erradas.

El colector inicia con una cámara de inspección en la cual hay una estructura de alivio, que permite hacer la separación de las aguas lluvias y aguas negras, cuando hay precipitaciones. Este colector está ubicado en la esquina sur oriental de la cárcel de mujeres:

Figura 155. Inspeccion de campo



Fuente: Propia.

Las aguas del colector se dirigen hacia el occidente, en el mismo sentido de flujo del río Otún. En algunos se encontró exceso de suciedad de raíces, y tierra, que debe ser removida, para evitar que se afecte la operación del colector.

Figura 156. Inspeccion de campo



Fuente: Propia.

Figura 157. Inspeccion de campo



Fuente: Propia.

Figura 158. Inspeccion de campo



Fuente: Propia.

Figura 159. Inspeccion de campo



Fuente: Propia.

Figura 160. Inspeccion de campo



Fuente: Propia.

Figura 161. Inspeccion de campo



Fuente: Propia.

Figura 162. Inspeccion de campo



Fuente: Propia.

Figura 163. Inspeccion de campo



Fuente: Propia.

En todas las cámaras de inspección, se pudo constatar que el tubo llega y sale de cada una, a una capacidad aparente de entre el 30% al 50% de la capacidad del tubo.

El colector entrega en un cabezote de descarga, que baja con un canal de una fuerte pendiente, hacia el río Otún.:

Figura 164. Canal de descarga



Fuente: Propia.

11.1.2 CONEXIONES ERRADAS Y AGUAS DE ESCORRENTÍA

Durante la visita, se observaron algunas presuntas conexiones erradas de aguas lluvias. Se sugiere, hacer las obras para desconectarlas con el colector de alcantarillado sanitario, y conectarlas al canal de aguas lluvias existente.

Figura 165. Conexiones erradas y aguas de escorrentia



Fuente: Propia.

11.1.3 CHEQUEO FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DEL COLECTOR

Se hace una revisión del funcionamiento hidráulico teórico de colector. Según los datos de cotas de entrada y salida de las tuberías de cada una de las cámaras de inspección, se pudo constatar que las pendientes de casi todos los tramos son menores del 1%:

Tabla 19. Chequeo funcionamiento hidraulico del colector

No.	Tramo		Cota terreno		Cota batea		Cortes		Diametro exterior (mm)	Diametro interior (mm)	Longitud plana (m)	Delta H (m)	Pendiente (m/m)	Pendiente (%)
			origen (m)	extremo (m)	origen (m)	extremo (m)	origen (m)	extremo (m)						
1	CN1	CN2	1411,52	1409,87	1410,27	1408,97	1,25	0,90	200	182	8,00	1,30	0,16250	16,25
2	CN2	CN3	1409,87	1409,82	1408,52	1408,45	1,35	1,37	200	182	35,50	0,07	0,00197	0,20
3	CN3	CN4	1409,82	1409,70	1408,43	1408,34	1,39	1,36	200	182	26,30	0,09	0,00342	0,34
4	CN4	CN5	1409,70	1409,55	1408,32	1408,20	1,38	1,35	200	182	40,80	0,12	0,00294	0,29
5	CN5	CN6	1409,55	1409,45	1408,20	1408,17	1,35	1,28	200	182	58,60	0,03	0,00051	0,05
6	CN6	CN7	1409,45	1409,42	1408,15	1408,12	1,30	1,30	200	182	33,50	0,03	0,00090	0,09
7	CN7	CN8	1409,42	1409,19	1408,10	1408,04	1,32	1,15	200	182	36,00	0,06	0,00167	0,17
8	CN8	CN9	1409,19	1409,42	1408,03	1407,99	1,16	1,43	200	182	36,70	0,04	0,00109	0,11
9	CN9	CN10	1409,42	1409,40	1407,98	1407,92	1,44	1,48	200	182	26,10	0,06	0,00230	0,23
10	CN10	CN11	1409,40	1409,05	1407,90	1407,81	1,50	1,24	200	182	45,34	0,09	0,00199	0,20
11	CN11	CN12	1409,05	1408,93	1407,81	1407,78	1,24	1,15	200	182	32,63	0,03	0,00092	0,09
12	CN12	CN13	1408,93	1408,92	1407,78	1407,74	1,15	1,18	200	182	27,13	0,04	0,00147	0,15
13	CN13	CN14	1408,92	1408,85	1407,74	1407,71	1,18	1,14	200	182	7,23	0,03	0,00415	0,41
14	CN14	CN15	1408,85	1408,80	1407,71	1407,61	1,14	1,19	200	182	36,71	0,10	0,00272	0,27
15	CN15	CN16	1408,80	1409,16	1407,60	1407,55	1,20	1,61	200	182	42,67	0,05	0,00117	0,12
16	CN16	CN17	1409,16	1409,21	1407,54	1407,48	1,62	1,73	200	182	17,27	0,06	0,00347	0,35
17	CN17	CN18	1409,21	1409,37	1407,47	1407,22	1,74	2,15	200	182	14,19	0,25	0,01762	1,76
18	CN18	EXT	1409,37	1405,20	1405,61	1405,20	3,76	0,00	200	182	9,69	0,41	0,04231	4,23

Fuente: Propia.

Esta es una característica propia de un alcantarillado libre de sólidos, en el cual la fuerza tractiva y la capacidad de arrastre de sólidos es mínima. Por lo tanto, las características como velocidad de flujo y fuerza tractiva no cumplirían con los valores mínimos estimados en la normatividad vigente. Es necesario hacer mantenimientos recurrentes para evitar el taponamiento del colector. Por tal motivo se recomienda el diseño de la construcción de un colector que cumpla normativamente.

11.2 CÁLCULO DE CAUDALES POR AGUAS RESIDUALES

De acuerdo con la información obtenida del informe final del documento “Consultoría para la revisión, actualización, ajustes y diseños definitivos a los interceptores de: Dosquebradas e interceptor ladera norte del río Otún - interceptor Víbora e interceptor cañaveral del municipio de Dosquebradas”, se buscó información relacionada con densidad de viviendas y registros de consumos del servicio de acueducto, obteniéndose los siguientes parámetros de diseño:

Figura 166. Zonas de expansion y desarrollo Dosquebradas

ZONAS DE EXPANSION Y DESARROLLO DOSQUEBRADAS		
DATOS	VALOR	UNIDAD
DENSIDAD VIVIENDAS	120	viv/Ha
DENSIDAD HABITANTES	4	Hab/viv
DOTACION NETA	130,00	l/hab-día
PERDIDAS	25,00	%
DOTACION BRUTA	173,00	l/hab-día
DENSIDAD ACTIVIDAD MULTIPLE	240,00	viv/Ha
DENSIDAD CONSOLIDACION USO RESIDENCIAL	180,00	viv/Ha
CONSOLIDACION DE USO RESIDENCIAL	100,00	viv/Ha
CONSUMO USO INDUSTRIAL	1,50	l/s-Ha
CONSUMO EQUIPAMIENTO COLECTIVO	0,50	l/s-Ha
FACTOR DE MAYORACIÓN DE HARMON		3,8

Figura 167. Cálculo de caudales alcantarillado

CALCULO DE CAUDALES - ALCANTARILLADO			
Area (Ha)	Población	Qmd (l/s)	Qmaxh (l/s)
2009,85	25452	51,06	194,03
Caudal Maximo Horario Proyecto		0,10 lts/ seg-ha	

No.	INMUEBLE	Area Aferente (hect)	Q infiltracion (l/s)	Q Erradas (l/s)	Q tramo (l/s)
1	CARCEL DE MUJERES	2,01	0,30	0,20	0,67
2	SEMINARIO CONCILIAR	2,07	0,31	0,21	0,69
3	COLEGIO BALTASAR ÁLVAREZ	0,98	0,15	0,10	0,32
4	COLEGIO DIOCESANO	1,51	0,23	0,15	0,50

11.3 CÁLCULO DE CAUDALES POR AGUAS LLUVIAS

Para la estimación del caudal de diseño puede utilizarse el método racional, el cual calcula el caudal pico de aguas lluvias con base en la intensidad media del evento de precipitación con una duración igual al tiempo de concentración del área de drenaje y un coeficiente de escorrentía. La ecuación del método racional es:

$$Q = 2.78 \cdot C \cdot i \cdot A$$

C = Coeficiente de Escorrentía o Impermeabilidad

I = Intensidad de la lluvia (lt/Ha/seg)

A = Area tributaria (Ha)

De acuerdo con el método racional, el caudal pico ocurre cuando toda el área de drenaje está contribuyendo, y éste es una fracción de la precipitación media bajo las siguientes suposiciones:

- El caudal pico en cualquier punto es una función directa de la intensidad i de la lluvia, durante el tiempo de concentración para ese punto.
- La frecuencia del caudal pico es la misma que la frecuencia media de la precipitación.
- El tiempo de concentración está implícito en la determinación de la intensidad media de la lluvia por la relación anotada en el punto 1 anterior.

11.3.1 PERIODO DE RETORNO

El periodo de retorno de diseño debe determinarse de acuerdo con la importancia de las áreas y con los daños, perjuicios o molestias que las inundaciones periódicas puedan ocasionar a los habitantes, tráfico vehicular, comercio, industria, etc. La selección del periodo de retorno está asociada entonces con las características de protección e importancia del área de estudio y, por lo tanto, el valor adoptado debe estar justificado. En la tabla siguiente se establecen valores de periodos de retorno o grado de protección.

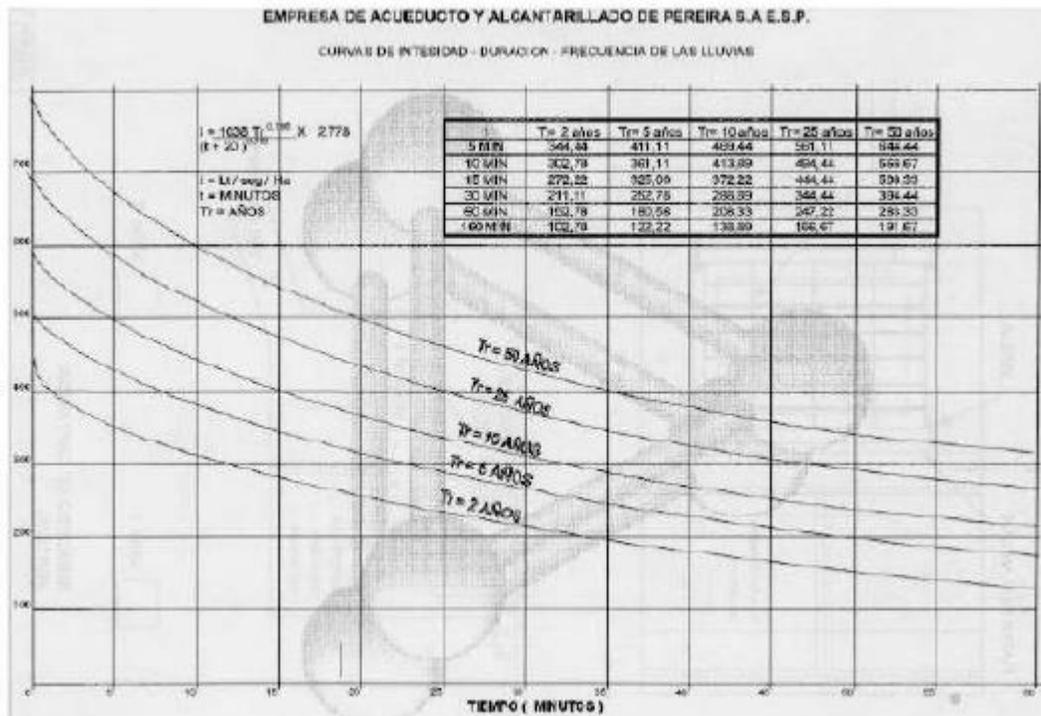
Tabla 20. Periodos de retorno o grado de proteccion

Características del área de drenaje	Mínimo (años)	Aceptable (años)	Recomendado (años)
Tramos iniciales en zonas residenciales con áreas tributarias menores de 2 ha	2	2	3
Tramos iniciales en zonas comerciales o industriales, con áreas tributarias menores de 2 ha	2	3	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias entre 2 y 10 ha	2	3	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias mayores de 10 ha	5	5	10
Canales abiertos en zonas planas y que drenan áreas mayores de 1000 ha *	10	25	25
Canales abiertos en zonas montañosas (alta velocidad) o a media ladera, que drenan áreas mayores a 1000 ha	25	25	50

11.3.2 CURVAS DE INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA

Las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) constituyen la base climatológica para la estimación de los caudales de diseño. Para el municipio de Dosquebradas tenemos las siguientes curvas IDF:

Figura 168. Curvas de intensidad – duracion - frecuencia



11.3.3 COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

El coeficiente de escorrentía, C, es función del tipo de suelo, del grado de permeabilidad de la zona, de la pendiente del terreno y otros factores que determinan la fracción de la precipitación que se convierte en escorrentía.

Tabla 21. Coeficiente de escorrentia o impermeabilidad

Tipo de superficie	C
Cubiertas	0,75-0,95
Pavimentos asfálticos y superficies de concreto	0,70-0,95
Vías adoquinadas	0,70-0,85
Zonas comerciales o industriales	0,60-0,95
Residencial, con casas contiguas, predominio de zonas duras	0,75
Residencial multifamiliar, con bloques contiguos y zonas duras entre éstos	0,60-0,75
Residencial unifamiliar, con casas contiguas y predominio de jardines	0,40-0,60
Residencial, con casas rodeadas de jardines o multifamiliares apreciablemente separados	0,45
Residencial, con predominio de zonas verdes y parques-cementerios	0,30
Laderas sin vegetación	0,60
Laderas con vegetación	0,30
Parques recreacionales	0,20-0,35

11.3.4 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

El tiempo de concentración está compuesto por el tiempo de entrada y el tiempo de recorrido en el colector. El tiempo de entrada corresponde al tiempo requerido para que la escorrentía llegue al sumidero del colector, mientras que el tiempo de recorrido se asocia con el tiempo de viaje o tránsito del agua dentro del colector:

$$T_c = T_e + T_t$$

Tabla 22. Tiempo de concentración y caudales por inmuebles

No.	INMUEBLE	area (ha)	Tiempo de concentración (min)		C	i (Lts/Ha/s)	CAUDAL
			tiempo tramo (min)	tiempo acumulado (min)			Q lluvias (l/s)
1	CARCEL DE MUJERES	2,01	15,00	15,00	0,50	325,00	326,84
2	SEMINARIO CONCILIAR	2,07	15,00	15,00	0,50	325,00	336,94
3	COLEGIO BALTASAR ÁLVAREZ	0,98	15,00	15,00	0,50	325,00	158,97
4	COLEGIO DIOCESANO	1,51	15,00	15,00	0,50	325,00	245,21

11.4 DISEÑO DE COLECTOR DE AGUAS RESIDUALES, COLECTOR LADERA NORTE

Se presenta el diseño del colector de alcantarillado necesario para recolectar las aguas residuales generadas por los predios ubicados desde el costado posterior de la cárcel de mujeres, hasta el costado posterior del Colegio Diocesano Monseñor Baltasar Álvarez Restrepo.

Definido el alcance del proyecto objeto del presente estudio, se procede a la recolección de la información básica requerida para la elaboración de los mismos, establecemos los parámetros y consideraciones de diseño requeridos por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico

11.4.1 NIVEL DE COMPLEJIDAD

La clasificación del proyecto en uno de estos niveles de complejidad que tiene identificado el reglamento técnico depende del número de habitantes en la zona urbana del municipio, su capacidad económica y el grado de exigencia técnica que se requiera para adelantar el proyecto, de acuerdo con lo establecido en la tabla A.3.1. RAS

Carrera 21 #64ª-33 Edificio Multiplaza oficina 1207 Tel. 8934298 e-mail: guasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas	ESTUDIO DE AMENAZA VULNERABILIDAD Y RIESGO PARA UN TRAMO DEL COLECTOR DE AGUAS RESIDUALES LADERA NORTE MUNICIPIO DOSQUEBRADAS	Página 296
--	---	------------

Figura 169. Asignación del nivel de complejidad

TABLA A.3.1
Asignación del nivel de complejidad

Nivel de complejidad	Población en la zona urbana ⁽¹⁾ (habitantes)	Capacidad económica de los usuarios ⁽²⁾
Bajo	< 2500	Baja
Medio	2501 a 12500	Baja
Medio Alto	12501 a 60000	Media
Alto	> 60000	Alta

Notas : (1) Proyectado al periodo de diseño, incluida la población flotante.
(2) Incluye la capacidad económica de población flotante. Debe ser evaluada según metodología del DNP.

Dado que la población de Dosquebradas es mayor de 60.000 habitantes, se asigna el Nivel de Complejidad: ALTO.

11.4.2 DETERMINACIÓN PERIODO DE DISEÑO

El periodo de planeamiento o de diseño, debe fijar las condiciones básicas del proyecto como la capacidad del sistema para atender la demanda futura, la densidad actual y de saturación, la durabilidad de los materiales y equipos empleados, y la calidad de la construcción, operación y mantenimiento.

Figura 170. Periodo de diseño

“ARTÍCULO 69.- PERIODO DE DISEÑO: Para todos los componentes del sistema de acueducto y alcantarillado se adoptan los periodos de diseño máximos establecidos en la Tabla No.10, según el Nivel de Complejidad del sistema:

TABLA NÚMERO 10

Nivel de Complejidad del Sistema	Período de diseño máximo
Bajo, Medio y Medio alto	25 años
Alto	30 años

11.4.3 CALCULO DE CAUDALES

De acuerdo con la información obtenida del informe final del documento “Consultoría para la revisión, actualización, ajustes y diseños definitivos a los interceptores de: Dosquebradas e interceptor ladera norte del río Otún - interceptor Víbora e interceptor cañaverl del municipio de Dosquebradas”, se buscó información relacionada con densidad de viviendas y registros de consumos del servicio de acueducto, obteniéndose los siguientes parámetros de diseño:

Figura 171. Zonas de expansion y desarrollo Dosquebradas

ZONAS DE EXPANSION Y DESARROLLO DOSQUEBRADAS		
DATOS	VALOR	UNIDAD
DENSIDAD VIVIENDAS	120	viv/Ha
DENSIDAD HABITANTES	4	Hab/viv
DOTACION NETA	130,00	l/hab-día
PERDIDAS	25,00	%
DOTACION BRUTA	173,00	l/hab-día
DENSIDAD ACTIVIDAD MULTIPLE	240,00	viv/Ha
DENSIDAD CONSOLIDACION USO RESIDENCIAL	180,00	viv/Ha
CONSOLIDACION DE USO RESIDENCIAL	100,00	viv/Ha
CONSUMO USO INDUSTRIAL	1,50	l/s-Ha
CONSUMO EQUIPAMIENTO COLECTIVO	0,50	l/s-Ha
FACTOR DE MAYORACIÓN DE HARMON		3,8

Figura 172. Calculo de caudales – alcantarillado

CALCULO DE CAUDALES - ALCANTARILLADO			
Area (Ha)	Población	Qmd (l/s)	Qmaxh (l/s)
2009,85	25452	51,06	194,03
Caudal Maximo Horario Proyecto		0,10 lts/ seg-ha	

No.	INMUEBLE	Area Aferente (hect)	Q infiltracion (l/s)	Q Erradas (l/s)	Q tramo (l/s)
1	CARCEL DE MUJERES	2,01	0,30	0,20	0,67
2	SEMINARIO CONCILIAR	2,07	0,31	0,21	0,69
3	COLEGIO BALTASAR ÁLVAREZ	0,98	0,15	0,10	0,32
4	COLEGIO DIOCESANO	1,51	0,23	0,15	0,50

11.4.4 PARÁMETROS HIDRÁULICOS

Dispuesta la geometría del sistema de redes y colectores, para la elaboración del presente diseño de Colectores y Redes secundarias se tuvieron en cuenta los siguientes requerimientos mínimos exigidos por el Reglamento Técnico RAS y sus diferentes resoluciones vigentes

11.4.4.1 DIÁMETRO INTERNO MÍNIMO

“En las redes de recolección y evacuación de aguas residuales, la sección circular es la más usual para los colectores, principalmente en los tramos iniciales. El diámetro interno real mínimo permitido en redes de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales tipo alcantarillado sanitario convencional es 200 mm (8 plg) con el fin de evitar obstrucciones de los conductos por objetos relativamente grande introducidos al sistema” (D.3.2.6 Diámetro interno real mínimo RAS).

Para las acometidas domiciliarias el diámetro interno real mínimo es de 150 mm (6 pulgadas)

11.4.4.2 VELOCIDAD MÍNIMA

“Si las aguas residuales fluyen por un periodo largo a bajas velocidades, los sólidos transportados pueden depositarse dentro de los colectores. En consecuencia, se debe disponer regularmente de una velocidad suficiente para lavar los sólidos depositados durante periodos de caudal bajo. Para lograr esto, se establece la velocidad mínima como criterio de diseño. La velocidad mínima real permitida en el colector es 0,45 m/s.” (D.3.2.7 Velocidad mínima RAS).

11.4.4.3 COMPORTAMIENTO AUTOLIMPIANTE (ESFUERZO CORTANTE MÍNIMO)

“Para las condiciones iniciales de operación de cada tramo, debe verificarse el comportamiento autolimpiante del flujo, para lo cual es necesario utilizar el criterio de esfuerzo cortante medio. Por lo tanto, debe establecerse que el valor del esfuerzo cortante medio sea mayor o igual a 1,5 N/m² (0,15 Kg/m²) para el caudal inicial máximo horario.

En aquellos casos en los cuales, por las condiciones topográficas presentes, no sea posible alcanzar la velocidad mínima, debe verificarse que el esfuerzo cortante sea mayor que 1,2 N/m² (0,12 Kg/m²)” (D.3.2.7 Velocidad mínima RAS).

11.4.4.4 VELOCIDAD MÁXIMA

“Se recomienda que la velocidad máxima real no sobrepase 5 m/s.” (D.3.2.8 Velocidad Máxima RAS).

11.4.4.5 PENDIENTE MÍNIMA

“El valor de la pendiente mínima del colector debe ser aquel que permita tener condiciones de autolimpieza y de control de gases adecuadas de acuerdo con los criterios del literal D.3.2.7.” (D.3.2.9 Pendiente mínima RAS).

11.4.4.6 PENDIENTE MÁXIMA

“El valor de la pendiente máxima admisible es aquel para el cual se tenga una velocidad máxima real, según el literal D.3.2.8.” (D.3.2.10 Pendiente Máxima RAS).

11.4.4.7 PROFUNDIDAD HIDRÁULICA MÁXIMA

“Para permitir aireación adecuada del flujo de aguas residuales, el valor máximo permisible de la profundidad hidráulica para el caudal de diseño en un colector debe estar entre 70 y 85% del diámetro real de éste.” (D.3.2.11 Profundidad Hidráulica máxima RAS).

11.4.4.8 PROFUNDIDAD MÍNIMA A LA COTA CLAVE

“Los colectores de redes de recolección y evacuación de aguas residuales deben estar a una profundidad adecuada para permitir el drenaje por gravedad de las descargas domiciliarias sin sótano, aceptando una pendiente mínima de éstas de 2%. Además, el cubrimiento mínimo del colector debe evitar la ruptura de éste, ocasionada por cargas vivas que pueda experimentar. Los valores mínimos permisibles de cubrimiento de los colectores se definen en la tabla D.3.11.

Carrera 21 #64ª-33 Edificio Multiplaza oficina 1207 Tel. 8934298 e-mail: quasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas	ESTUDIO DE AMENAZA VULNERABILIDAD Y RIESGO PARA UN TRAMO DEL COLECTOR DE AGUAS RESIDUALES LADERA NORTE MUNICIPIO DOSQUEBRADAS	Página 302
--	---	------------

Para casos especiales como localidades con evidentes problemas de drenaje los valores anteriores pueden reducirse haciendo las previsiones estructurales y geotécnicas correspondientes. Las conexiones domiciliarias y los colectores de aguas residuales deben localizarse por debajo de las tuberías de acueducto.

Tabla 23. Profundidad mínima de colectores

Servidumbre Profundidad a la clave del colector	(m)
Vías peatonales o zonas verdes	0,75
Vías vehiculares	0,75

El tipo de cimentación y relleno debe estar de acuerdo con lo estipulado en el Título G." (D.3.2.12 Profundidad Mínima a la cota clave RAS).

11.4.4.9 RESUMEN PARÁMETROS DE DISEÑO

Parametro/Consideracion	Valor/Concepto
Nivel de complejidad del sistema	Alto
periodo de diseño	30 años
Diámetro Interno Mínimo	200 mm/8"
Comportamiento Autolimpiante	<i>Verificarse que el esfuerzo cortante sea mayor que 1,2 N/m² (0,12 Kg/m²)"</i>
Velocidad Mínima	<i>0,45 m/s."</i>
Velocidad Máxima	<i>No sobrepase 5 m/s</i>
Pendiente Mínima	<i>Aquel que permita tener condiciones de autolimpieza</i>

Parametro/Consideracion	Valor/Concepto
Pendiente Máxima	Aquel para el cual se tenga una velocidad máxima real
Profundidad Hidráulica máxima	Entre 70 y 85% del diámetro real de éste
Profundidad Mínima a la cota clave	Vías peatonales o zonas verdes: 0.75m Vías vehiculares:0,75m
Caudal de Diseño Tramo	Mayor o igual que 1.5 l/seg

11.4.5 CUADRO DE CÁLCULO:

No.	Tramo		Area Aferente (hect)	Q infiltracion (l/s)	Q Erradas (l/s)	Q tramo (l/s)	Q acumulado (l/s)	Cota terreno		Cota batea		Cortes		Diametro exterior (mm)	Diametro interior (mm)	Longitud plana (m)
								origen (m)	extremo (m)	origen (m)	extremo (m)	origen (m)	extremo (m)			
1	CN1	CN2	111,66	16,75	11,17	37,08	37,08	1411,52	1410,00	1408,31	1408,21	3,21	1,79	355	320	18,25
2	CN2	CN3	111,66	16,75	11,17	37,08	37,08	1410,00	1409,82	1408,21	1408,07	1,79	1,75	355	320	26,70
3	CN3	CN4	111,66	16,75	11,17	37,08	37,08	1409,82	1409,70	1408,07	1407,93	1,75	1,77	355	320	28,03
4	CN4	CN5	111,66	16,75	11,17	37,08	37,08	1409,70	1409,55	1407,93	1407,72	1,77	1,83	355	320	39,50
5	CN5	CN6	111,66	16,75	11,17	37,08	37,08	1409,55	1409,45	1407,72	1407,42	1,83	2,03	355	320	57,16
6	CN6	CN7	111,66	16,75	11,17	37,08	37,08	1409,45	1409,42	1407,42	1407,25	2,03	2,17	355	320	32,76
7	CN7	CN8	111,66	16,75	11,17	37,08	37,08	1409,42	1409,19	1407,25	1407,05	2,17	2,14	355	320	38,36
8	CN8	CN9	111,66	16,75	11,17	37,08	37,08	1409,19	1409,42	1407,05	1406,88	2,14	2,54	355	320	32,90
9	CN9	CN10	111,66	16,75	11,17	37,08	37,08	1409,42	1409,05	1406,88	1406,49	2,54	2,56	355	320	73,78
10	CN10	CN11	111,66	16,75	11,17	37,08	37,08	1409,05	1408,93	1406,49	1406,31	2,56	2,62	355	320	34,47
11	CN11	CN12	111,66	16,75	11,17	37,08	37,08	1408,93	1408,85	1406,31	1406,16	2,62	2,69	355	320	29,95
12	CN12	CN13	111,66	16,75	11,17	37,08	37,08	1408,85	1408,80	1406,16	1405,94	2,69	2,86	355	320	41,40
13	CN13	CN14	111,66	16,75	11,17	37,08	37,08	1408,80	1409,21	1405,94	1405,65	2,86	3,56	355	320	55,78
14	CN14	CN15	111,66	16,75	11,17	37,08	37,08	1409,21	1409,37	1405,65	1405,56	3,56	3,81	355	320	16,36
18	CN15	EXT	111,66	16,75	11,17	37,08	37,08	1409,37	1407,00	1405,56	1405,20	3,81	1,80	355	320	11,73

No.	Tramo		Delta H (m)	Pendiente (m/m)	Pendiente (%)	Longitud real (m)	V tubo lleno	Q tubo lleno	q/Q	v/V	V real (m/s)	h/H	ANGULO (grd)	Rh/D	Vr (m/s)	Radio hidrau (m)	Fuerza tractiva (kg/m ²)	CHEQUEOS		
																		FUERZA TRACTIVA	CAPACIDAD HIDRAULICA	VELOCIDAD MINIMA
1	CN1	CN2	0,10	0,00523	0,52	18,25	1,49	120,0	0,31	0,75	1,12	0,43	2,86	0,23	1,12	0,07	0,38	OK	OK	OK
2	CN2	CN3	0,14	0,00523	0,52	26,70	1,49	120,0	0,31	0,75	1,12	0,43	2,86	0,23	1,12	0,07	0,38	OK	OK	OK
3	CN3	CN4	0,15	0,00523	0,52	28,03	1,49	120,0	0,31	0,75	1,12	0,43	2,86	0,23	1,12	0,07	0,38	OK	OK	OK
4	CN4	CN5	0,21	0,00523	0,52	39,50	1,49	120,0	0,31	0,75	1,12	0,43	2,86	0,23	1,12	0,07	0,38	OK	OK	OK
5	CN5	CN6	0,30	0,00523	0,52	57,16	1,49	120,0	0,31	0,75	1,12	0,43	2,86	0,23	1,12	0,07	0,38	OK	OK	OK
6	CN6	CN7	0,17	0,00523	0,52	32,76	1,49	120,0	0,31	0,75	1,12	0,43	2,86	0,23	1,12	0,07	0,38	OK	OK	OK
7	CN7	CN8	0,20	0,00523	0,52	38,36	1,49	120,0	0,31	0,75	1,12	0,43	2,86	0,23	1,12	0,07	0,38	OK	OK	OK
8	CN8	CN9	0,17	0,00523	0,52	32,90	1,49	120,0	0,31	0,75	1,12	0,43	2,86	0,23	1,12	0,07	0,38	OK	OK	OK
9	CN9	CN10	0,39	0,00523	0,52	73,78	1,49	120,0	0,31	0,75	1,12	0,43	2,86	0,23	1,12	0,07	0,38	OK	OK	OK
10	CN10	CN11	0,18	0,00523	0,52	34,47	1,49	120,0	0,31	0,75	1,12	0,43	2,86	0,23	1,12	0,07	0,38	OK	OK	OK
11	CN11	CN12	0,16	0,00523	0,52	29,95	1,49	120,0	0,31	0,75	1,12	0,43	2,86	0,23	1,12	0,07	0,38	OK	OK	OK
12	CN12	CN13	0,22	0,00523	0,52	41,40	1,49	120,0	0,31	0,75	1,12	0,43	2,86	0,23	1,12	0,07	0,38	OK	OK	OK
13	CN13	CN14	0,29	0,00523	0,52	55,78	1,49	120,0	0,31	0,75	1,12	0,43	2,86	0,23	1,12	0,07	0,38	OK	OK	OK
14	CN14	CN15	0,09	0,00523	0,52	16,36	1,49	120,0	0,31	0,75	1,12	0,43	2,86	0,23	1,12	0,07	0,38	OK	OK	OK
18	CN15	EXT	0,36	0,03081	3,08	11,74	3,62	291,2	0,13	0,57	2,07	0,28	2,24	0,16	2,07	0,05	1,60	OK	OK	OK

11.5 DISEÑOS HIDRÁULICOS CANALES BAJANTES

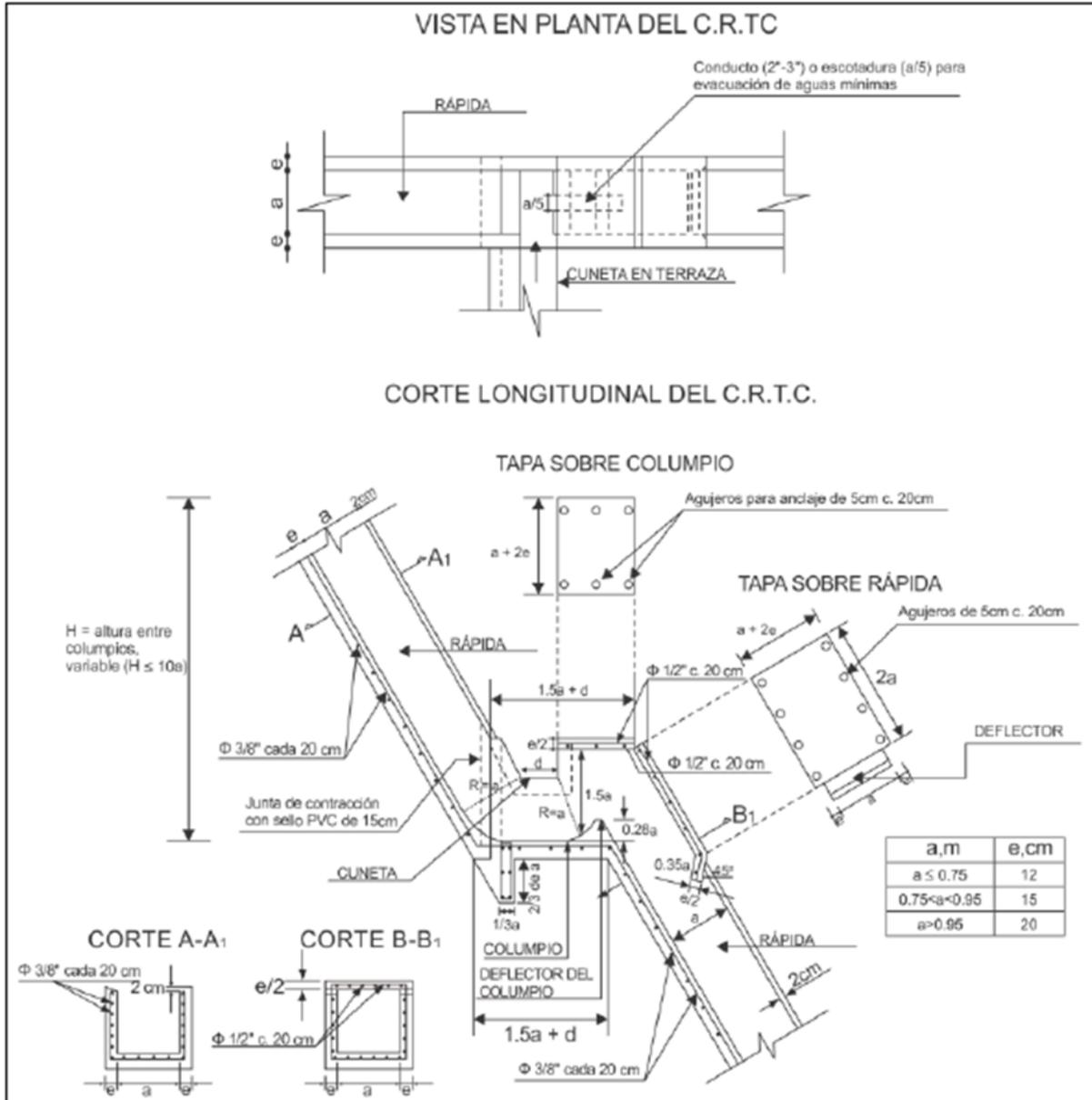
11.5.1 DISEÑO HIDRÁULICO CANAL DE RÁPIDAS CON TAPA Y COLUMPIO

Los criterios de diseño de esta estructura son los siguientes:

- La sección debe diseñarse para el tramo de mayor pendiente que presente el perfil longitudinal del canal, y esa misma servirá para pendientes menores.
- La superficie del fondo y paredes debe ser lisa (p.e. concreto pulido) facilitando el mantenimiento.
- La velocidad de entrada al canal no debe ser mayor que la que tendría dentro de la primera rápida.
- Se deben colocar filtros paralelos para evitar empujes por subpresión, cuyo tipo y cantidad se definen para cada caso según las características del suelo.
- Si el canal se desarrolla a lo largo de un talud estabilizado con terrazas, se hacen coincidir los columpios con esas terrazas, en las cuales la tapa horizontal del columpio sirve de puente para el tránsito de personas sobre ellas.
- Se deben conectar los colectores laterales (zanjas colectoras interiores en las terrazas) en la parte alta interior de los escalones.

- Las condiciones de entrega en el extremo inferior del canal pueden ser la de un último columpio, o la de una pequeña estructura de disipación que remata en aletas y enrocado.
- En el extremo de cada columpio, antes del inicio de la siguiente rápida, puede construirse una ranura hasta la profundidad del fondo del columpio, que evite que agua se estanque en él.

Figura 173. Canal de rápidas con tapa y columpio



La metodología de diseño es la siguiente:

Obtener el valor del ancho del canal (a), a partir del cual se definen las restantes dimensiones de la estructura. Como se observa, este valor de “ a ” es el mismo calculado para el CPD alterno:

$$a = 0.905 * Q^{0.4}$$

Donde:

a : Ancho del CRTC (m).

Q : Caudal de diseño (m³/seg).

Obtener el valor de V_{rap} , velocidad máxima en cualquier rápida del CRTC (antes de entrar al columpio) y de V_{prom} , velocidad promedio a lo largo del CRTC, en función del caudal de diseño:

$$V_{rap} = 9.457 * Q^{0.2}$$

$$V_{prom} = 7.230 * Q^{0.2}$$

Siendo:

V_{rap} : Velocidad máxima en la rápida del CRTC (antes de entrar al columpio), en metros por segundo (m/s).

V_{prom} : Velocidad promedio a lo largo de la rápida del CRTC, en metros por segundo (m/s).

Por lo anterior se realiza el diseño del canal:

Tabla 24. Cálculo caudal demandado para el CRTC

Q_{diseño}	1.07	m ³ /s
---------------------------	------	-------------------

Tabla 25. Resultados CRTC

a	0.93	m
V_{rap}	9.58	m/seg
V_{rap}	7.33	m/seg

De acuerdo con lo anterior vemos que el caudal demandado para la estructura hidráulica canal de rápidas con tapa y columpio es de 1.07 m³/s, al resolver las ecuaciones propuestas en el Manual de drenaje del INVIAS y teniendo en cuenta el caudal demandado, se obtiene un ancho de canal de 0.93 metros, no obstante, debido a temas constructivos y de mantenimiento del mismo, se adoptará un canal con ancho de 1.00 metros.

Adicionalmente se debe comparar la V_{rap} con la velocidad máxima permisible para el canal según el material, en este caso no se deberá superar una velocidad de 15 m/s, por lo tanto, el canal diseñado cumple.

11.5.2 DISEÑO HIDRÁULICO CANAL ESCALONADO

El cálculo de la capacidad hidráulica del canal escalonado se hace mediante la ecuación de Chezy, por medio de aproximaciones sucesivas con el fin de encontrar la altura de la lámina de agua que satisfaga el caudal de diseño, de la siguiente manera

$$h = \frac{Q}{18 \cdot \log \left[\frac{122 \cdot B \cdot h}{\alpha \cdot (B + 2h)} \right] \cdot \sqrt{\frac{B \cdot h \cdot s B + 2h \cdot B}{\alpha \cdot (B + 2h)}}} =$$

Se diseña con un caudal de 1.07 m³/seg, esto con el fin de dar concordancia con el caudal con el que se diseñó el canal de rápidas con tapa anterior.

Si se asume una altura de lámina de agua de 0.165 m. y una base de 1.00m, el caudal de la estructura es de 1.0 m³/seg.

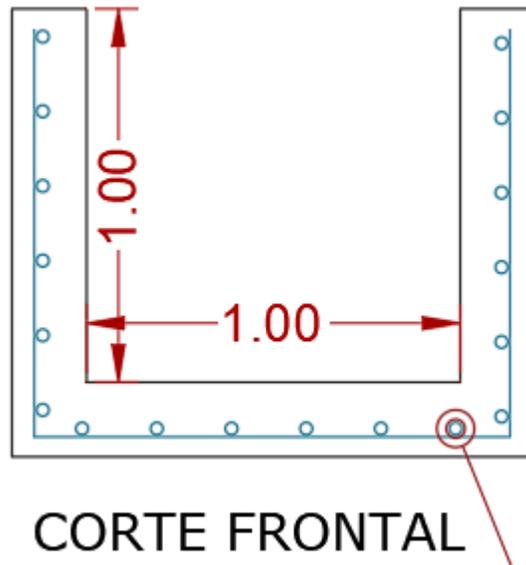
h (lamina de agua, m)	0.165
Q	1.070
B	1.0
S	0.5

Cálculo de las dimensiones del canal

tomamos h =		1.00	m
V		1.1	m/seg
α		0.30	
altura del canal		1.00	m

Como la velocidad obtenida no excede la velocidad máxima permitida (6,1 m/s), se dice que el canal cumple por velocidad, y por tanto se toma una sección mínima de 1.00 x 1.00.

Figura 174. Esquema canal propuesto



12 ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD POR DESLIZAMIENTO METODOLOGÍA DE AMBALAGAN (1992)

La calificación de la susceptibilidad se establece a partir de analizar qué tan proclive es un terreno de sufrir deslizamientos, con base en la combinación de características intrínsecas al medio, definidas como indicadores de susceptibilidad, con factores detonantes entendidos como los fenómenos que pueden activar dichos fenómenos de remoción en masa. La metodología utilizada se fundamenta en la utilización de sistemas de información geográfica que permiten caracterizar las áreas objeto de estudio para cada una de las diferentes variables, y posteriormente sobreponer su información para brindar un resultado final que refleja la susceptibilidad del terreno. Para el desarrollo de la metodología deben tenerse en cuenta las siguientes actividades:

- De acuerdo con las características ambientales del área de estudio en primer lugar deben definirse los indicadores de susceptibilidad a los deslizamientos que serán utilizados en la zonificación de la susceptibilidad. Entre estos indicadores se encuentran: Las propiedades geológicas, geomorfológicas y geotécnicas del área, el uso y la cobertura actual del suelo y la pendiente del terreno. Es vital para la correcta interpretación de la metodología, desarrollar mapas temáticos que contengan la información correspondiente a dichos indicadores.
- Luego de haber realizado cada uno de los mapas, y efectuar para cada uno el análisis correspondiente de las particularidades que presente, debe ejecutarse una superposición (OVERLAY) de los mapas con la ayuda de un Sistema de Información Geográfica (SIG)

Carrera 21 #64 ^a -33 Edificio Multiplaza oficina 1207 Tel. 8934298 e-mail: quasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas	ESTUDIO DE AMENAZA VULNERABILIDAD Y RIESGO PARA UN TRAMO DEL COLECTOR DE AGUAS RESIDUALES LADERA NORTE MUNICIPIO DOSQUEBRADAS	Página 314
---	---	------------

- Para el cálculo de la susceptibilidad se tiene en cuenta el producto de la suma de los indicadores de susceptibilidad por los factores detonantes:

$$Sa = (S_{cg} + S_{pt} + S_{uc}) * (Fd_s * Fd_{ev} * Fd_p)$$

El resultado de la aplicación de la formula en comento, da como resultado el mapa de susceptibilidades, el cual para una mejor interpretación y manejo se ilustra con colores temáticos que responden a la siguiente clasificación por rangos:

Tabla 26. Rangos de susceptibilidad por deslizamiento.

GRADO	TIPO	CALIFICACIÓN
I	Muy baja	<2.0
II	Baja	2.0 – 4.0
III	Media	4.0 – 6.0
IV	Alta	6.0 – 8.0
V	Muy alta	>8.0

12.1 CALIFICACIÓN DE INDICADORES DE SUSCEPTIBILIDAD

La calificación de los indicadores de susceptibilidad se realiza dividiendo cada uno de los indicadores en unidades de susceptibilidad. Para esto deben tenerse en cuenta todas las investigaciones desarrolladas en la línea base del estudio. A continuación, se presentan los criterios utilizados para determinar el valor de los indicadores de susceptibilidad.

12.1.1 SUSCEPTIBILIDAD POR CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS, GEOMORFOLÓGICAS Y GEOTÉCNICAS (Scg):

A partir de las composiciones litológicas presentes en el área, se clasifican los materiales en función de que tan susceptibles son, de acuerdo a sus propiedades físicas y composicionales, a sufrir deslizamientos. Las siguientes clasificaciones siguen la metodología desarrollada por Ambalagan (1992).

Tabla 27. Susceptibilidad por las características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas

CARACTERÍSTICAS	CALIFICACIÓN
Roca sana	0.0
Cuarcita y caliza muy meteorizada	0.8
Cuarcita y Caliza algo meteorizada	0.6
Cuarcita y Caliza poco meteorizada	0.4
Granito muy meteorizado	1.2
Granito algo meteorizado	0.9
Granito poco meteorizado	0.6
Neiss muy meteorizado	1.6
Neiss algo meteorizado	1.2

CARACTERÍSTICAS	CALIFICACIÓN
Neiss poco meteorizado	0.8
Arenisca muy meteorizada	1.5
Arenisca algo meteorizada	1.25
Arenisca poco meteorizada	1.10
Pizarra y filita	1.2
Esquistos	1.3
Lutitas no arcillosas	1.8
Lutitas, esquistos o filitas muy meteorizadas	2.0
Materiales aluviales antiguos muy bien consolidados	0.8
Depósitos volcanoclasticos	1.0
Arcilla blanda	1.0
Arcilla media	0.6
Arcilla dura	0.2
Arenas sueltas	1.4
Arena media	0.8
Arena compacta	0.4
Coluviones recientes	2.0
Coluviones antiguos	1.2

Tabla 28. Calificación susceptibilidad por características geologicas, geomorfologicas y geotecnicas

Deposito	Scg
Depósitos antrópicos	1.2
Depositos volcanoclasticos	1.0
Depósitos aluviales	0.8

12.1.2 SUSCEPTIBILIDAD POR PENDIENTE DEL TERRENO (Spt):

Se define como una relación directamente proporcional: a mayor pendiente mayor probabilidad de deslizamiento. A continuación, se presentan los criterios utilizados para la evaluación por susceptibilidad en función de la pendiente del terreno expresada en términos numéricos:

Tabla 29. Calificación de Susceptibilidad por la pendiente del terreno

TIPO	(%)	CALIFICACIÓN
Muy baja	0 -15% (0 – 8.53°)	0
Baja	15 – 30% (8.53 – 16.7°)	0.5
Media	30 – 50% (16.7 – 26.6°)	1.0
Alta	50 – 100% (26.6 – 45°)	1.5
Muy alta	>100% (>45°)	2

El mapa temático desarrollado para ilustrar este componente se relación en el capítulo morfometría del presente informe.

12.1.3 SUSCEPTIBILIDAD POR USOS DE SUELO Y COBERTURA VEGETAL (Suc):

Las laderas son más estables con vegetación que sin ella, debido a que evita que procesos erosivos intensos actúen sobre los suelos. El suelo de las laderas, al contar con una menor cubierta vegetal, se erosiona con mayor rapidez principalmente a causa de la lluvia. A continuación, se presenta la clasificación de la susceptibilidad empleada por Ambalagan (1992) para el uso del suelo y cobertura vegetal:

Tabla 30. Susceptibilidad por uso del suelo y cobertura vegetal.

USO Y COBERTURA	CALIFICACIÓN
Área urbana	1.0
Cultivos anuales	1.0
Vegetación intensa	0.4
Vegetación moderada	1.2
Vegetación escasa	1.5
Terrenos áridos	1.0

La zona cuenta con vegetación moderada:

Suc= 1.2

12.2 CALIFICACIÓN DE LOS FACTORES DETONANTES:

A continuación, se presentan los criterios empleados para determinar el valor correspondiente a los factores detonantes.

12.2.1 FACTOR DETONANTE POR SISMOS (FDS):

Para la clasificación de la influencia de la sismicidad se utilizan los mapas utilizados en la metodología de la evaluación sísmica de Colombia. Para los valores A_a (Aceleración horizontal del sismo de diseño según NSR-10), se dan las siguientes calificaciones en función de los valores obtenidos del mapa, siendo un valor de A_a de 0.25 para el área donde está localizado el terreno, la cual corresponde a la región 4, obteniendo una calificación para la metodología de 1.20

Tabla 31. Valor del factor detonante por sismo.

VALOR DE A_a	CALIFICACIÓN
0.05 – 0.10	1.0
0.10 – 0.15	1.05
0.15 – 0.20	1.10
0.20 – 0.25	1.15
0.25 – 0.30	1.20
0.30 – 0.35	1.25
0.35 – 0.40	1.30

12.2.2 FACTOR DETONANTE POR PRECIPITACIÓN (Fdp):

Las lluvias intensas producen modificaciones en la humedad incrementando el peso del suelo y generando un incremento en la presión de poros, lo que ocasiona una reducción de esfuerzo cortante de suelo y una alta susceptibilidad al deslizamiento.

A partir de los datos presentados por el IDEAM, la zona de estudio cuenta con un valor anual de precipitación promedio superior a 1000 mm anuales.

Tabla 32. Valor del factor detonante por precipitación

VALOR MÁXIMO ANUAL (mm)	CALIFICACIÓN
>1000	1.30
800 – 1000	1.25
600 – 800	1.20
400 – 600	1.15
200 – 400	1.10
<200	1.05

12.2.3 FACTOR DETONANTE POR ERUPCIONES VOLCÁNICAS (FDEV)

Las erupciones volcánicas además de su actividad sísmica generan cambios en la temperatura y la disposición de los materiales sobre el talud dependiendo de la magnitud, el tipo y la cantidad de depósitos asociados a la(s) erupción(es).

Los problemas generados por las erupciones volcánicas en lo que tiene que ver con deslizamientos están asociados a las fuertes pendientes y escarpes de los edificios volcánicos, la estructura de capas inclinadas en la dirección de la pendiente topográfica, la debilidad de las rocas en los conos volcánicos por los diferentes factores de alteración y el deshielo de los nevados que pueden generar avalanchas.

En general si la zona de estudio se encuentra ubicada en una zona donde se encuentren volcanes activos, el factor detonante se califica con 1.3 de lo contrario se califica como uno (1.0). Es por lo anterior que el factor corresponde a un valor de 1.0 debido a que en esta zona no tendrá influencia las erupciones volcánicas sobre las laderas objeto de estudio.

12.3 CALCULO DE LA SUSCEPTIBILIDAD (S_a)

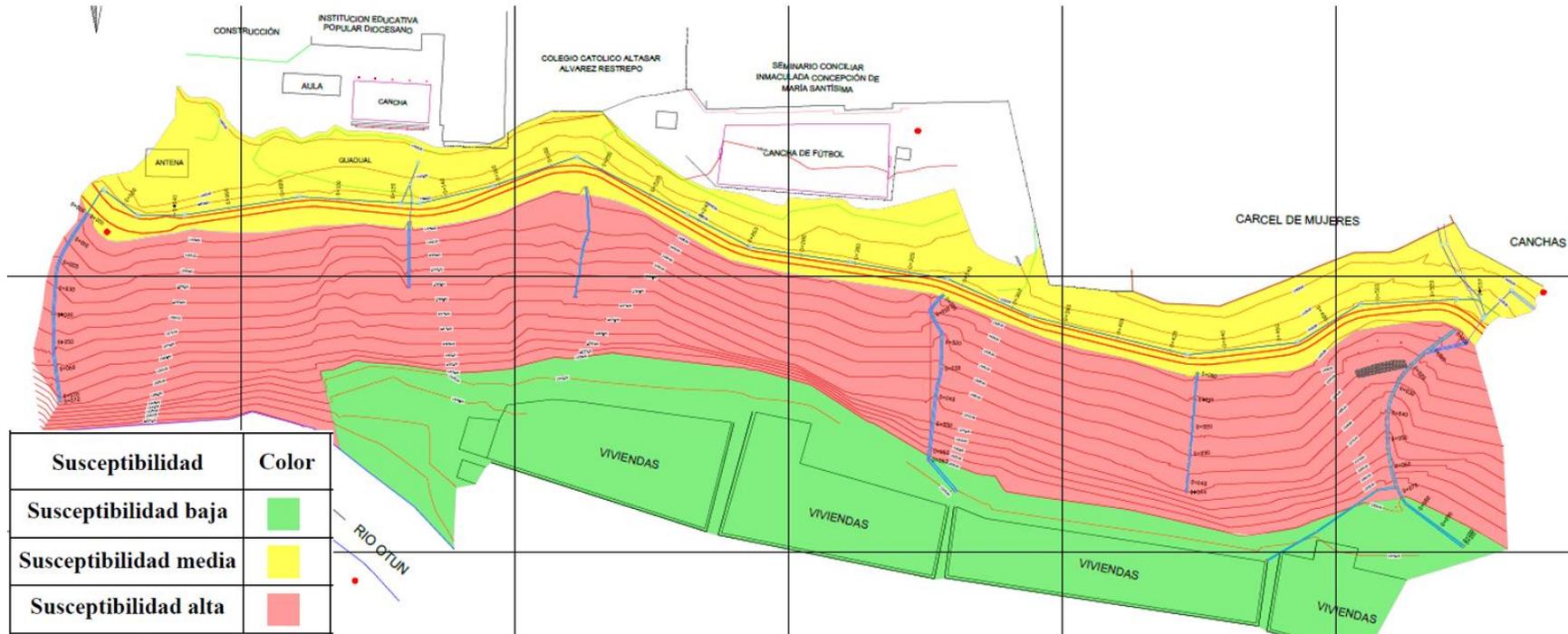
De acuerdo a la metodología expuesta en los anteriores párrafos se procedió a realizar el cálculo mediante la siguiente fórmula, obteniendo el mapa de susceptibilidad por deslizamiento. En este mapa se observa que la mayoría de la zona de estudio se encuentra en zona media y baja.

$$S_a = (S_{cg} + S_{pt} + S_{uc}) * (F_{ds} * F_{dev} * F_{dp})$$

Tabla 33. Cálculo de susceptibilidad

ZONA	S_{cg}	S_{pt}	S_{uc}	F_{ds}	F_{dp}	F_{dev}	S_a
1	1.2	0.5	1.2	1.2	1.3	1	4.52
2	1	1.75	1.2	1.2	1.3	1	6.16
3	0.8	0.5	1.2	1.2	1.3	1	3.9

Figura 175. Mapa de susceptibilidad por deslizamiento



CONVENCIONES

 Susceptibilidad Baja

Evalúados los factores condicionantes, geología, pendiente, uso del suelo y los factores detonantes como lo son el sismo y la lluvia se obtiene que la susceptibilidad arroja valores entre menores a 4.00 los cuales corresponden a una susceptibilidad baja. Esto se debe a que estas zonas cuentan con pendientes bajas y zonas planas. Se resalta que las áreas con condición de susceptibilidad baja corresponden a las viviendas ubicadas en la parte inferior mas no se evidencia ninguna zona baja en la ladera objeto de estudio.

 Susceptibilidad Media

Evalúados los factores condicionantes, geología, pendiente, uso del suelo y los factores detonantes como lo son el sismo y la lluvia se obtiene que la susceptibilidad arroja valores entre 4.00 y 6.00 los cuales corresponden a una susceptibilidad media. Esto se debe a que las pendientes en estos sectores de la ladera se encuentran entre bajas y medias, no obstante, los depositos superficiales blandos de caída piroclástica presentes en esta zona y suelos meteorizados se apoyan sobre la unidad competente de Glacis del Quindio, por tal motivo, la saturación por lluvia o por presencia de acuíferos sobre estos materiales blandos los ponen en una condición crítica.

 Susceptibilidad Alta

Evalúados los factores condicionantes, geología, pendiente, uso del suelo y los factores detonantes como lo son el sismo y la lluvia se obtiene que la susceptibilidad arroja valores mayores a 6.00 que corresponde a la susceptibilidad alta. Esto se debe a que las pendientes de la ladera son cercanas o superiores al 100%, los depositos superficiales blandos de caída piroclástica y suelos meteorizados se apoyan sobre la unidad competente de Glacis del Quindio, por tal motivo, la saturación por lluvia o por presencia de acuíferos sobre estos materiales blandos los ponen en una condición crítica.

Fuente: propia.

13 INESTABILIDAD

13.1 APLICACIÓN DE LA SIMULACIÓN PROBABILÍSTICA DE MONTECARLO MEDIANTE SIG

En el presente trabajo, se desarrolla una metodología probabilística, utilizando la simulación de Montecarlo implementado en la plataforma EXCEL y utilizando las herramientas de Sistemas de información Geográfica – SIG - en las etapas de pre-procesamiento y pos-procesamiento para la generación de mapas de probabilidad de falla de conformidad a la guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa del Servicio Geológico Colombiano. De esta forma se permite evaluar de la estabilidad de un talud en suelo en un sector del Municipio de Dosquebradas en el que la modalidad previsible de fallamiento es la falla planar.

En dicho análisis, se evalúa inicialmente la estabilidad del talud seleccionado utilizando el diseño determinístico de taludes, se calcula el factor de seguridad de dicho talud.

Posteriormente se desarrolla una metodología para el diseño probabilístico del talud considerado en el caso de estudio. Para el efecto se sigue paso a paso el método recomendado por la simulación de Montecarlo para la solución de problemas.

El diseño probabilístico del talud señala que la media de los factores de seguridad obtenidos en cada uno de los diez mil experimentos realizados con el modelo de simulación, permite definir la probabilidad de falla de dicho talud. La estimación de esta probabilidad ha sido posible gracias a la aplicación de la simulación de Montecarlo.

En la investigación efectuada, se ha visto la simplicidad conceptual de la simulación de Montecarlo; esta característica sumada a la tecnología informática disponible en la actualidad como las herramientas de SIG, han incrementado notablemente su aplicación en los análisis de estabilidad de taludes.

Los fundamentos teóricos y metodológicos del análisis de estabilidad de taludes, métodos determinísticos para análisis de estabilidad de taludes, el método de talud infinito probabilidad de falla, los métodos probabilísticos para análisis de estabilidad de taludes, las funciones de densidad de probabilidad (pdf), las funciones de distribución acumulada (cdf), entre otros, son descritos a continuación:

13.1.1 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

Los métodos de análisis de estabilidad de taludes tienen su base en los planteamientos físico-matemáticos en el que intervienen las fuerzas que estabilizan el sistema y fuerzas que desestabilizan el sistema, estas tienen incidencia en el talud y determinan su comportamiento y su condición estable. Los métodos que permiten realizar dicho análisis se pueden agrupar en métodos determinísticos dentro de los cuales están los métodos de equilibrio límite y los tenso-deformacionales; y métodos probabilísticos (Sanhueza Plaza, C., & Rodríguez Cifuentes, L., 2013).

13.1.2 MÉTODOS DETERMINÍSTICOS PARA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

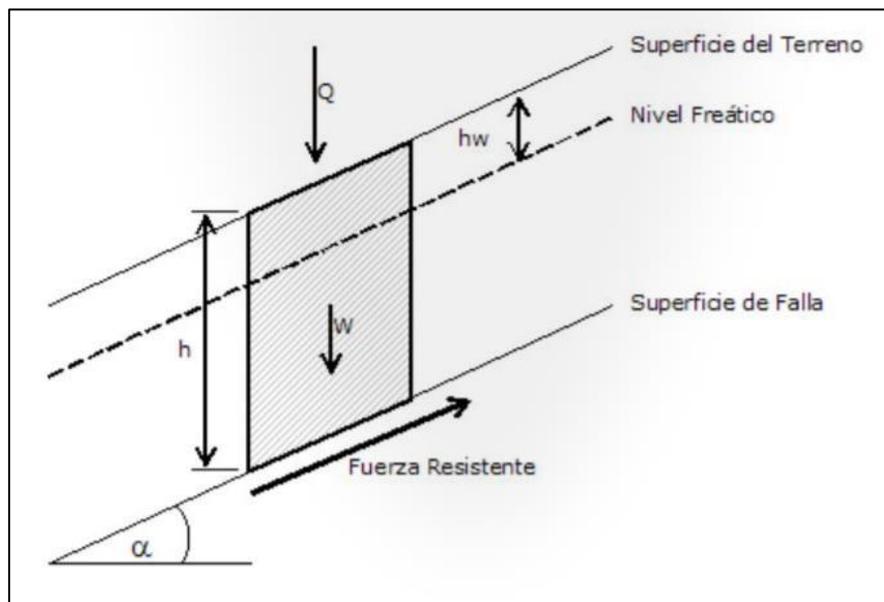
En los métodos determinísticos el factor de seguridad se encuentra en un rango de potenciales superficies de falla, determinando así la superficie del factor de seguridad mínimo, conocida como la superficie de deslizamiento crítica.

13.1.3 MÉTODO DE TALUD INFINITO PROBABILIDAD DE FALLA

De acuerdo con (Posse, 1987) en los taludes donde la superficie de falla es paralela a la superficie del talud y la longitud de falla es larga comparada con su espesor, el cálculo del factor de seguridad medio del análisis de talud infinito es adecuado matemáticamente; el método se caracteriza por ser sencillo y se suponen condiciones de isotropía y homogeneidad.

El factor de seguridad se define como la relación entre la fuerza de resistencia debida a la resistencia al corte del suelo a lo largo de la superficie de falla, la fuerza motriz y el peso de la masa deslizante (Huang, 1983).

Figura 176. Analisis de talud infinito



$$FS = \frac{C + (Z * \gamma * \cos^2 \beta - Z_w * \gamma_w * \cos^2 \beta - Z * \gamma * K_h * \sin \beta * \cos \beta) * \tan \phi}{Z * \gamma * \sin \beta * \cos \beta + Z * \gamma * K_h * \cos^2 \beta}$$

Donde:

C = Cohesión efectiva del suelo (Ton/m²)

Z = Profundidad de la superficie de falla bajo la superficie del terreno (m)

Z_w = Altura de la tabla de agua (NAF) sobre la superficie de falla (m)

γ = Peso específico del suelo (Ton/m³)

γ_w = Peso específico del Agua (1 Ton/m³)

β = Angulo de inclinación del plano de falla (grados)

ϕ = Angulo de fricción interna del suelo (grados)

K_h = Coeficiente sísmico de diseño (m/s^2)

13.1.4 MÉTODO PROBABILÍSTICO PARA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

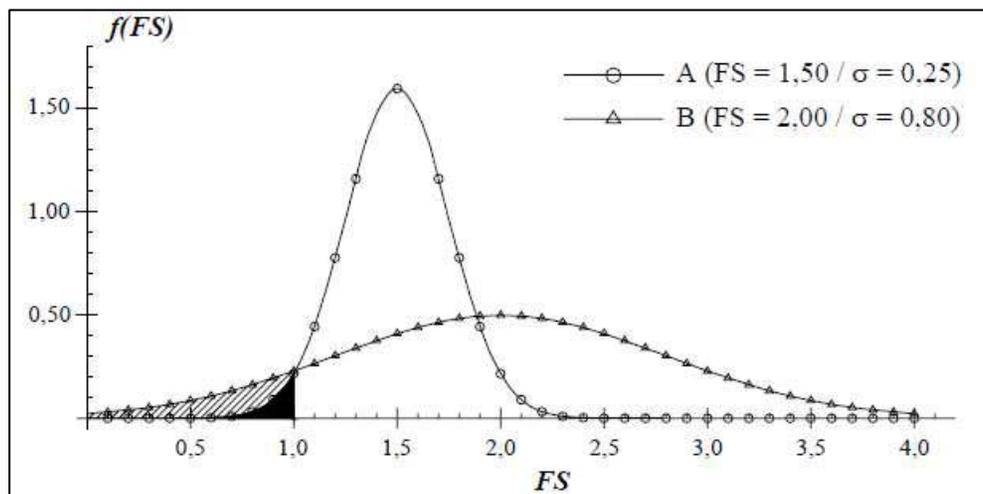
Los métodos probabilísticos para estabilidad de taludes, parten de la condición de los parámetros geotécnicos que por lo general son limitados en tamaño y calidad, la estadística en este tipo de datos permite determinar rangos aceptables para su tratamiento, Para muchas aplicaciones geotécnicas es útil hallar la distribución de frecuencia de las variables, (Lacasse et al., 2007).

Las funciones de probabilidad de las variables FDP aleatorias, son funciones asignadas a cada probabilidad de suceso de los parámetros a través de un histograma de frecuencias, con el fin de identificar las propiedades con grandes fluctuaciones en sus resultados y que dada esta situación guardan mejor relación con el análisis estadístico inductivo, con el fin de predecir de forma adecuada el comportamiento de dichas variables (Baecher & Christian, 2003).

13.1.5 PROBABILIDAD DE FALLA

El concepto de probabilidad de falla es definido por (Christian et al., 1994), como la porción bajo la curva unitaria de la distribución de frecuencia, correspondiente a los valores del factor de seguridad por debajo de 1,0. El autor explica el concepto comparando dos casos hipotéticos A y B, en donde se tiene una mayor probabilidad de rotura para el caso B, en el que se tienen mayores valores de factor de seguridad y desviación estándar en comparación con el caso A, dicho ejemplo se representa en la siguiente gráfica.

Figura 177. Distribucion de frecuencias del factor de seguridad (Chrstian ot al. 1994).



Adicionalmente (Vanmarcke, 1973) define la probabilidad de falla como el número de iteraciones con FS menor que 1,0 en relación con el total del número de iteraciones realizadas.

Figura 178. Probabilidad de falla según Vanmarcke

$$\text{Ecuación 11. } PF = \frac{P(FS < 1)}{\# \text{evaluaciones realizadas}}$$

13.1.6 MÉTODO DE MONTE CARLO

La simulación de Monte Carlo permite generar una gran cantidad de datos aleatorios, conociendo la distribución de probabilidad de las variables de ingreso (Fernández et al., 2018), el método permite generar simulaciones del comportamiento aleatorio de las variables (Sandoval Mendoza, 2015).

El método consiste en realizar un muestreo aleatorio de manera que se pueda simular el comportamiento de un sistema a medida que se tienen diferentes variables o diferentes escenarios de entrada. Estos datos de entrada obedecen a un valor real extraído de campo, el cual es el valor representativo del sistema (Sánchez-Silva, 2005), Para el caso, una vez obtenidos una serie de datos de campo como; cohesión, ángulo de fricción y peso unitario del suelo, se implementan las relaciones o expresiones matemáticas para la obtención del factor de seguridad, el proceso se repite muchas veces para obtener una función de densidad de probabilidad de la función de desempeño (Fernández et al., 2018), a medida que son producidos los datos se realiza por medio del método determinístico del talud infinito, el cálculo del factor de seguridad y el análisis de la probabilidad de falla (Cho, 2007).

Una vez se realiza el procedimiento de cálculo de los factores de seguridad, se contabilizan los resultados que se encuentran por debajo del mínimo aceptable y se dividen entre el número total de iteraciones realizadas, de esta manera para el cálculo de la probabilidad de falla se habrán usado escenarios típicos basados en el comportamiento aleatorio de las variables (Voss, 2013). Para el presente estudio se define entonces el uso de este método probabilístico.

13.1.7 DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD

La distribución de probabilidad de una variable aleatoria es una función que asigna a cada suceso definido sobre la variable la probabilidad de que dicho suceso ocurra (Velásquez & Velásquez, 2012), existen varias distribuciones de probabilidad, algunas de las comunes son la distribución normal estándar, la distribución lognormal, distribución de Poisson y distribución t de Student. (Brizuela, 2017).

13.1.7.1 DISTRIBUCIÓN NORMAL

La distribución normal es posiblemente la probabilidad más usada e importante al día de hoy dado que gran parte de los fenómenos naturales se ajustan a dicha probabilidad (Griffiths & Fenton, 2007). Para las variables (cohesión, ángulo de fricción, peso unitario), (Suarez-Burgoa, 2016) indica que la función de probabilidad que más se ajusta es la distribución normal, la cual genera una distribución gaussiana simétrica de los valores respecto a un valor medio.

Las distribuciones de probabilidad al trabajar con variables aleatorias toman cada variable como un suceso (cada valor de esta variable define un suceso diferente), y le asignan una probabilidad de ocurrencia a cada suceso.

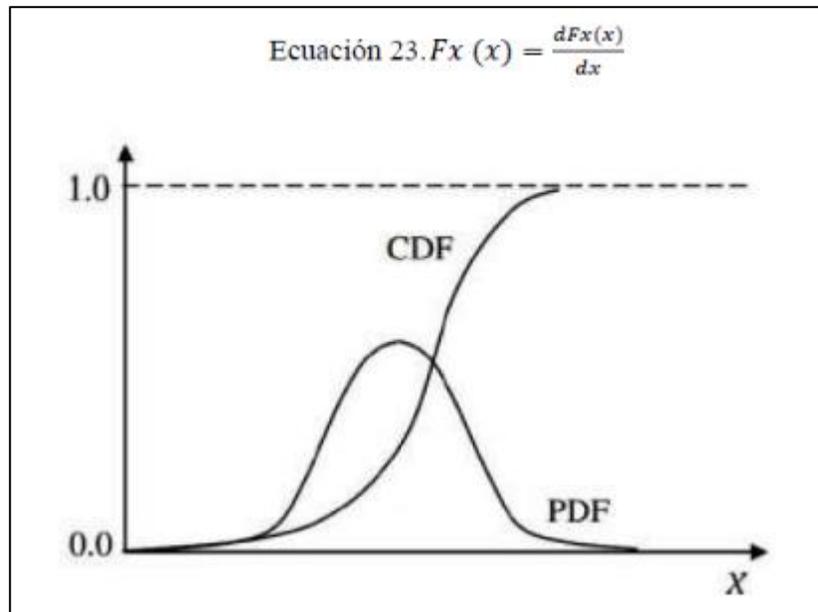
$$\text{Ecuación 20. } f_X(x) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{(x-\bar{x})^2}{2s^2}\right]$$

13.1.7.2 FUNCIÓN DE DENSIDAD DE PROBABILIDAD

(Describe la probabilidad relativa según la cual dicha variable aleatoria tomará determinado valor)

En el caso de variables continuas, dicha probabilidad puede ser descrita por la función de densidad de probabilidad $f_X(x)$, abreviada PDF, cuya relación con la función de distribución $F_X(x)$ está dada por la ecuación, así mismo su representación gráfica.

Figura 179. Graficas función de probabilidad y función de probabilidad acumulada (Ruselli, 2008)



13.1.7.3 FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ACUMULADA

La función de distribución de probabilidad $F_X(x)$, también llamada función de distribución acumulada (CDF), describe la probabilidad de que una variable aleatoria X tome un valor menor o igual que un número x para cada valor de x (Meyer, 1992); esta se define por:

$$\text{Ecuación 24. } F_X(x) = P(X \leq x)$$

13.1.8 CRITERIOS PARA LA CLASIFICACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD Y PROBABILIDAD DE FALLA

Para Colombia, de acuerdo con el Servicio geológico Colombiano para la estimación de la amenaza se debe determinar el factor de seguridad, este factor basado en el método de equilibrio límite, que para el caso será el método de talud infinito ya antes descrito en el presente trabajo, Así el nivel de amenaza basado en el valor de factores de seguridad se detalla en la Tabla de la guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa del Servicio geológico colombiano y del presente documento, en este se clasifican los factores de seguridad como amenaza baja, media o alta dependiendo del valor arrojado posterior al cálculo realizado por el método del talud infinito.

Figura 180. Clasificación DE la amenaza de un talud ante un deslizamiento

Tabla 6. Clasificación de la amenaza de un talud ante un deslizamiento (Servicio Geológico Colombiano, 2017)	
Nivel de amenaza	Factor de seguridad
Alta	<1.1
Media	1.1-1.5
Baja	>1.5

En lo que tiene que ver con la estimación y clasificación de la probabilidad de falla, está dada en el presente trabajo de acuerdo con el capítulo de análisis detallado del (Servicio Geológico Colombiano, 2017) bajo métodos probabilísticos, el nivel de amenaza se puede clasificar en alto, medio y bajo, con base en la probabilidad anual de falla tomada de la guía metodológica del servicio colombiano y expresada en este documento.

Figura 181. Criterio para la clasificación de la amenaza en función de la probabilidad de falla

Tabla 7. Criterio para la clasificación de la amenaza en función de la probabilidad de falla.	
Nivel de amenaza	Probabilidad anual de falla
Baja	< 0.01
Media	0.01 - 0.16
Alta	> 0.16

13.2 METODOLOGÍA

La metodología aplicada en el presente estudio es de tipo cuantitativo y correlacional basada en variables definidas a través de datos recopilados en campo durante la prospección geotécnica. A continuación, se describe detalladamente esta metodología:

- 1. Recopilación de información, Parámetros de campo y laboratorio**
- 2. Tratamiento estadístico a las variables**

En este estudio las variables analizadas corresponden a cohesión, ángulo de fricción, peso unitario, espesor del estrato blando (Lleno o ceniza), y Altura del NAF. Lo primero que se debe señalar es que estas variables son continuas; es decir, pueden tomar cualquier valor dentro de un intervalo dado.

- 3. Obtención de distribución de probabilidad de las variables**

Se utilizan principalmente distribuciones de probabilidad NORMAL ESTÁNDAR para las variables Cohesión y Angulo de Fricción interna.

4. Cálculo del factor de seguridad y probabilidad de falla

Una vez obtenidas las distribuciones a las que se ajustan las variables se procede a obtener los factores de seguridad por medio del método de Montecarlo basado en la teoría del talud infinito, la generación de números aleatorios se realiza para 10,000 iteraciones, Una vez empleado el método de Monte Carlo, se realizó un complemento estadístico que permite determinar la probabilidad de falla del talud partiendo del concepto del factor de seguridad, finalmente se procede a clasificar los factores de seguridad y probabilidades de acuerdo a la normatividad Colombiana definida por el Servicio Geológico Colombiano.

13.3 DETERMINACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE FALLA MEDIANTE LA SIMULACIÓN DE MONTECARLO

Con el fin de ingresar escenarios típicos a la evaluación del método probabilístico de Montecarlo, se usa la información de campo recopilada.

1. Altura del estrato blando

La prospección realizada en el talud permitió realizar el mapa de espesores de suelo para la evaluación probabilística.

2. Altura del nivel de aguas freáticas

La determinación de la altura del nivel de agua presente en el espesor del estrato blando, consistió en generar tres escenarios típicos, el primero sin altura de la tabla de agua, el segundo contemplando altura de agua hasta la mitad del estrato blando y el tercero contemplando la altura de la tabla de agua igual al espesor del estrato, es decir con saturación del 100%.

3. Ángulos de inclinación característicos del sector

Para el parámetro β presente en la ecuación y el cual hace referencia a las pendientes características en el sector, se usaron los datos obtenidos por medio de modelos de elevación digital (DTM).

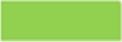
4. Coeficiente sísmico horizontal (K_h) y vertical (K_v)

Dado que según el título A de la norma sismo resistente colombiana 2010 (NSR-10) y su contenido en la tabla A.13.1, la obtención de los movimientos sísmicos de diseño (K_h) está en función de:

- Amenaza sísmica, expresada según los parámetros A_a coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva para diseño y A_v coeficiente que representa la velocidad horizontal pico efectiva para diseño
- Características de la estratificación del suelo a través de los coeficientes sísmicos F_a y F_v
- Coeficiente de importancia I : En cuanto al valor de K_v se toma $2/3$ de K_h según como lo menciona la NSR-10 en su capítulo A.2.8: “componente vertical de los movimientos sísmicos, en su sección A.2.8.1 – Cuando se utilice la componente vertical de los movimientos sísmicos de diseño, como mínimo debe tomarse como las dos terceras partes de los valores correspondientes a los efectos horizontales”.
- Los criterios para determinación del nivel de amenaza de acuerdo con los valores obtenidos para factor de seguridad y probabilidad de falla, se usarán los siguientes colores para su clasificación:

Figura 182. Clasificación de la amenaza de un talud

Tabla 16. Clasificación de la amenaza de un talud ante un deslizamiento en función del FS y la probabilidad de falla			
Nivel de amenaza	Factor de seguridad	Probabilidad de falla	Color
Alta	<1.1	> 0.16	
Media	1.1-1.5	0.01 - 0.16	
Baja	>1.5	< 0.01	

Tabla 17. Criterio para la clasificación de la amenaza en función de la probabilidad de falla.		
Nivel de amenaza	Probabilidad anual de falla	Color
Baja	< 0.01	
Media	0.01 - 0.16	
Alta	> 0.16	

En términos generales, el método de Monte Carlo hace uso del muestreo aleatorio para simular el comportamiento de un sistema. El procedimiento consiste de los siguientes pasos:

- a. Definir la función Y , que describe el problema, en términos de variables aleatorias y determinísticas. La función generalmente es un modelo con varias variables y con diferentes ecuaciones, pero para efectos prácticos puede ser representada como $Y = (x_1, x_2, \dots, x_n)$.
- b. Determinar la distribución de probabilidad de cada una de las variables aleatorias involucradas.

- c. Generar valores aleatorios para cada una de las variables x_i presentes en el modelo, con base a su distribución de probabilidad.
- d. Evaluar la función o el modelo Y de manera determinística utilizando los valores de las variables aleatorias generados en el paso anterior. Esta evaluación de la función se lleva a cabo un número N de veces lo suficientemente grande para obtener la distribución de probabilidad acumulada de la variable Y (en este análisis se utilizaron 10,000 cálculos).
- e. Extraer información estadística de los resultados y determinar la eficiencia y precisión de la simulación.

13.4 APLICACIÓN DEL MÉTODO PROBABILÍSTICO DE MONTE CARLO HACIENDO USO DE LAS HERRAMIENTAS SIG

El desarrollo de la metodología probabilística utilizando la simulación de Montecarlo, fue implementada en la plataforma EXCEL y se utilizaron las herramientas de Sistemas de información Geográfica – SIG - en las etapas de pre-procesamiento y pos-procesamiento. Básicamente el proceso consistió en 3 etapas, a saber:

1. PRE-PROCESAMIENTO (desarrollado en las herramientas de SIG)
2. PROCESAMIENTO EJECUCION DEL MODELO (Implementado en macros de EXCEL)
3. POS-PROCESAMIENTO (desarrollado en las herramientas de SIG)

13.4.1 PRE – PROCESAMIENTO (DESARROLLADO EN LA HERRAMIENTA SIG)

Como es bien sabido, para efectuar el cálculo de la probabilidad de falla usando el Método de talud Infinito, es indispensable conocer la pendiente o ángulo de inclinación (β) y el mapa de espesores de suelo blandos (Z).

Figura 183. Formula cálculo Factor de Seguridad (FS). Talud Infinito

$$FS = \frac{C + (Z * \gamma * \cos^2 \beta - Z_w * \gamma_w * \cos^2 \beta - Z * \gamma * K_h * \sin \beta * \cos \beta) * \tan \phi}{Z * \gamma * \sin \beta * \cos \beta + Z * \gamma * K_h * \cos^2 \beta}$$

Donde:

β = Angulo de inclinación del plano de falla (grados)

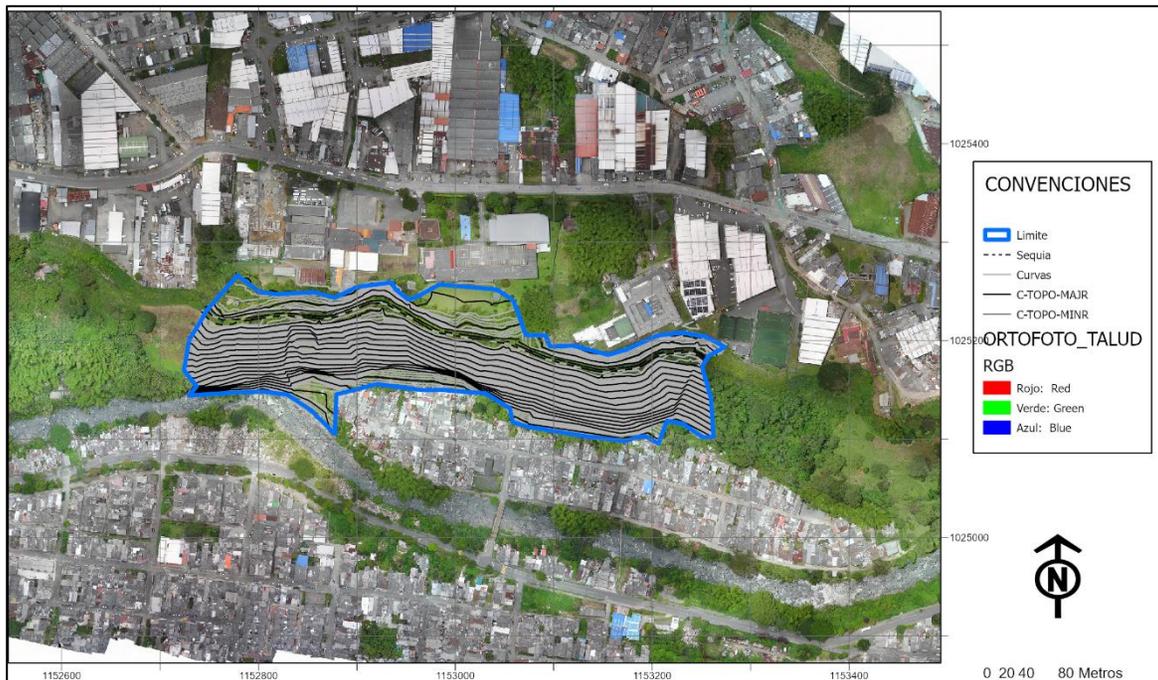
Z = Profundidad de la superficie de falla bajo la superficie del terreno (m)

En esta etapa de pre-procesamiento, se utiliza la herramienta de SIG para generar el mapa de pendiente o ángulo de inclinación (β) y el mapa de espesores de suelo blandos (Z).

13.4.1.1 MAPA DE PENDIENTE O ANGULO DE INCLINACIÓN (β)

En este proceso es indispensable contar con un levantamiento topográfico de detalle.

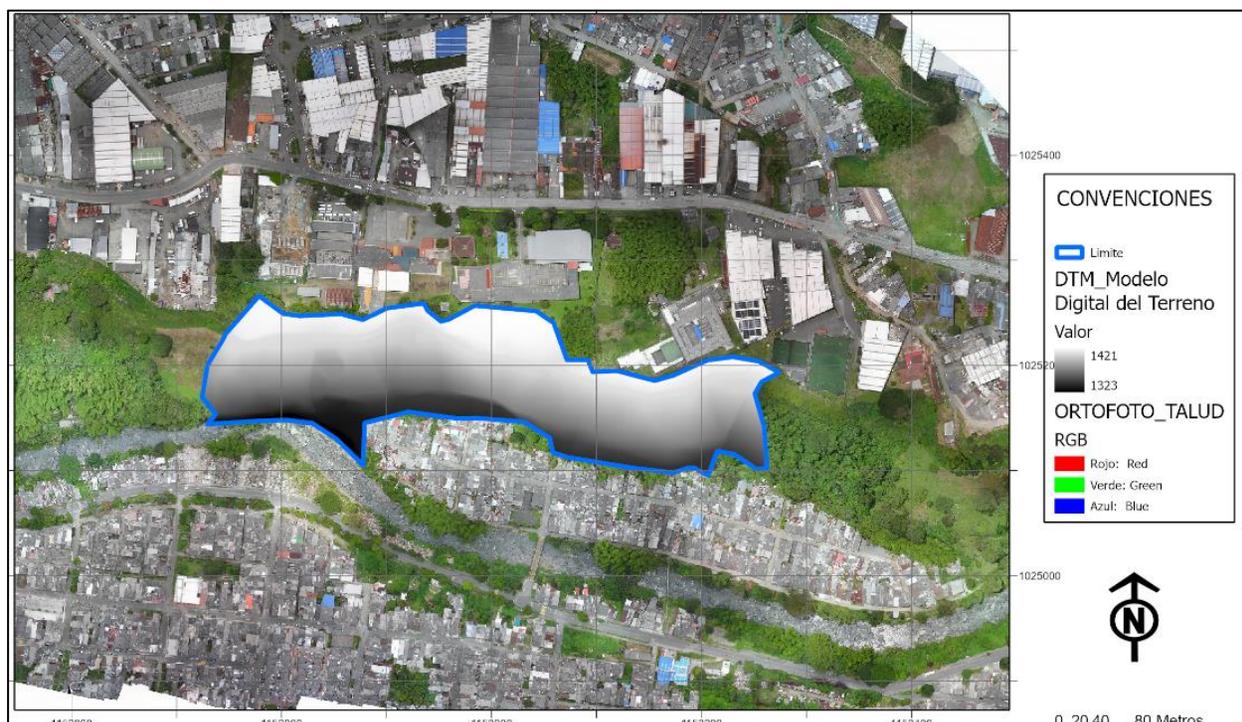
Figura 184. Levantamiento Topografico de la zona de estudio



Fuente: Propia.

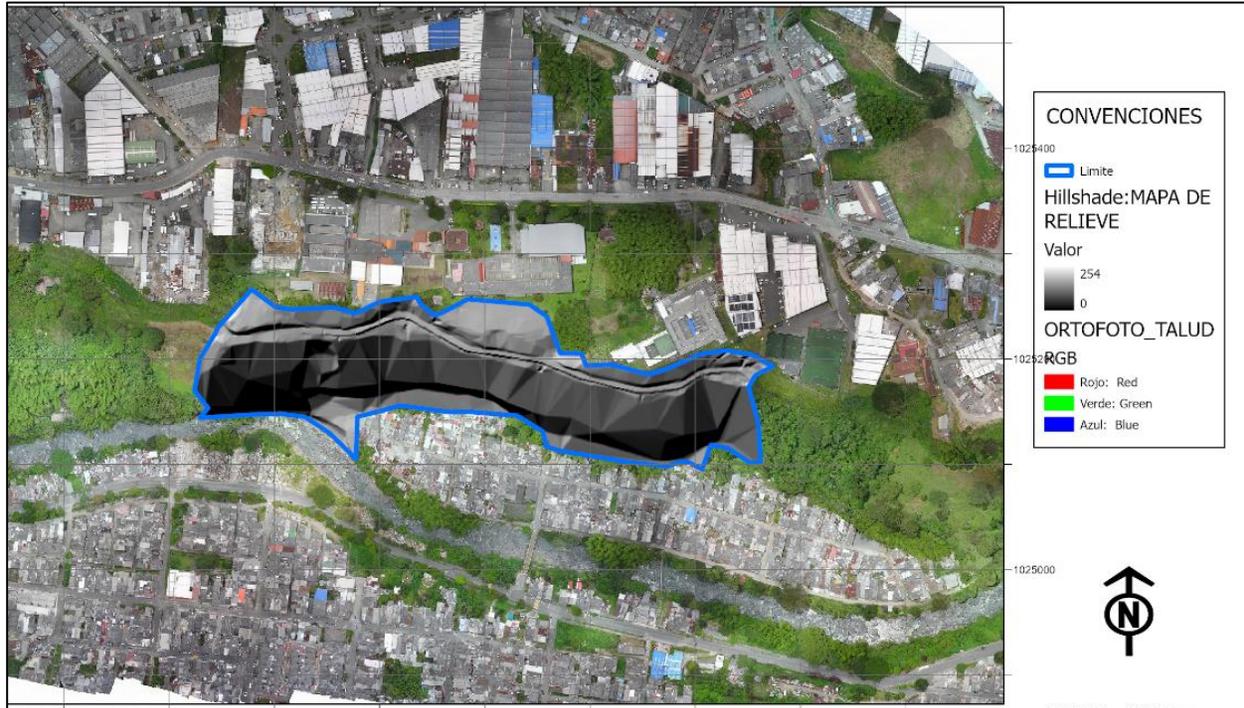
A partir de esta topografía, se genera un DTM - Modelo Digital de Elevación, el cual es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo. Una vez obtenido el DTM podemos realizar el mapa HILLSHADE o mapa de sombras de laderas (MAPA DE RELIEVE), modelos digitales de terreno derivados del archivo DTM que permiten mostrar la superficie del territorio a través del sombreado de laderas.

Figura 185. DTM – Modelo Figital Del Terreno



Fuente: Propia.

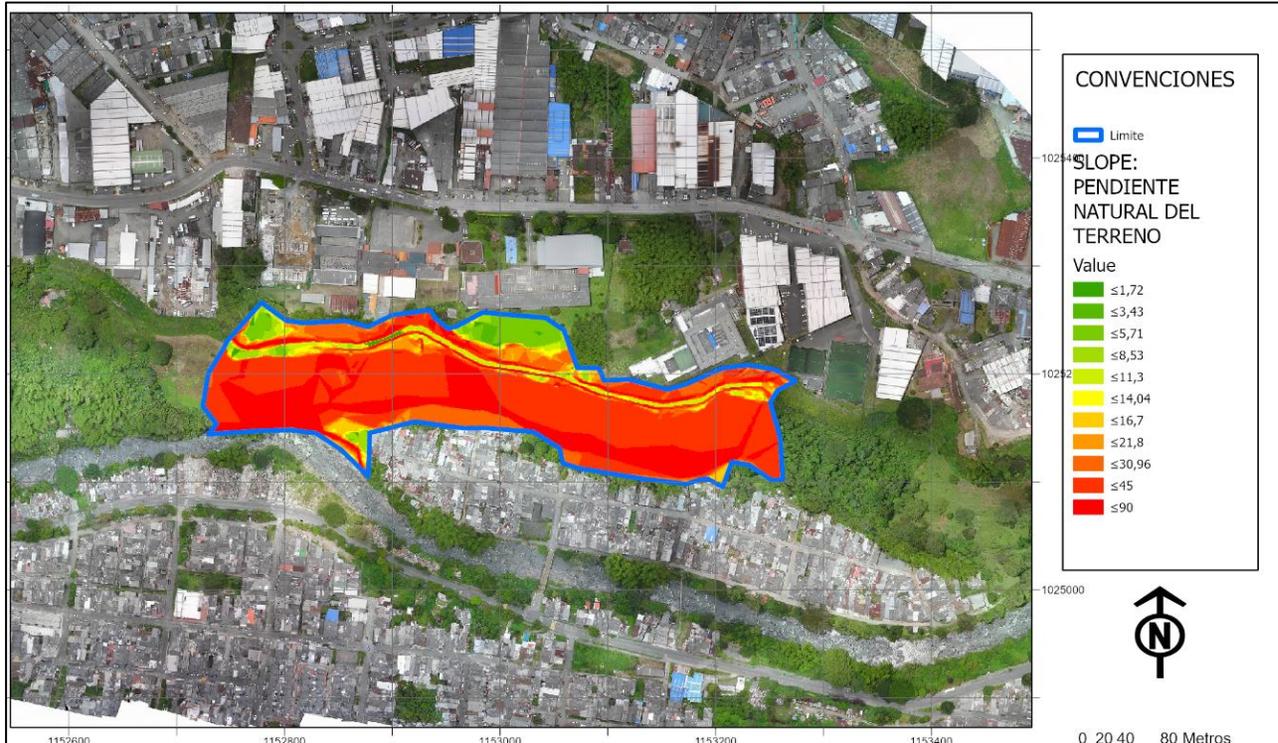
Figura 186. Hillshade – Mapa de sombras de laderas (Mapa de relieve)



Fuente: Propia.

Finalmente, a partir del DTM obtenido podemos realizar el mapa SLOPE o mapa de las pendientes naturales del terreno, el cual identifica la diferencia del gradiente entre dos formas de relieve. Es decir, es una relación entre la distancia horizontal y la altitud entre dos puntos. Este plano constituye uno de los insumos más importantes en el análisis de estabilidad de la ladera para así determinar la probabilidad de falla de dicho talud.

Figura 187. Mapa de pendientes naturales del terreno

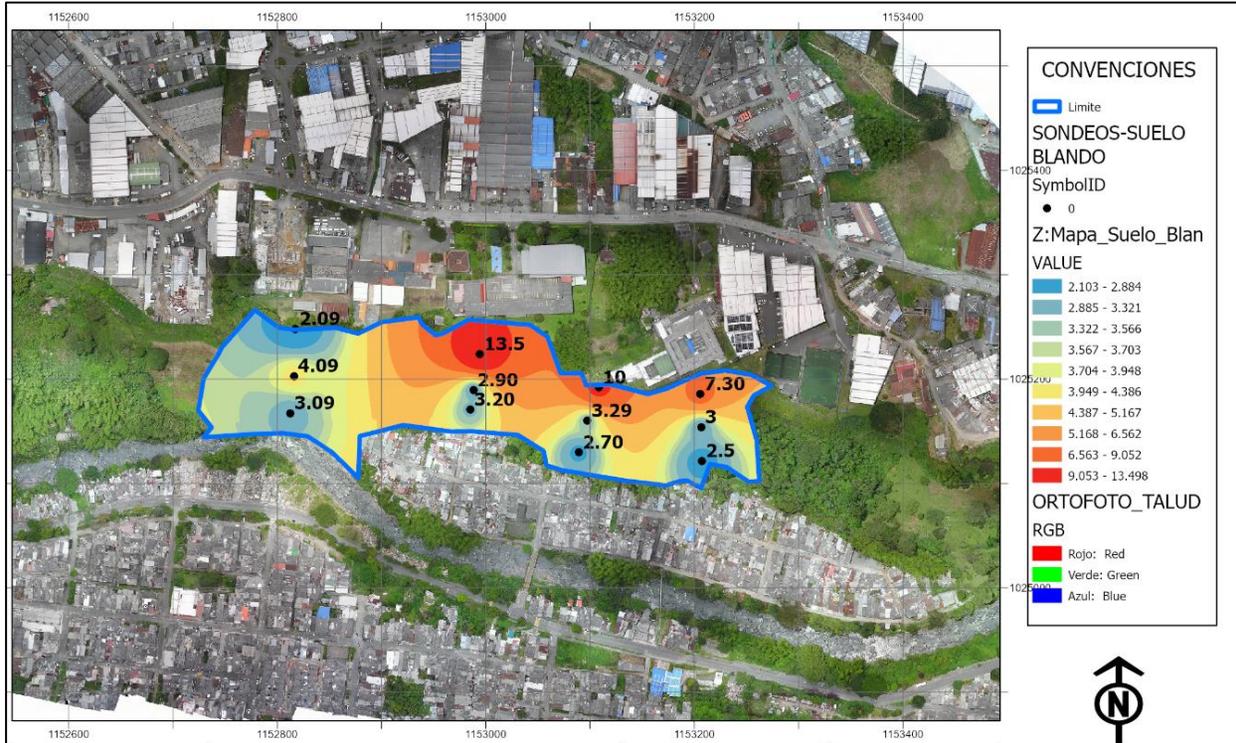


Fuente: Propia.

13.4.1.2 MAPA DE ESPESOR DE SUELOS BLANDO (Z)

Finalmente, para obtener el mapa de suelos blandos (Z) se procede a hacer un proceso de interpolación espacial usando la herramienta SIG de estas profundidades aplicando el método IDW (Inverso de la Distancia Ponderada). La herramienta IDW (Ponderación de distancia inversa) utiliza un método de interpolación que estima los valores de profundidad de suelo blando en todo el terreno calculando promedios de los valores de los puntos de datos de muestra en la vecindad de cada punto de muestreo del procesamiento.

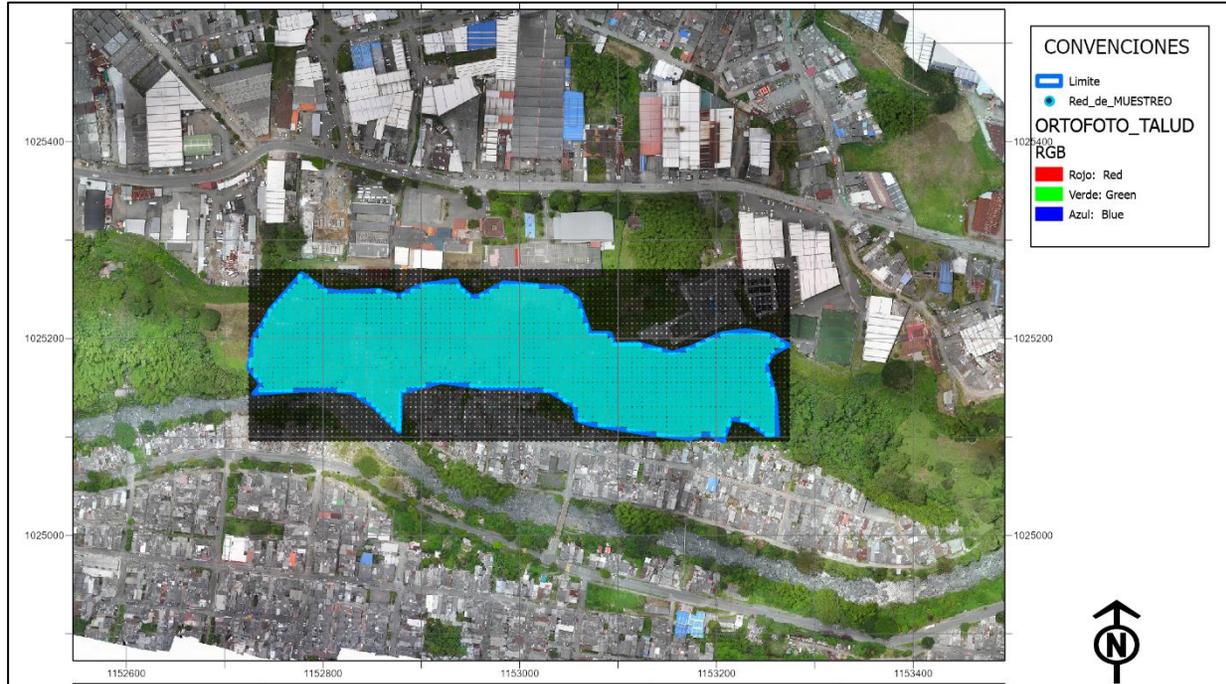
Figura 188. Mapa DE espesores de suelo blando (Z) en metros



Fuente: Propia.

Finalmente, se genera automáticamente una RED DE MUESTREO de tamaño 5 x 5 m en toda la zona de estudio obteniendo un set de muestras de aproximadamente 2.075 datos, a partir de la cual extraemos los datos de pendiente (β) y profundidad de suelo(Z) en cada uno mapas previamente elaborados.

Figura 189. Red de muestreo



Fuente: Propia.

Tabla 34. Tabla de las 2075 muestras con datos de pendiente (SLOPE) y de espesor de suelo blanco (Z) extraidos e los mapas del SIG

	OID *	Shape *	SLOPE	Z	X	Y	Dato ▾
1	194	Punto	26.58187	4.154968	1153142	1025103	1
2	195	Punto	26.6284	4.139898	1153147	1025103	1
3	196	Punto	27.16299	4.101041	1153152	1025103	1

Fuente: Propia.

13.4.2 PROCESAMIENTO EJECUCIÓN DEL MODELO

La tabla anteriormente obtenida en el SIG y que contiene las 2.075 muestras es cargada en EXCEL

Figura 190. Tabla de las 2075 muestras con datos de pendientes (SLOPE) y de espesor de suelo blando (Z)

I	J	K	L	M	N	O
Datos -SIG						
OID *	Shape *	SLOPE	Z	X	Y	Dato
194	Punto	26.58187	4.154968	1153142	1025103	1
195	Punto	26.6284	4.139898	1153147	1025103	1
196	Punto	27.16299	4.101041	1153152	1025103	1

Fuente: Propia.

Con los datos de pendiente (β) y de espesor de suelo blando (Z), conjuntamente con los valores de Peso Unitario (γ), Coeficiente sísmico (K_h) y las distribuciones normales de probabilidad (valores promedios y desviación estándar) de Cohesión (C) y Angulo de Fricción (ϕ), se ejecutan las macros en EXCEL para llevar a cabo los análisis de estabilidad mediante el MÉTODO DETERMINÍSTICO - TALUD INFINITO y METODO PROBABILISTICO, tanto en condiciones estáticas como dinámicas, de conformidad a la Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. (SGC).

Figura 191. Valores de Cohesion, angulo de friccion y peso unitario

	C (Ton/m²)	φ (°)
	3.9	35.5
	3.3	35.7
	4.2	30
	4.2	30
	9	34
	3.8	32.9
	2.8	34.3
	1.6	28.08
PROM	4.1	28
DESV	2.16	2.85
PESO UNITARIO	1.49	Ton/m²

Fuente: Propia.

En lo que se refiere al COEFICIENTE SÍSMICO HORIZONTAL, se tiene que:

Para la obtención de los coeficientes sísmicos de diseño $A_a=0.25$ y $A_v=0.25$ nos remitimos al título A de la NSR-10, donde, dichos valores dependen de la zona de amenaza sísmica del departamento.

Por otro lado, la determinación de los coeficientes sísmicos está en función del tipo de suelo y los valores de A_a y A_v , por lo anterior la obtención de los coeficientes sísmicos F_a y F_v se muestran en las tablas A.2.4-3 y A.2.4-4 de la NSR-10 y dado que, dentro de los suelos blandos. Se tomará entonces un F_a de 1.3.

Adicionalmente se toma un coeficiente de importancia (I) de 1, tomado de la tabla A.2.5-1 de la NSR-10, tomando para las edificaciones cercanas a los taludes de la zona de estudio de manera general como de ocupación normal.

Definido el espectro de diseño y teniendo en cuenta valores de K_{st} mínimos para análisis seudoestáticos de taludes definidos en el título H de la norma sismo resistente NSR-10, dependiendo del tipo de material térreo (reforzado o no) y del tipo de análisis. Tabla H.5.2-1, se toma K_{st} de 0.80, para suelos enrocados y macizos rocoso muy fracturados.

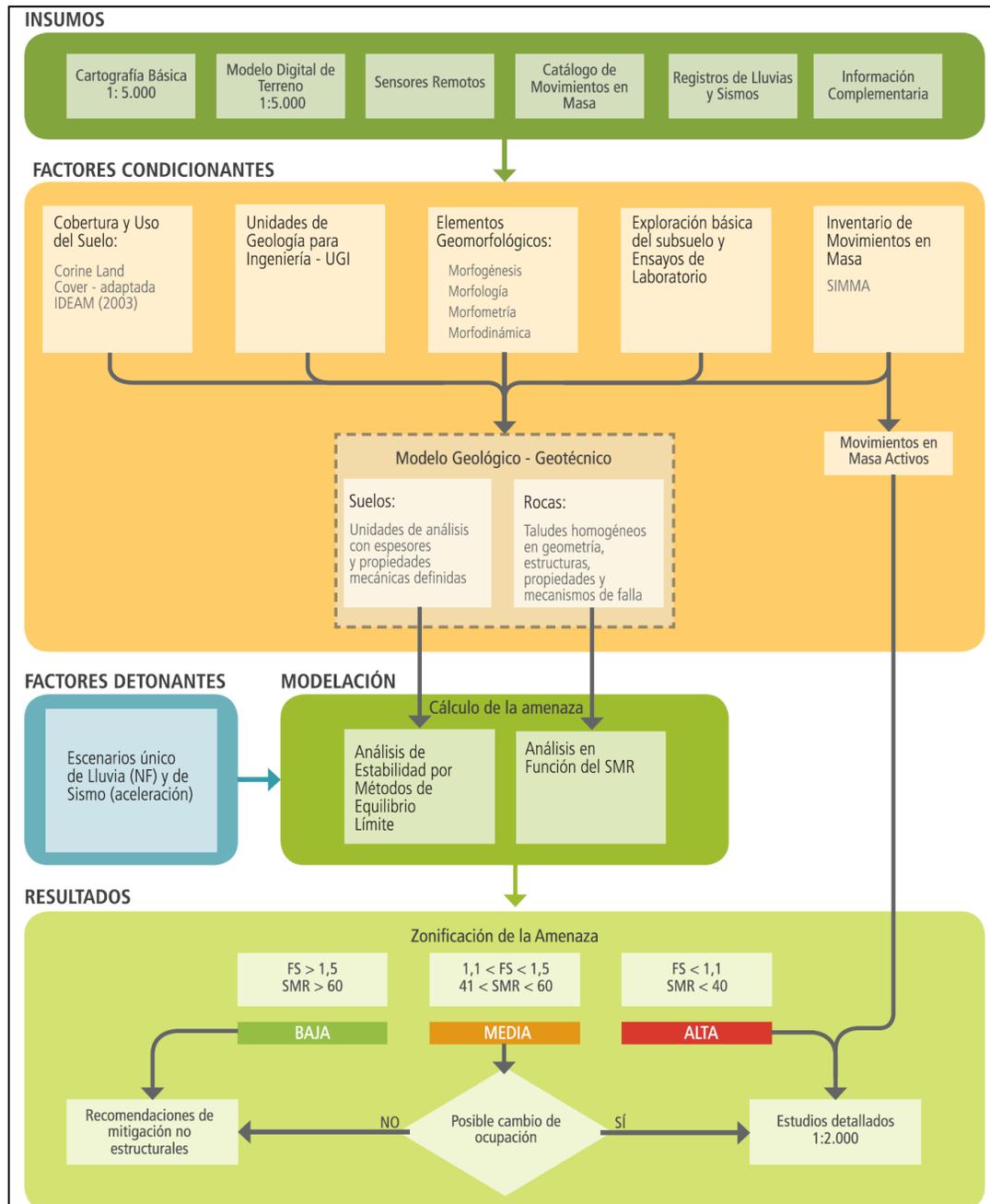
Definidos los valores de A_a , F_a , I y k_{st} , se determina que el valor de K_h será:

$$K_h = A_a * F_a * I * K_{st} \text{ en donde } K_h = 0.25 * 1.3 * 1 * 0.80 = 0.26$$

Finalmente, se procede a realizar el análisis de estabilidad mediante el MÉTODO DETERMINÍSTICO - TALUD INFINITO y METODO PROBALISTICO haciendo uso de la plataforma EXCEL.

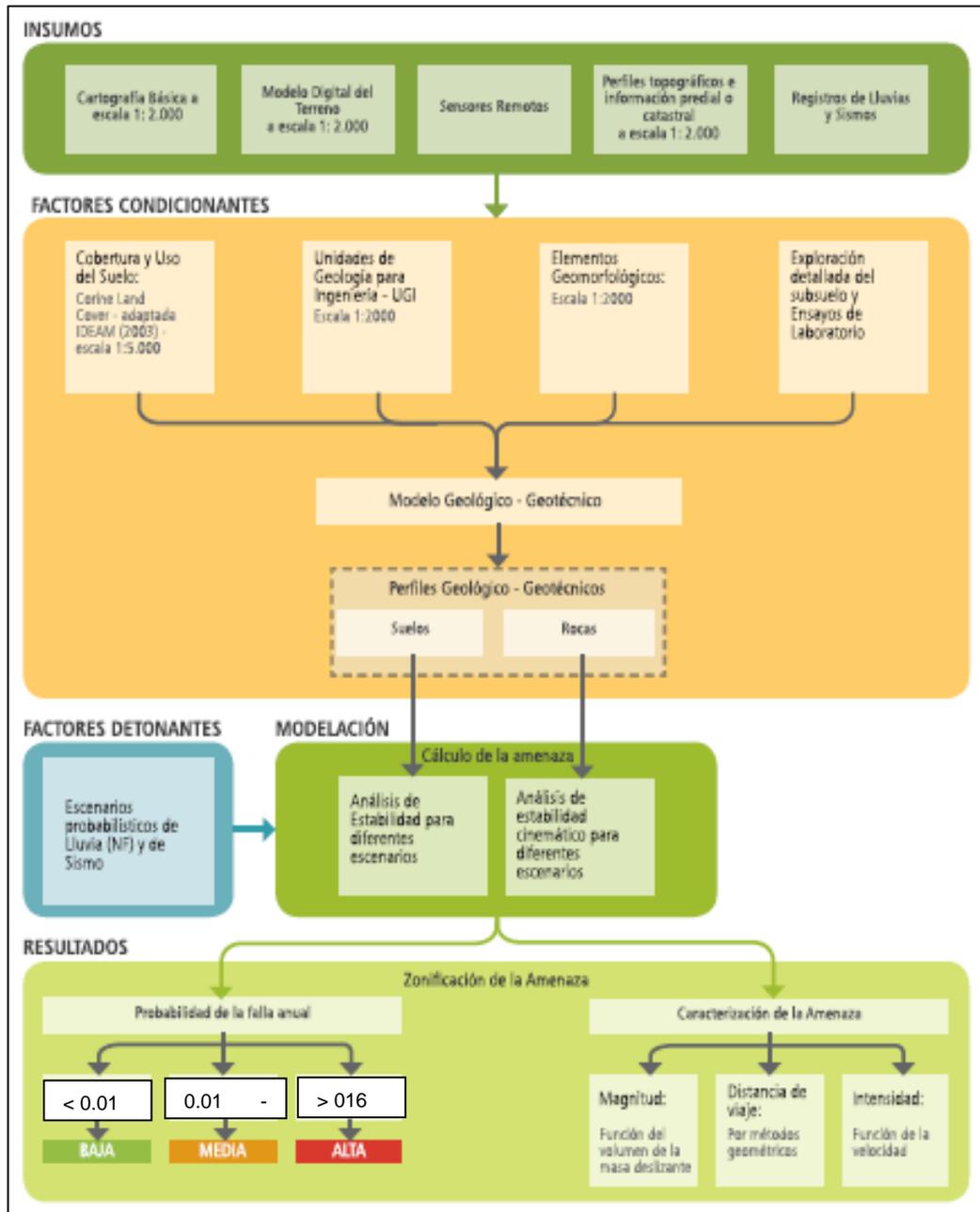
Para la aplicación del método probabilístico de MONTE CARLO, se utilizaron 10,000 iteraciones para cada una de las 2.075 muestras de la RED DE MUESTREO obtenidas previamente en el SIG de toda la zona de estudio

Figura 192. Zonificación básica de amenaza – método determinístico talud infinito



Fuente: Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. (SGC).

Figura 193. Zonificación básica de amenaza – método probabilístico



Fuente: Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. (SGC).

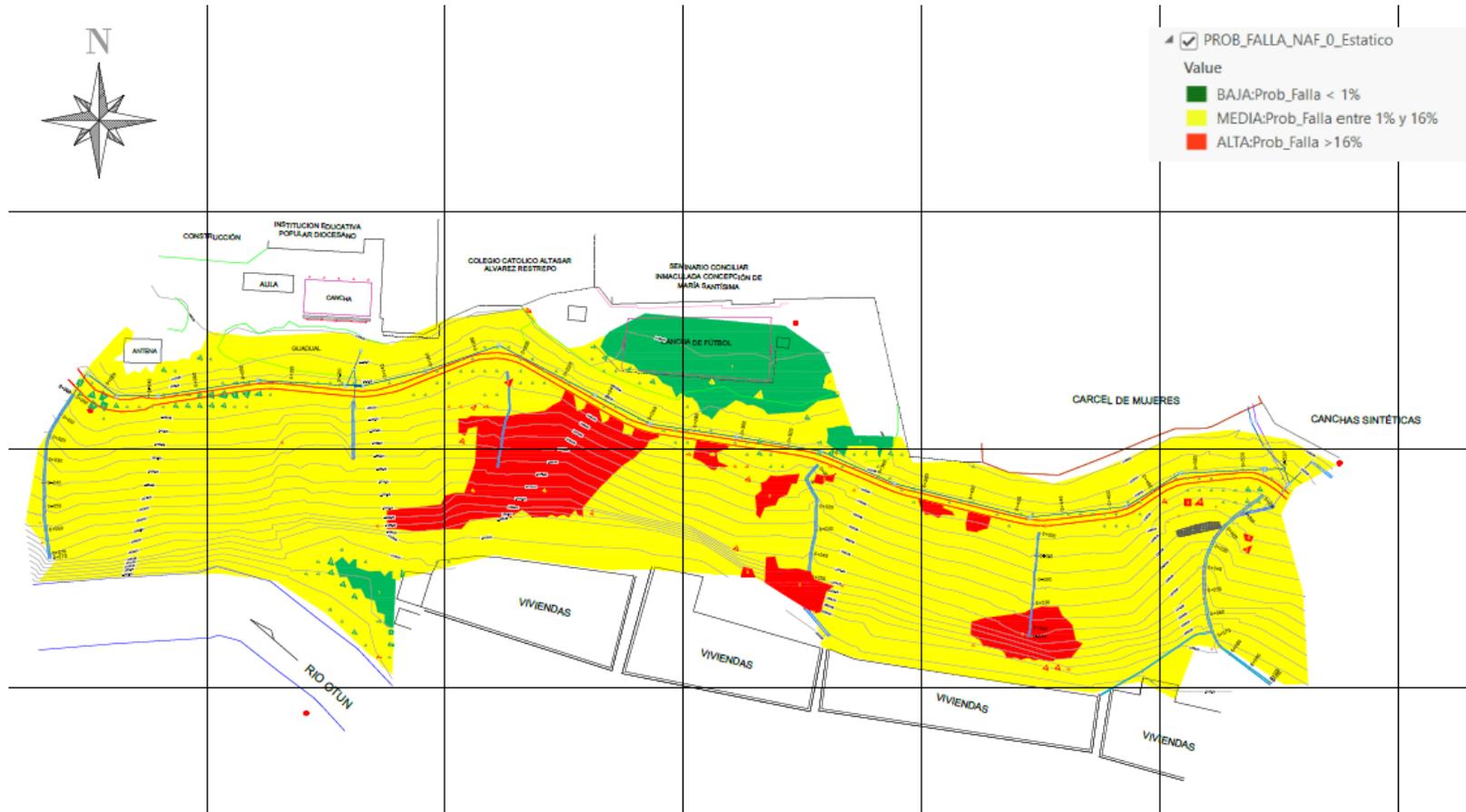
13.4.3 POS – PROCESAMIENTO (DESARROLLADO EN LAS HERRAMIENTAS DE SIG)

Como resultado de aplicación del modelo de simulación de Monte Carlo, se obtienen los valores de probabilidad de falla del talud, tanto en condiciones estáticas como dinámicas, y para diferentes condiciones de saturación del suelo estableciéndose seis (6) escenarios, a saber:

- Escenario 1: Método Montecarlo - talud en condiciones ESTATICAS con nivel de aguas freáticas 0% (Drenado-Seco)
- Escenario 2: Método Montecarlo - talud en condiciones ESTATICAS con nivel de aguas freáticas 50% (Parcialmente Saturado)
- Escenario 3: Método Montecarlo - talud en condiciones ESTATICAS con nivel de aguas freáticas 0% (Totalmente Saturado)
- Escenario 4: Método Montecarlo - talud en condiciones DINAMICAS con nivel de aguas freáticas 0% (Drenado-Seco)
- Escenario 5: Método Montecarlo - talud en condiciones DINAMICAS con nivel de aguas freáticas 50% (Parcialmente Saturado)
- Escenario 6: Método Montecarlo - talud en condiciones DINAMICAS con nivel de aguas freáticas 100% (Totalmente Saturado)

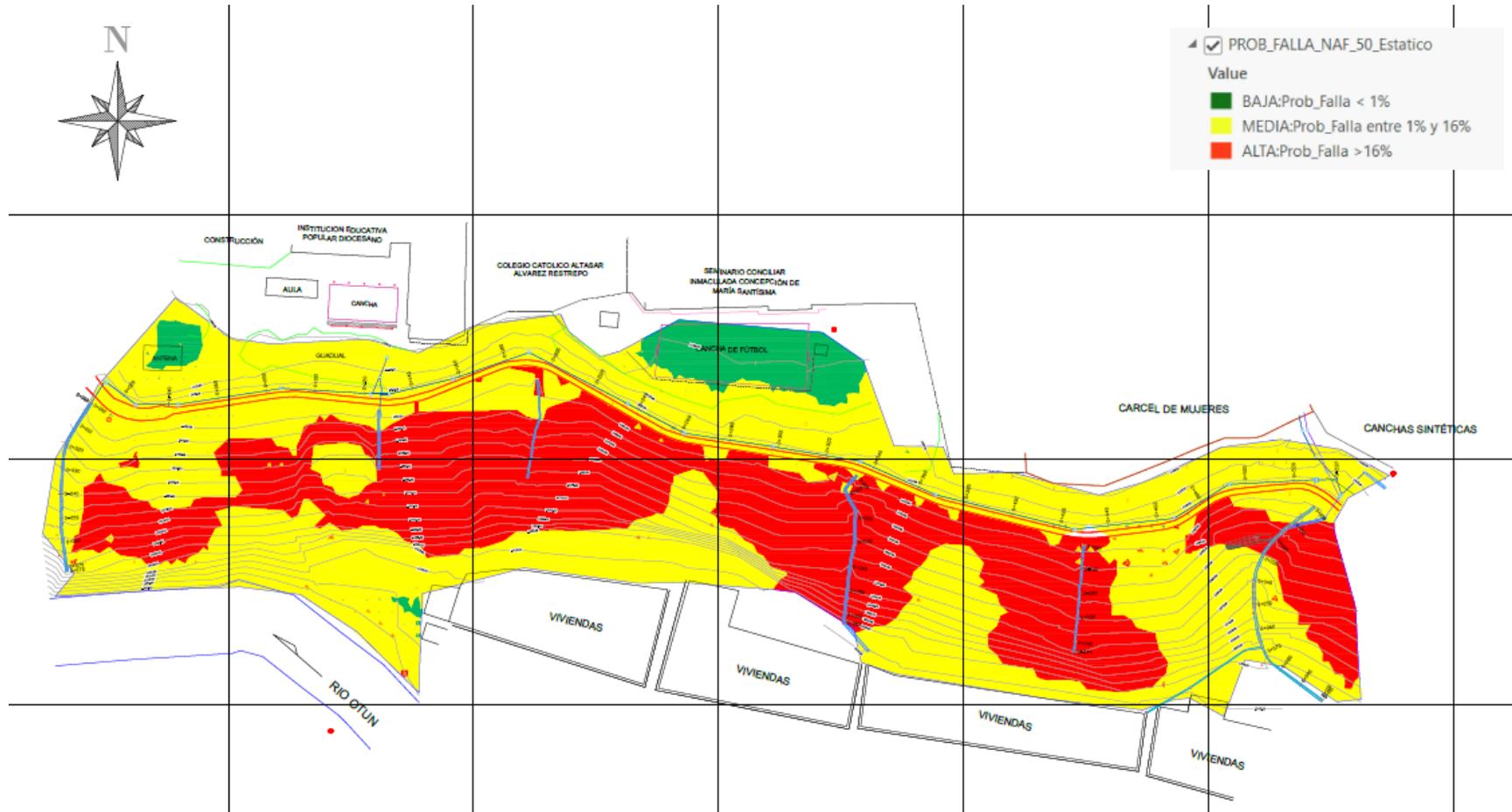
En esta fase de pos-procesamiento es de gran aplicación el uso de la herramienta SIG, ya que a partir de los resultados del modelo simulación de Monte Carlo obtenidos en la plataforma de EXCEL son debidamente procesados en el SIG por medio de métodos de interpolación espacial obteniendo los diferentes mapas para cada uno de los escenarios planteados previamente. A continuación, se presentan cada uno de los mapas obtenidos mediante SIG:

Figura 194. Mapa - Escenario 1: Método Montecarlo - talud en condiciones ESTATICAS con nivel de aguas freáticas 0% (Drenado-Seco)



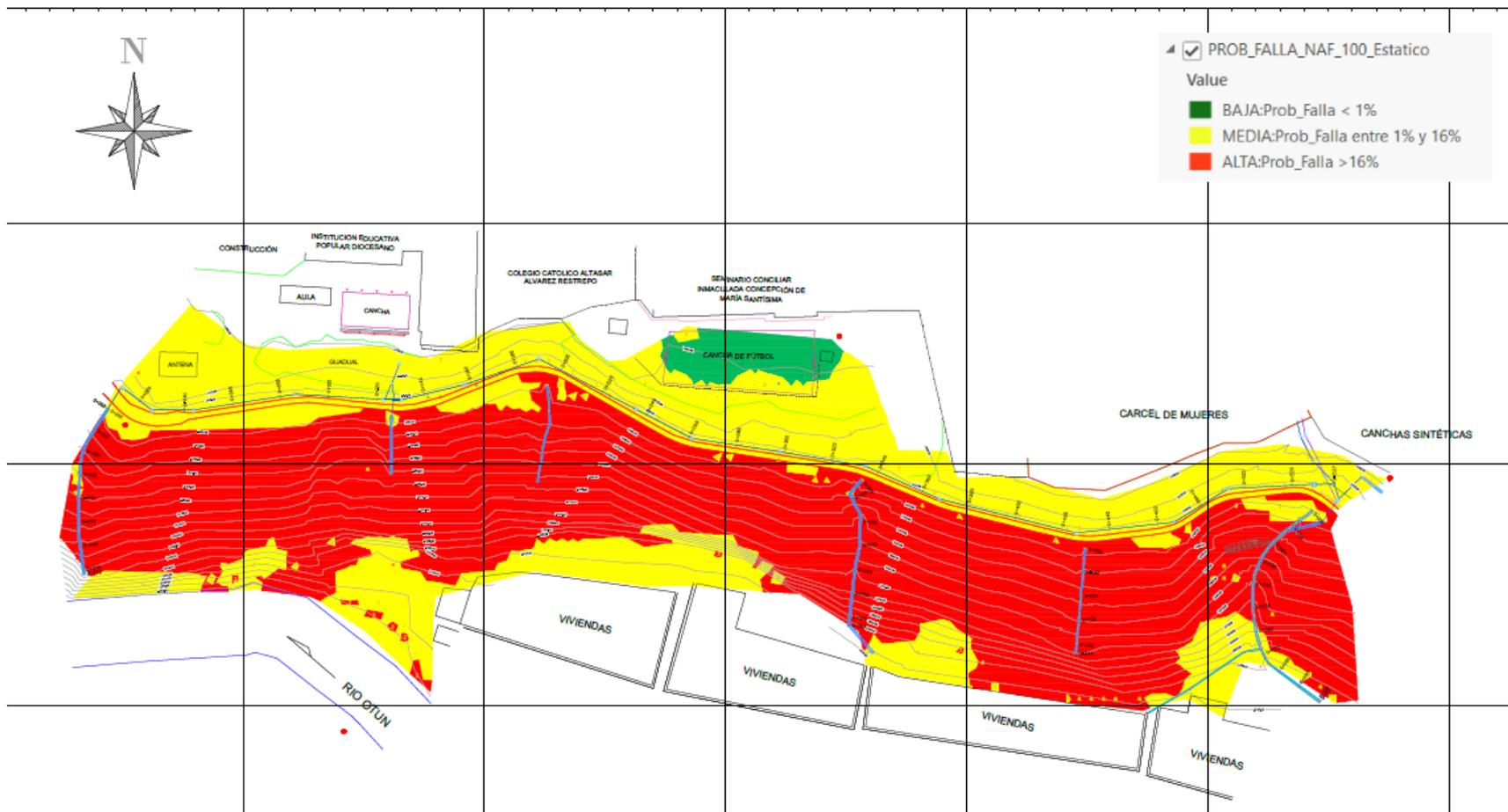
Fuente: Propia.

Figura 195. Mapa - Escenario 2: Método Montecarlo - talud en condiciones ESTATICAS con nivel de aguas freáticas 50% (Parcialmente Saturado)



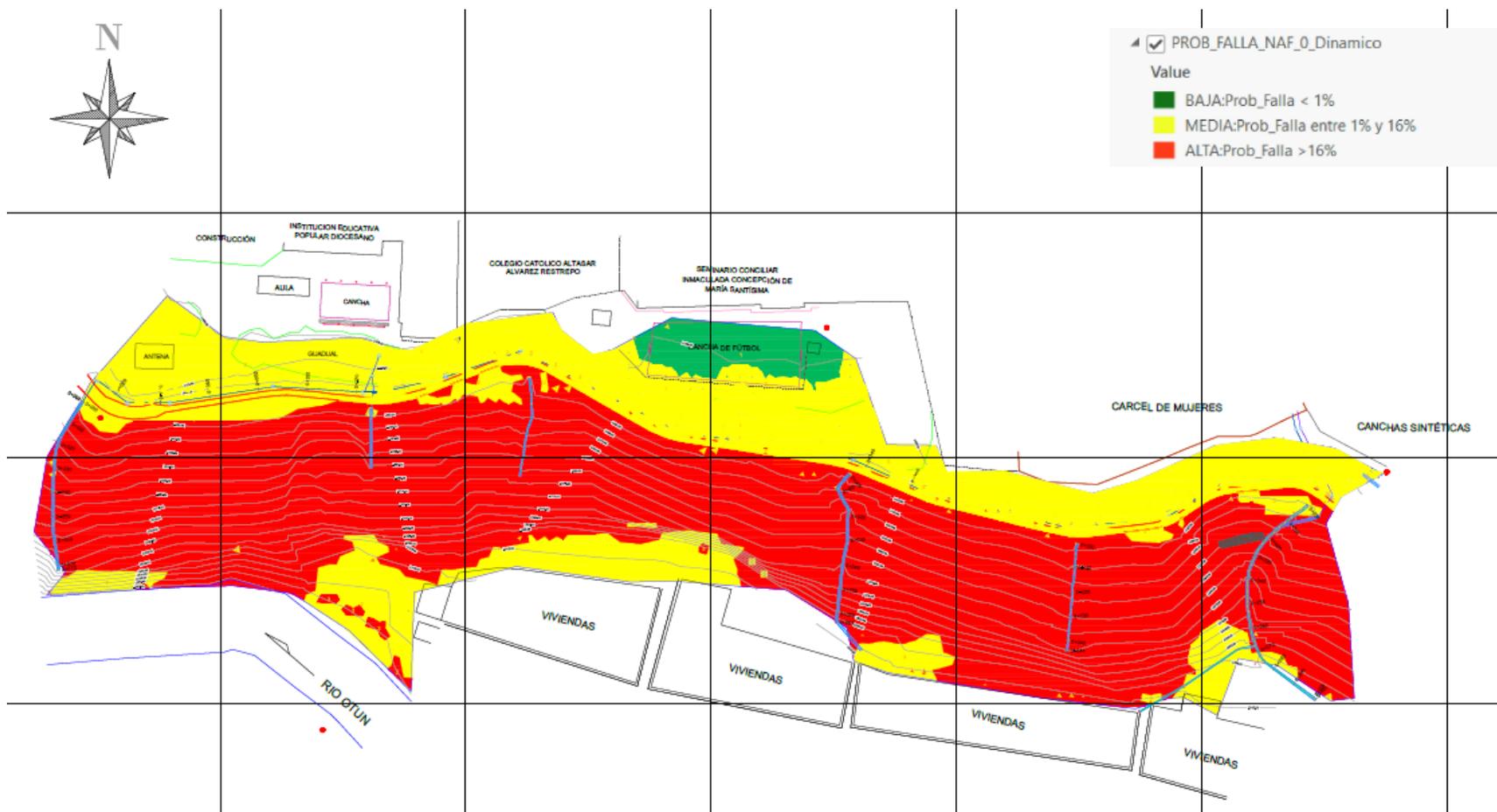
Fuente: Propia.

Figura 196. Mapa - Escenario 3: Método Montecarlo - talud en condiciones ESTATICAS con nivel de aguas freáticas 100% (Totalmente Saturado)



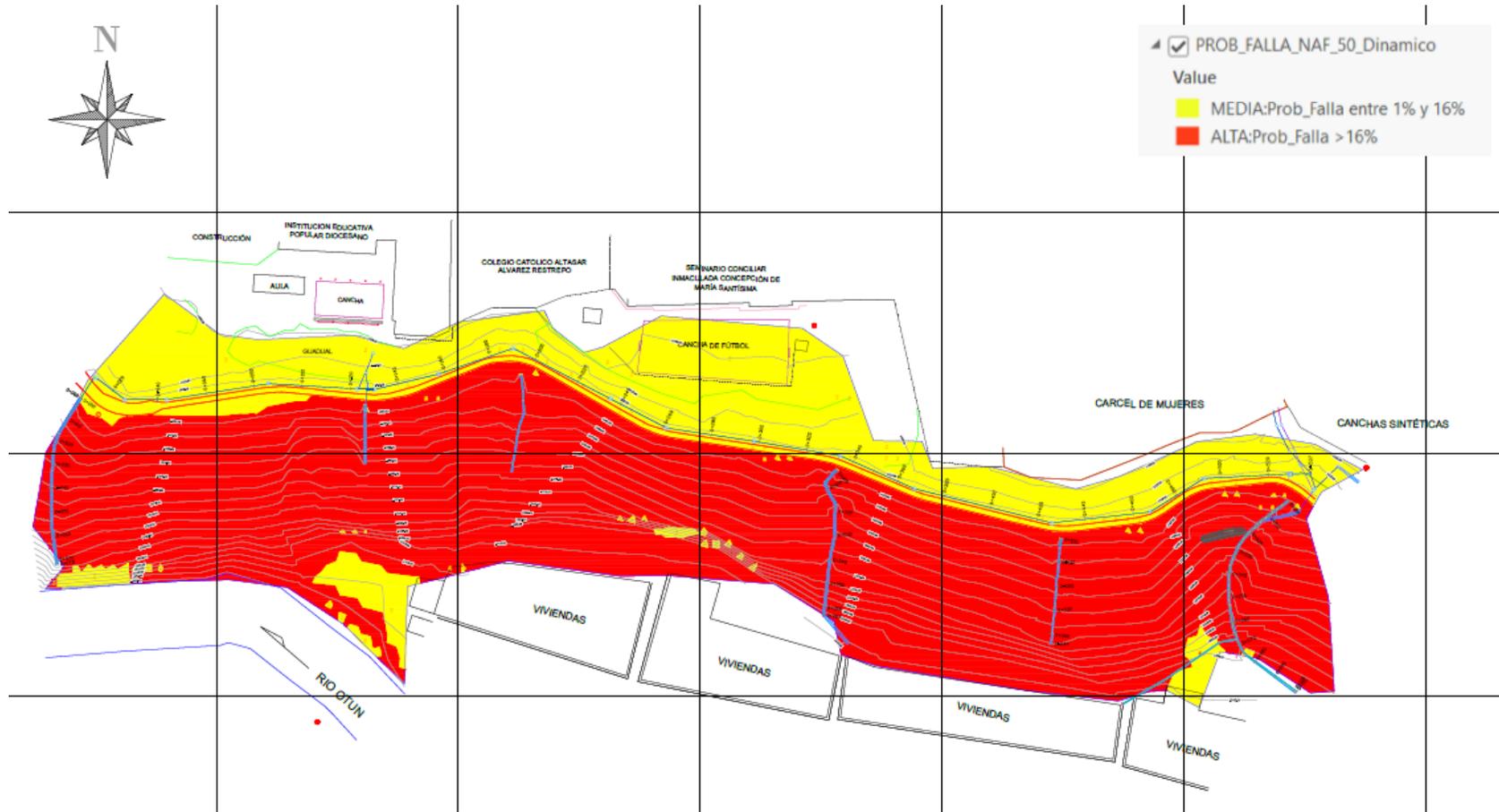
Fuente: Propia.

Figura 197. Mapa - Escenario 4: Método Montecarlo - talud en condiciones DINAMICAS con nivel de aguas freáticas 0% (Drenado-Seco)



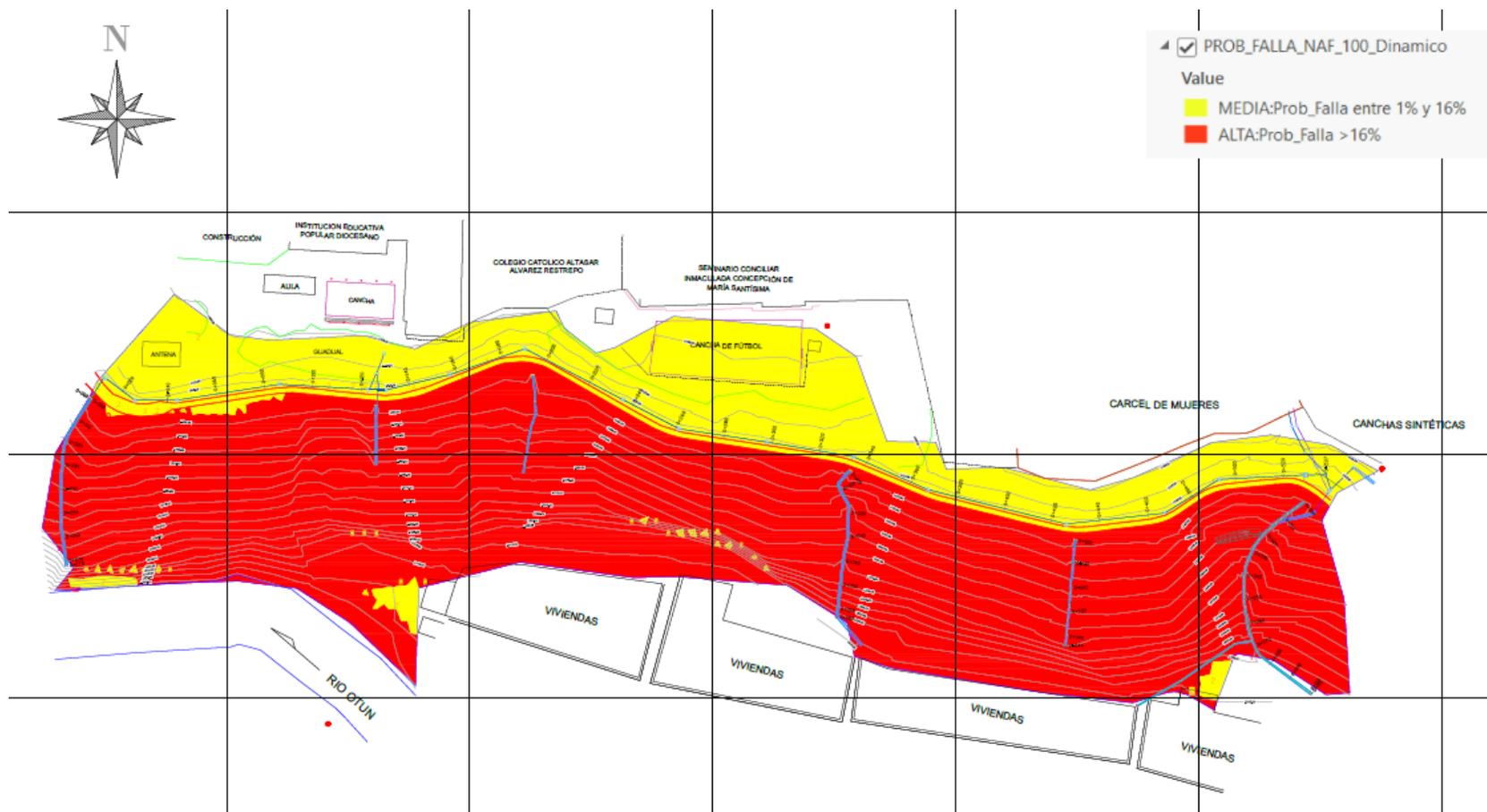
Fuente: Propia.

Figura 198. Mapa - Escenario 5: Método Montecarlo - talud en condiciones DINAMICAS con nivel de aguas freáticas 50% (Parcialmente Saturado)



Fuente: Propia.

Figura 199. Mapa - Escenario 6: Método Montecarlo - talud en condiciones DINAMICAS con nivel de aguas freáticas 100% (Totalmente Saturado)



Fuente: Propia.

14 AMENAZA

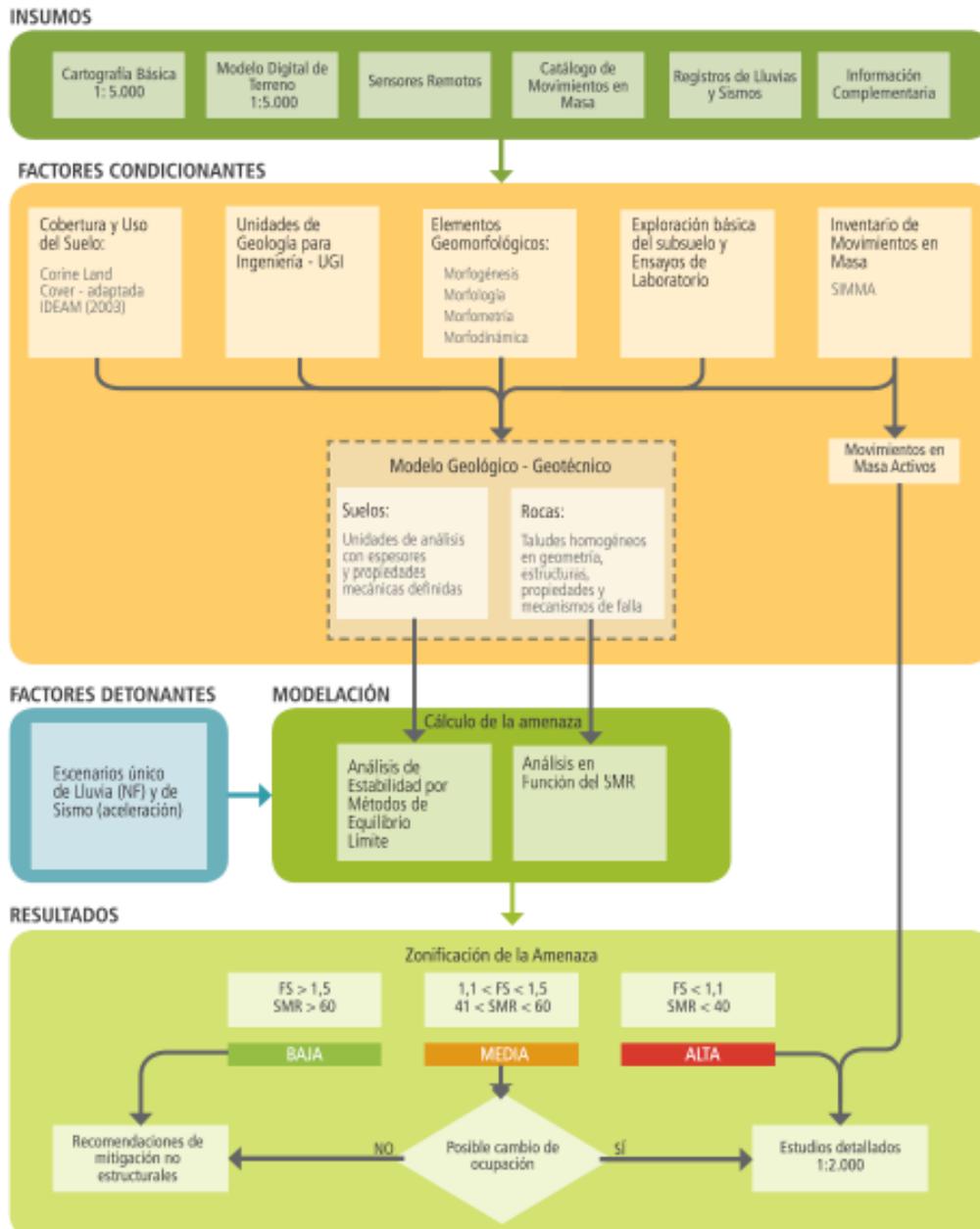
A partir de los valores obtenidos de la susceptibilidad de la zona objeto de estudio de los modelos basados en la calificación de indicadores de susceptibilidad y factores detonantes y combinando esto con los valores de factor de seguridad anteriormente calculados, es posible la zonificación de amenaza del área objeto de estudio teniendo en cuenta la zonas homogéneas obtenidas a partir de las clasificaciones encontradas en la prospección realizada, topografía, visitas de campo, fotografías aéreas e información consultada. La calificación de amenaza se realizará a partir de la siguiente matriz:

Tabla 35. Matriz de evaluación de la amenaza

EVALUACIÓN DE AMENAZA				
		SUSCEPTIBILIDAD		
		ALTA	MEDIA	BAJA
INESTABILIDAD	ALTA	Alta	Alta	Media
	MEDIA	Alta	Media	Baja
	BAJA	Media	Baja	Baja

A partir de la superposición de los datos obtenidos al aplicar las metodologías de susceptibilidad y el cálculo de la inestabilidad del terreno obtenido del factor de seguridad dinámico, se obtienen los siguientes niveles de amenaza. Es importante aclarar que la zonificación de la amenaza se realiza con los resultados arrojados de inestabilidad en la condición mas critica que es la cuando se encuentran saturados los depósitos y se presenta sismo

Figura 200. Zonificación básica de amenaza por deslizamiento en modo determinístico



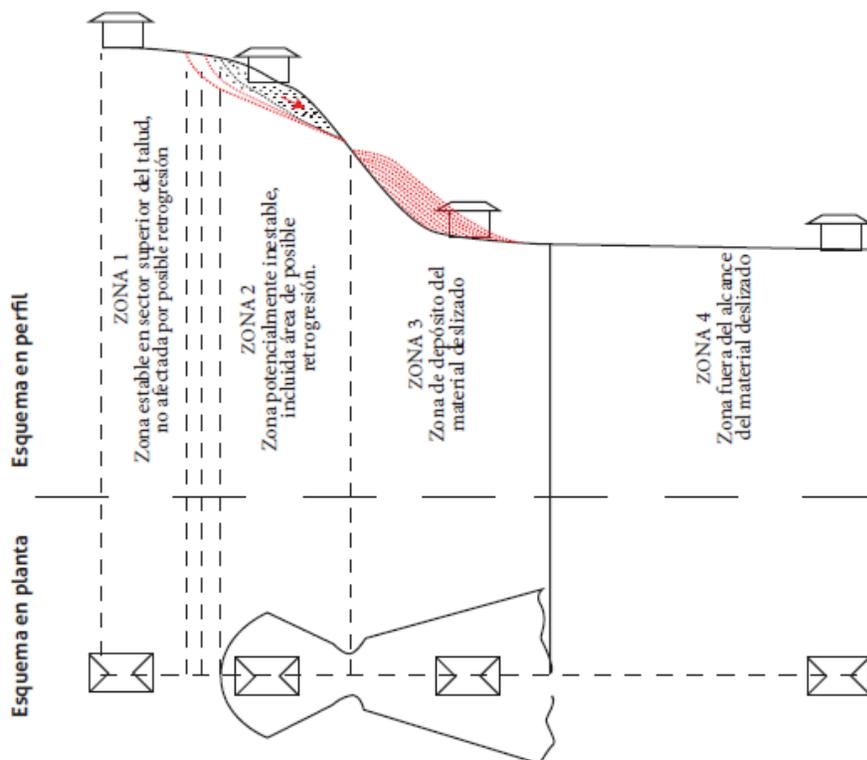
Fuente: Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. (SGC) – año 2014.

14.1 EXPOSICIÓN

La exposición es la posición relativa de los elementos respecto al área afectada por el evento. Para realizar la zonificación de la amenaza, se hace necesario evaluar la exposición de este ante un eventual movimiento en masa.

La exposición se puede dividir en cuatro zonas, las cuales se explican a continuación

Figura 201. Zona de exposición de los elementos ante un movimiento en masa



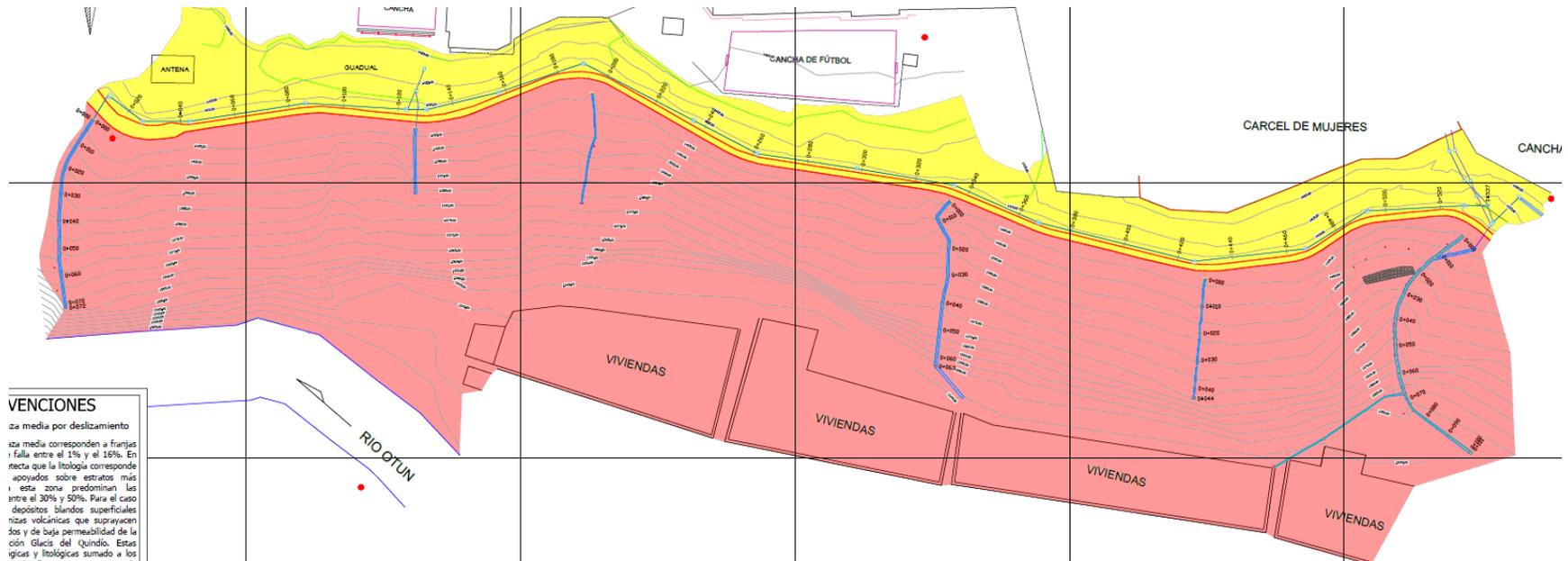
Fuente: Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (SGC)

14.1.1 EXPOSICIÓN DE LOS ELEMENTOS

Los canales bajantes se clasifican en la zona 2.

Una vez evaluada la distancia de viaje del movimiento en masa, y teniendo en cuenta el levantamiento topográfico del lugar de estudio, se deduce que las edificaciones se ubican en la zona 3 de exposición, que es donde se depositaran los posibles deslizamientos. Se entiende entonces, que las edificaciones están sobre la trayectoria del movimiento en masa (zona 3).

Figura 202. Mapa de amenaza por deslizamiento



Fuente: Propia.

CONVENCIONES

Amenaza media por deslizamiento

Las zonas de amenaza media corresponden a franjas con probabilidad de falla entre el 1% y el 16%. En estos sectores se detecta que la litología corresponde a suelos blandos apoyados sobre estratos más competentes, para esta zona predominan las pendientes medias entre el 30% y 50%. Para el caso en particular, los depósitos blandos superficiales corresponden a cenizas volcánicas que suprayacen depósitos consolidados y de baja permeabilidad de la denominada formación Glacis del Quindío. Estas condiciones morfológicas y litológicas sumado a los factores detonantes de lluvia cuya precipitación supera los 2000 mm al año y sismos cuyo coeficiente de aceleración horizontal es de 0.25 y en conjunto con las pendientes medias presentes, son los que generan en el sector estudiado las condiciones propicias para catalogar las zonas como de AMENAZA MEDIA por deslizamiento.

Amenaza alta por deslizamiento

Corresponde a zonas donde la probabilidad de falla es mayor al 16%, producto del análisis del modelo planteado y la magnitud del movimiento (Distancia de viaje y velocidad). El modelo analizado de mecanismo de falla para el sector estudiado obedece a falla planar talud infinito, donde se detecta que la litología corresponde a suelos blandos apoyados sobre estratos más competentes, en laderas de más de 50% de pendiente que en la zona de estudio cubren cerca del 90% del área estudiada. Para el caso en particular, los depósitos blandos superficiales corresponden, depósitos tipo cenizas volcánicas que suprayacen depósitos consolidados y de baja permeabilidad de la denominada formación Glacis del Quindío. Estas condiciones morfológicas y litológicas sumado a los factores detonantes de lluvia cuya precipitación supera los 2000 mm al año y sismos cuyo coeficiente de aceleración horizontal es de 0.25, son los que generan en el sector estudiado las condiciones propicias para catalogar las zonas como de AMENAZA ALTA por deslizamiento. De igual forma, la zona de exposición del talud corresponde a la zona 2 según el Servicio Geológico Colombiano, la cual es una zona potencialmente inestable y la zona del barrio La Esmeda corresponde a una zona de depósito del material deslizado clasificado como zona 3.

15 ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD

Este análisis comprende dos etapas fundamentales: La identificación de escenarios de vulnerabilidad y la zonificación de la vulnerabilidad. Los análisis de vulnerabilidad deben hacerse en las zonas de amenaza alta, o amenaza media que requieran un cambio de densidad o de uso, identificadas anteriormente. La vulnerabilidad de las estructuras se establece teniendo en cuenta la intensidad de las masas que se desplazan y la fragilidad de los elementos presentes en la zona, para finalmente evaluar los daños físicos posibles y realizar los mapas de zonificación. La vulnerabilidad de las personas se evalúa a partir de los niveles de daño de las edificaciones y es función de las eventuales pérdidas de vida o lesiones corporales.

15.1 IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS EXPUESTOS

Los elementos expuestos se dividen en dos grandes grupos: bienes físicos y personas. Ambos abarcan tanto bienes e infraestructura como servicios, recursos económicos, sociales y la población en general.

Tabla 36. Elementos expuestos

CLASIFICACIÓN		IDENTIFICACIÓN	USO - COMPONENTES	
Bienes Físicos	Edificaciones	Indispensables	Salud (pública/privada)	
		Atención a la comunidad	Seguridad	
			Emergencia	
			Educación	
		Ocupación especial	Institucionales	
			Gubernamentales	
			Centros comerciales	
			Industria	
			Ocupación normal	Residencial y comercio
		Líneas Vitales	Red Vial	Vías
Puentes vehiculares				
Puentes peatonales				
Servicios Públicos	Líneas de acueducto, alcantarillado y gas			
	Redes eléctricas y comunicaciones			
Personas	Poblacion			

Fuente: Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (SGC)

Los elementos expuestos, en la categoría de bienes físicos, han de ser identificados y localizados mediante el levantamiento topográfico y la información previa existente sobre la zona. La vulnerabilidad de la población depende de factores que cambian y generan gran incertidumbre, por lo tanto, esta será evaluada únicamente como factor de la vulnerabilidad física de las edificaciones.

Este análisis comprende la vulnerabilidad física las edificaciones de ocupación normal (residencial y comercio), la conducción a través del colector norte de serviciudad y los canales de aguas residuales y lluvias ubicadas en la ladera norte del municipio de Dosquebradas.

15.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS EXPUESTOS

Se deben obtener características como la tipología, fragilidad y exposición de los elementos previamente identificados y localizados, con el fin de evaluar su vulnerabilidad física. Esta caracterización se debe realizar en cada uno de los predios ubicados dentro de las zonas de amenaza alta por movimientos en masa. La caracterización que se utilizará es una adaptación de la evaluación de vulnerabilidad por Uzielli et al. (2010).

15.3 VULNERABILIDAD INFRAESTRUCTURA SERVICIOS PÚBLICOS

La evaluación de vulnerabilidad aquí mencionada se refiere específicamente a la infraestructura de los servicios públicos de la ladera, es decir colector ladera Norte.

TIPOLOGÍA

- **Infraestructura de servicios públicos**

La infraestructura urbana relacionada con servicios públicos se divide en las redes constituidas por tuberías, en las que se incluyen los elementos de los sistemas de acueducto, alcantarillado y redes de gas; en las redes aéreas, donde se incluye el sistema eléctrico y de comunicaciones.

Para el caso, la infraestructura de servicios públicos expuesta y evaluada por posibles procesos de remoción en masa, se encuentra compuesta por una línea de conducción de alcantarillado sanitario denominada colector Norte.

15.3.1 EXPOSICIÓN SERVICIOS PÚBLICOS

En la siguiente tabla se presenta la interpretación de la exposición del colector ladera Norte evaluado.

15.3.2 LOCALIZACIÓN

ubicado desde el costado posterior de la cárcel de mujeres, hasta el costado posterior del Colegio Diocesano Monseñor Baltasar Álvarez Restrepo. Este colector está compuesto por 536ml de tuberías de 8" (200mm) en PVC corrugado externo, además se identificaron 19 cámaras de inspección.

Figura 203. Localización colector ladera Norte.



<p>Carrera 21 #64ª-33 Edificio Multiplaza oficina 1207 Tel. 8934298 e-mail: quasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIO DE AMENAZA VULNERABILIDAD Y RIESGO PARA UN TRAMO DEL COLECTOR DE AGUAS RESIDUALES LADERA NORTE MUNICIPIO DOSQUEBRADAS</p>	<p>Página 373</p>
---	--	-------------------

15.3.3 EXPOSICIÓN DE LOS SERVICIOS PÚBLICOS

El colector se encuentra ubicado en la parte superior de la ladera.

Tabla 37. Interpretación de las zonas de exposición.

ZONA	DESCRIPCIÓN	DAÑOS ESPERADOS	CRITERIO DE INTENSIDAD O MAGNITUD
1	Elementos ubicados sobre la zona estable en la parte superior del talud, sin posibilidad de afectación por retrogresión.	No se esperan daños a causa de los movimientos en masa.	
2	Elementos ubicados sobre una ladera potencialmente inestable o potencialmente afectados por efectos de retrogresión.	Colapso o daños instantáneos debido a pérdida de soporte en la zona de retrogresión. Asentamientos diferenciales, inclinaciones y agrietamientos asociados con movimientos lentos; colapso de la estructura asociado con movimientos rápidos.	Velocidad del movimiento Actividad del deslizamiento Cantidad de desplazamiento Desplazamientos verticales
3	Elementos ubicados en la trayectoria del movimiento en masa o en la zona de depósito del material deslizado.	Daños localizados por impacto, colapso total, obstrucción, enterramiento, entre otros.	Velocidad del movimiento Distancia de viaje Presiones laterales Impactos (volúmenes y energía cinética) Alturas de acumulación de material
4	Elementos fuera del alcance del movimiento en masa y su área de depósito.	No se esperan daños debidos a los movimientos en masa.	

15.3.4 FRAGILIDAD SERVICIOS PÚBLICOS

Debido a que las estructuras expuestas en la zona presentan una tipología de redes de servicio público, se determinan las siguientes clasificaciones según el Servicio Geológico Colombiano para la definición de los parámetros de fragilidad de las mismas.

Red de alcantarillado. Se define el parámetro de fragilidad de las tuberías de las redes de alcantarillado en función de su material de fabricación.

Tabla 38. Parámetros de fragilidad de red de alcantarillado

MATERIAL	Smat
Asbesto Cemento	0,9
Gres	0,6
Concreto Simple	0,6
Polietileno	0,5
Concreto Reforzado	0,1

Fuente: Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (SGC)

15.3.5 INTENSIDAD DE MOVIMIENTOS RÁPIDOS EN LINEAS VITALES

Con el fin de evaluar la vulnerabilidad del colector ladera norte, con un escenario de movimiento rápido de la masa inestable, se establece el parámetro en función de la relación de desplazamientos inducidos y el umbral tolerable. Los umbrales de deformación de estas redes se definen en el mismo numeral. Según el Servicio Geológico Colombiano para las redes de alcantarillado se define un umbral tolerable de 5.0 cm. Adicionalmente, para este tipo de redes, se definen desplazamientos inducidos de magnitudes significativas debido a los tipos de movimiento en masa evidenciados en la zona y al tipo de material de la red de acueducto (PVC y asbesto cemento). De esta manera, se determina un parámetro de intensidad igual a 1.0.

Tabla 39. Parámetros de intensidad según el tipo de estructura

ESTRUCTURA EXPUESTA	PARÁMETRO DE INTENSIDAD
Líneas de acueducto Tubería 10" asbesto cemento	0,2
Línea de acueducto Tubería 12" en PVC	0,2
Línea de acueducto Tubería 4" en PVC	0,1

15.3.6 CÁLCULO DE LA VULNERABILIDAD SERVICIOS PÚBLICOS COLECTOR

Una vez realizados los cálculos de fragilidad de las estructuras e intensidad de los eventos, se procede a hacer el análisis de vulnerabilidad, ya que esta depende directamente de los dos factores anteriormente mencionados. La propuesta a seguir es la de Du et al. (2013), representada en la siguiente ecuación

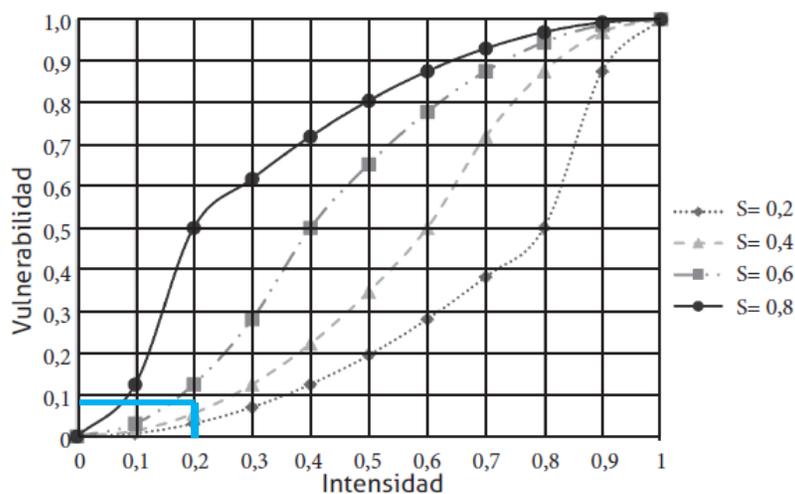
$$V = \begin{cases} \frac{1}{2} \left(\frac{I}{1-S} \right)^2 & I \leq 1 - S \\ 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{1-I}{S} \right)^2 & I > 1 - S \end{cases}$$

Donde

- V Vulnerabilidad de los elementos
- I Intensidad del evento
- S Fragilidad de los elementos

Un valor de 1,0 de vulnerabilidad significa la destrucción completa de las líneas de acueducto o la pérdida de vidas en las personas. Los valores menores a 1,0 traducen un posible daño en las estructuras o la probable pérdida de vida en las personas. Finalmente, los valores de 0 significan que las líneas de acueducto y las personas no presentarán ningún tipo de daño. La siguiente figura presenta los valores de vulnerabilidad en función de la intensidad y la fragilidad de los elementos.

Figura 204. Curvas de fragilidad de los elementos expuestos



Fuente: Du et al., 2013

15.3.7 ZONIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SERVICIOS PÚBLICOS COLECTOR

A partir de la realización de los cálculos de la vulnerabilidad para la zona de amenaza, al tratarse de edificaciones y líneas vitales, se definen tres niveles de daños para la zonificación de vulnerabilidad., lo cual da paso a la zonificación de la vulnerabilidad y la realización de los mapas. A continuación, se presentan las tablas de clasificación con sus respectivos daños esperados

Tabla 40. Clasificación de la vulnerabilidad para edificaciones y líneas vitales

CLASIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	VALOR DE LA VULNERABILIDAD	NIVEL DE DAÑO
ALTA	0.50 – 1.00	Total - Colapso
MEDIA	0.10 – 0.50	Grave
BAJA	0.02 – 0.10	Moderado

Fuente: Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (SGC)

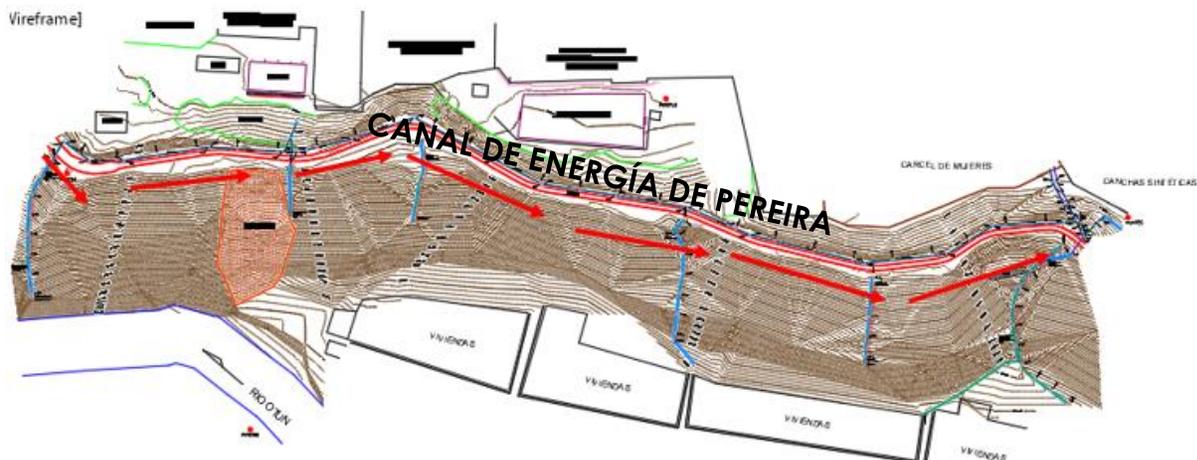
15.4 VULNERABILIDAD INFRAESTRUCTURA CANALES PRESENTES EN LA LADERA NORTE

Este análisis en este estudio comprende la obra de conducción de agua (canal rectangular abierto) y la vulnerabilidad física de dicha estructura. Así como los canales escalonados y lisos que parten de este.

15.4.1 LOCALIZACIÓN DE ELEMENTOS EVALUADOS

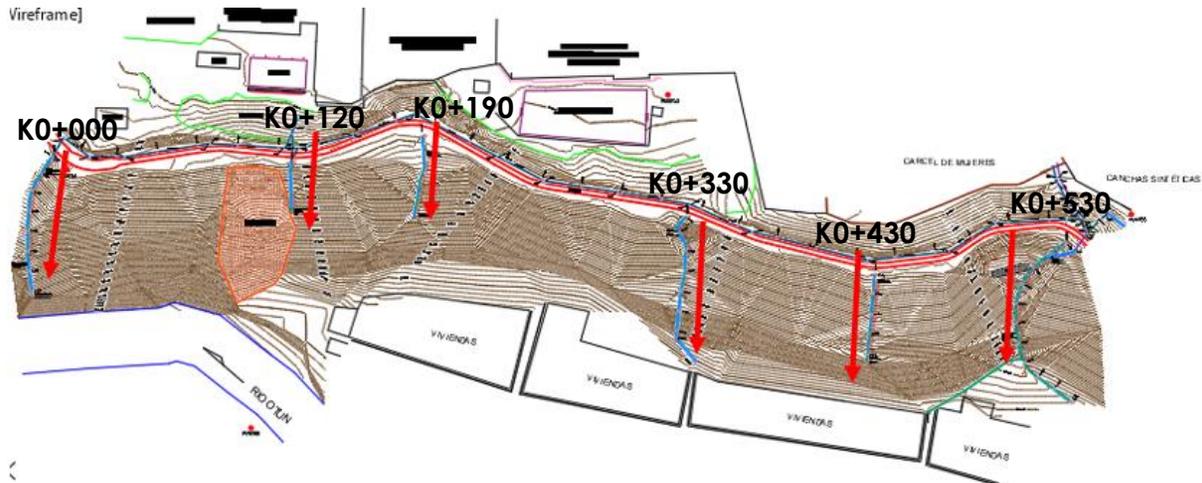
A continuación, se presenta la localización del canal de energía de Pereira y sus respectivos canales de descole.

Figura 205. Localización canal empresa de energía de pereira



Fuente: Propia

Figura 206. Localización canales de descole existentes



15.4.2 INTRODUCCIÓN

Dentro del capítulo de vulnerabilidad se incluirá la inspección visual de estructuras de drenaje según la metodología establecida por (Instituto Nacional de Vías “INVIAS” – Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá; octubre de 2006), tanto para el canal rectangular de la empresa de energía como para los canales de descole, adicionalmente para el canal rectangular de la empresa de energía se incluyen los resultados de los ensayos de resistencia del concreto mediante ensayos de compresión y los resultados de las esclerometrías para evaluación de la resistencia del concreto mediante este ensayo. Finalmente se determinará la vulnerabilidad de las estructuras bajo la Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (SGC).

15.4.3 INSPECCIÓN VISUAL DE ESTRUCTURAS DE DRENAJE

- Se constituye en la Metodología del Manual para la Inspección Visual de las Estructuras de Drenaje (Instituto Nacional de Vías “INVIAS” – Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá; octubre de 2006), obras que permiten un manejo adecuado de los fluidos, en donde es indispensable considerar los procesos de captación, conducción y evaluación de estos.
- El exceso de agua u otros fluidos en los suelos o en las estructuras de drenaje “canal” afecta las propiedades del suelo e incrementando la susceptibilidad a cambios volumétricos y generando erosiones en los mismos y deterioros prematuros a las estructuras de drenaje.
- El objetivo de las estructuras de drenaje es conducir las aguas de escorrentías o de flujo superficialmente rápida y controladamente hasta su disposición final. De esta manera se convierte en un soporte importante para el control de la erosión en taludes, permitiendo la rápida evacuación del agua.
- Las obras para el control de la erosión de taludes conducen las aguas a zonas seguras donde no se afecta la estabilidad de los taludes. En estas obras se encuentran zanjas de coronación o contra cunetas, los canales y los disipadores.

DAÑOS TÍPICOS Y FORMA DE MEDICIÓN: se presenta a continuación algunos de los daños más comunes en canales, así como la forma que debe registrarse en el formato.

- **Escalonamiento (EJ).** Desnivel entre dos módulos de concreto, separados por una junta transversal o desnivel en la junta de construcción entre los módulos.

Severidades

Teniendo en cuenta la separación (e) entre las superficies de los módulos, la clasificación de severidades es la siguiente:

Baja: $e < 6,0$ mm.

Media: $6,0 < e < 25,0$ mm.

Alta: $e > 25,0$ mm.

Deberá registrarse junto con la severidad, la longitud transversal entre los módulos de construcción del canal.

- **Grietas (GR).** Son el resultado de esfuerzos que actúan sobre el concreto. Pueden estar relacionadas con problemas intrínsecos del concreto incluyendo los defectos constructivos. Los canales en general no se diseñan para soportar cargas. Es indispensable cuando se realice la inspección, tratar de identificar si las grietas son causadas por efectos del tráfico o por el contrario tiene su origen en la calidad de los materiales o defectos constructivos.

Severidades

Teniendo en cuenta la abertura de la grieta (g), las severidades que se proponen son las siguientes:

Baja: $g < 3,0$ mm o fisuras selladas que no permitan infiltración de agua fácilmente.

Media: $3,0 < g < 10,0$ mm. Se puede observar la presencia de material granular tipo arena y alguna presencia de vegetación.

Alta: $g > 10,0$ mm en donde se observa un potencial de infiltración importante con material granular y presencia o no de vegetación.

- **Desgaste (DSU).** Corresponde al deterioro de la superficie del canal y está relacionada con el flujo del agua, mala calidad de los materiales, y así como otros agentes abrasivos y/o erosivos. Esta patología se evidencia por la pérdida del material de recubrimiento y presencia de agregados con una cara plana en la superficie, en algunos casos hay pérdida de los agregados superficiales.

Severidades

Baja: Se ha perdido recubrimiento del agregado que ha comenzado a desgastarse, pero no de manera significativa.

Media: La superficie del concreto es moderadamente rugosa y hay pérdida leve de partículas, sin embargo, no se observa socavación significativa.

Alta: La superficie está muy rugosa y presenta pérdida de partículas, puede presentarse socavación que genera un canal más pequeño por donde pasa el flujo.

Durante la inspección deberá registrarse la severidad del desgaste, el área afectada en metros cuadrados y el número de módulos de canal involucrados en el daño.

- **Desportillamiento (DPT - DPL).** Consiste en la desintegración de las aristas o del borde de una junta, longitudinal o transversal o una grieta, con pérdida de trozos y que puede afectar hasta unos 5 cm dentro del canal.

Severidades: Teniendo en cuenta la distancia (d) entre la junta y el borde externo del desportillamiento, se clasifica de la siguiente forma:

Baja: $d < 5,0$ cm.

Media: $5,0 < d < 15,0$ cm.

Alta: $d > 15,0$ cm

Durante la inspección deberá registrarse la severidad, el área afectada en metros cuadrados y el número de módulos del canal que presentan daño.

- **Fracturamiento de la estructura (FRAC).** Este daño se presenta cuando el canal presenta agrietamientos en bloques de tamaño mayor de 0,30 m. x 0,30 m. Se considera que hay fracturamiento cuando se presentan más de dos bloques en un módulo, de lo contrario deberán reportarse como grietas.

Severidades

Baja: existen más de dos bloques en el módulo del canal sin embargo no hay desplazamientos ni hundimientos del concreto y no se observa infiltración excesiva.

Media: los bloques presentan una separación entre 3 mm y 10 mm con algún desplazamiento, sin hundimientos.

Alta: los bloques presentan separaciones entre sí mayores de 10 mm, adicionalmente hay desplazamientos y hundimientos que permiten infiltración de agua a las capas inferiores. Puede existir remoción total o parcial del concreto y no hay continuidad de la cuneta.

Durante la inspección deberá registrarse la severidad, el área afectada en metros cuadrados y el número de módulos fallados. Adicionalmente deberá indicarse si hay pérdida del concreto, indicando el área faltante.

- **Separación del canal (SC).** Esta patología indica el ensanchamiento de la junta existente entre los módulos de construcción del canal.

Severidades

Baja: $SC < 3,0$ mm

Media: $3,0 < SC < 10,0$ mm

Alta: $SC > 10,0$ mm

Durante la inspección deberá registrarse además de la severidad, la longitud en metros del canal afectado, así como el número de módulos involucrados.

Severidades

Baja: $SC < 3,0$ mm

Media: $3,0 < SC < 10,0$ mm

Alta: $SC > 10,0$ mm

Durante la inspección deberá registrarse además de la severidad, la longitud en metros del canal afectado, así como el número de módulos involucrados.

- **Obstrucción (OBS).** Consiste en el depósito de sedimentos que generan un estancamiento del agua. Esta patología está relacionada con la velocidad de flujo del canal, ya que a bajas velocidades se pueden presentar depósitos de sedimentos que generan la obstrucción del canal.

Severidades

Baja: menos del 1% de la sección se encuentra con material tanto transportado como del que proviene de taludes adyacentes.

Media: El canal se encuentra obstruida en un 30% de su sección transversal.

Alta: la cuneta presenta obstrucción en más del 30% de su sección transversal.

Deficiencias constructivas. Dentro de este ítem se encuentran daños como hormigueros, segregación de la mezcla de concreto, malos acabados, etc. En el formato deberá registrarse el elemento en donde se encuentra el problema, una descripción del daño y el área afectada en metros cuadrados.

- Se evaluará con los mismos criterios dados y deberán registrarse los elementos que presentan este problema, así como un porcentaje aproximado de la sección obstruida y su longitud. Adicionalmente, deberá hacerse la observación si la obstrucción es por falta de mantenimiento o debido a deficiencias constructivas y/o de diseño.

- **Socavación del concreto.** La socavación del concreto puede provocar infiltraciones que generan inestabilidad del terreno. En el formato deberá registrarse, el elemento socavado, así como el área afectada en metros cuadrados.
- **Colapso de la estructura.** Se identifican los tramos en los cuales no hay continuidad en la estructura, precisando si se trata de una falla de la estructura, o es generada por problemas de inestabilidad del terreno o por efectos antrópicos. En el formato deberá registrarse el elemento colapsado, así como la longitud afectada en metros y si el ingeniero determina fácilmente el origen del fallo, éste deberá quedar igualmente consignado.

15.4.4 PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DE DRENAJE

- **CAPTURA DE INFORMACIÓN DE CAMPO**

Para el registro y la captura de información de campo se han desarrollado formatos. Teniendo en cuenta que la finalidad del registro de los daños es determinar el estado de las obras y su funcionalidad, para algunas obras podrá hacerse en formatos destinados para otras estructuras haciendo las respectivas aclaraciones en un lugar visible y bien identificado. Para efectos de las obras descritas en este manual, se sugiere registrar la información de campo en los formatos identificados

Formato de captura de información.

En el formato se presenta detalladamente la recolección de información de campo, describiendo cada una de sus partes, características que permitan identificar el canal que se está inspeccionando.

- PR Inicial del canal.
- Lado: se debe marcar con una X en que costado de la vía (izq. o der.) se encuentra la cuneta, esto de acuerdo con el sentido del abscisado.
- Longitud: en este campo se debe referenciar la longitud total del canal y la de cada módulo en metros. En este caso se le denomina módulo a cada una de los segmentos que están separados por juntas transversales.
- Forma: se debe identificar en campo que tipo de sección transversal presenta el canal, en esta casilla se coloca V si es triangular, R si es rectangular, T si es trapezoidal y S si es semicircular. Para identificar mejor la sección es obligatorio realizar un esquema del canal en la parte 4 del formato.

Registro de daño.

En esta parte del formato se debe referenciar los daños que se encuentren en el canal, y si es el caso, los problemas que se presenten en las zonas aledañas que puedan o no llegar a afectar la estructura que se está inspeccionando.

- Tipo: se debe colocar la convención de cada una de las patologías descritas anteriormente que se encuentren en el canal inspeccionado. (En el reverso del formato se encuentra el cuadro resumen de las convenciones para cada patología).

- Severidad: se colocará la severidad de cada patología encontrada teniendo en cuenta los parámetros establecidos para cada una de ellas.
- Cantidad: En este campo se referencia las dimensiones de los daños encontrados, dependiendo del tipo de patología.
- Unidad: Se refiere a la unidad de medida utilizada para la medición de las patologías (Se recomienda utilizar el sistema internacional de unidades).
- Fotografía: Es importante llevar un registro fotográfico de los daños encontrados, para lo cual se ha dispuesto esta casilla, en la que se debe registrar el número de la(s) fotografías(s) correspondiente(s) al daño reportado.

También se deben utilizar para reportar alguna particularidad o simplemente para mostrar una vista general de una estructura que se encuentre en buen estado.

- Observaciones: Este espacio se ha dispuesto para registrar cualquier información adicional que el Ingeniero considere importante y que no sea posible consignar en el formato, tal como problemas generalizados en el canal, problemas en las zonas aledañas (movimientos en masa, socavación, etc.) que afecten la continuidad de flujo del canal, cambios de sección en un mismo tramo, etc.

Esquemas

En esta parte del formato es obligatorio realizar un esquema que indique claramente la sección transversal (perfil) del canal, para este caso es primordial colocar las dimensiones de cada uno de los elementos que conforman la estructura.

Observaciones generales

Este espacio se ha dispuesto para registrar cualquier información adicional que el Ingeniero considere importante y que no sea posible consignar en el formato, tal como condiciones climáticas en el momento de la inspección y días anteriores, falta de estructuras que garanticen la estabilidad de las obras y/o de la zona, características especiales del terreno, información de los habitantes, etc.

Reverso.

La información presente en el reverso del formato busca identificar los diferentes daños que existen en este tipo de estructuras, sus severidades y las convenciones utilizadas en el formato de campo.

Tabla 41. Formato de campo para estructuras de drenaje

Figura 15. Reverso del formato para el levantamiento de daños en cunetas

CONVENCIONES Y SEVERIDADES PARA DANOS EN CUNETAS Y EN CANALES DE CONDUCCION				
DAÑO	CONVENC.	SEVERIDAD		
		BAJA	MEDIA	ALTA
Escalonamiento (m)	EJ	Altura < 6 mm	Altura 6 - 25 mm	Altura > 25 mm
Grietas (m)	GR	Altura < 0.1 mm o selladas	Altura 0.1 - 1 mm	Altura > 1 mm
Desgaste (m ² o # módulos)	DSU	El agregado ha comenzado a desgastarse, pero no de manera significativa.	La superficie de la cuneta es moderadamente rugosa, hay pérdida de partículas leve, sin embargo no se observa socavación significativa.	La superficie está muy rugosa y presenta pérdida de partículas, puede presentarse socavación que genera un canal más pequeño por donde pasa el flujo.
Desportillamiento (m)	DPT, DPL	Longitud = 5 cm	Longitud 5 - 15 cm	Longitud > 15 cm
Fracturamiento (m ² o # módulos)	FRAC	Existen más de dos bloques en el módulo de la cuneta sin embargo no hay desplazamientos ni hundimientos del concreto y no se observa infiltración excesiva	Los bloques presentan una separación entre 0.1 mm y 3 mm con algún desplazamiento sin hundimientos.	Los bloques presentan separaciones entre sí mayores de 3 mm con desplazamientos, hundimientos que permiten infiltración excesiva de agua a las capas inferiores. Puede existir remoción total o parcial del concreto y no hay continuidad de la cuneta.
Separación de la cuneta (m)	SC	Ancho < 3 mm	Ancho 3 - 10 mm	Ancho > 10 mm
Obstrucción (m)	OBS	Menos del 1% de la sección se encuentra con material tanto transportado como del que proviene de taludes adyacentes.	La cuneta se encuentra obstruida hasta un porcentaje que puede llegar a alcanzar un 30% de la sección.	La cuneta presenta obstrucción en más del 30% de su sección.
Entrega	-	Aunque aquí no se describe un daño deberá quedar registrado durante la visita si existe o no una entrega adecuada de las aguas a estructuras que conduzcan a una canal natural o artificial.		

15.4.5 CANAL RECTANGULAR EN CONCRETO DE LA EMPRESA DE ENERGÍA

Canal en concreto reforzado, se determina mediante inspección visual que dicho canal no se encuentra en funcionamiento aparente dado su estado de abandono, las dimensiones del canal son 2.20 m de ancho por 2.20 metros de alto.

15.4.5.1 EVALUACIÓN ESTADO ACTUAL CANAL DE EMPRESA DE ENERGÍA

Se realizó recorrido a todo lo largo del canal que cuenta con una longitud aproximada de 560m, esta estructura se localiza en la parte superior del lote, el cual realiza un recorrido de manera transversal a todo lo largo de la ladera; dicho canal tenía funciones específicas para la empresa de energía, en la actualidad no se evidencia funcionamiento de este.

El canal inicia a la altura de las canchas sintéticas contiguas a la cárcel y finalizando a la altura de la institución educativa popular diocesano como se muestra en la figura.

Al inicio del canal evaluado existe un canal de tipo trapezoidal el cual de acuerdo a su inspección está construido en mampostería ancho superior 4.00 metros, ancho inferior 3.00 metros y altura aproximada 2.20 metros. Dicho canal se presenta en una longitud cercana a 40.0 metros. En estas unidades el canal presenta obstrucción total por crecimiento de vegetación frondosa en su totalidad, adicionalmente el recubrimiento del mismo se encuentra en mal estado.

Figura 208. Fotos canal trapezoidal unidad 1 y 2

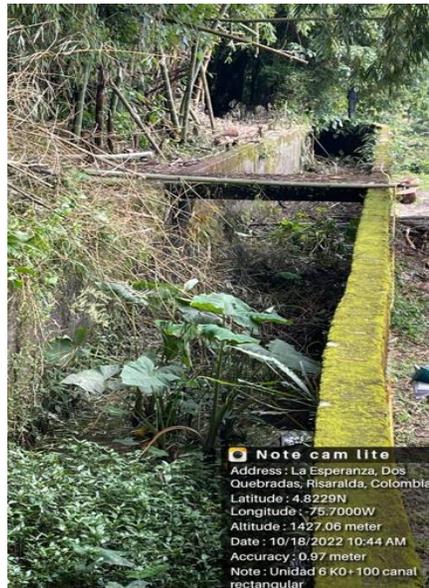
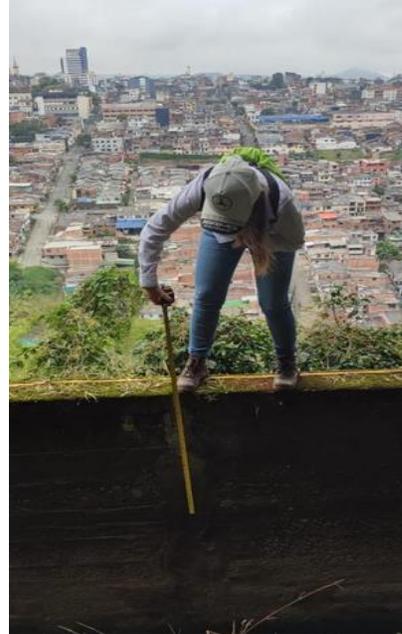


Posteriormente se encuentra un canal rectangular en concreto de dimensiones 2.20m de alto por 2.20m de ancho y espesores del canal 20 cm, dicho canal presenta obstrucción y falta de funcionamiento, sin embargo, adicionalmente la estructura de concreto presenta daños como desgaste, desportillamiento o escalonamiento, el estado de la estructura no presenta daños severos dado que la calificación en su mayoría está calificada como severidad media a baja.

Figura 209. Fotos canal rectangular unidad 3 a 7



Figura 210. Fotos canal rectangular unidad 3 a 7



En las unidades 8-9, 10 y 11 se evidencia la continuidad del canal con dimensiones 2.20m de alto por 2.20m de ancho y espesores del canal 20 cm, dicho canal presenta un nivel de obstrucción mayor con vegetación frondosa de casi el 100% dentro del canal, falta de funcionamiento, adicionalmente la estructura de concreto presenta daños como desgaste, desportillamiento o escalonamiento, el estado de la estructura no presenta daños severos dado que la calificación en su mayoría está calificada como severidad media a baja.

Figura 211. Fotos canal rectangular unidades 8 a 11



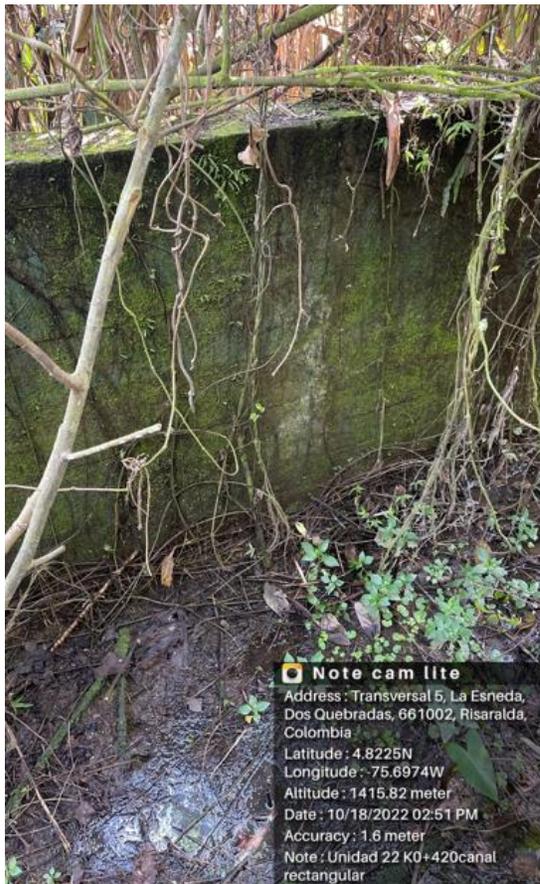
En las unidades 12-18 se evidencia la continuidad del canal con dimensiones 2.20m de alto por 2.20m de ancho y espesores del canal 20 cm, dicho canal presenta obstrucción 100% dentro del canal, falta de funcionamiento, adicionalmente la estructura de concreto presenta daños como grietas presentes en las paredes del canal, **dichas grietas tienen en algunos casos longitudes de hasta 2 metros**, adicionalmente se presenta desgaste, desportillamiento o escalonamiento, el estado de la estructura no presenta daños severos dado que la calificación en su mayoría está calificada como severidad media a baja.

Figura 212. Fotos canal rectangular unidades 12 a 18



En las unidades 19-22 se evidencia la continuidad del canal con dimensiones 2.20m de alto por 2.20m de ancho y espesores del canal 20 cm, dicho canal presenta obstrucción 100% dentro del canal, falta de funcionamiento, adicionalmente la estructura de concreto presenta daños como grietas presentes en las paredes del canal, dichas grietas tienen en algunos casos longitudes de hasta 2 metros, adicionalmente se presenta desgaste y desportillamiento el estado de la estructura no presenta daños severos dado que la calificación en su mayoría está calificada como severidad media a baja.

Figura 213. Fotos canal rectangular unidades 19 a 22



En las unidades 22-28 se evidencia la continuidad del canal con dimensiones 2.20m de alto por 2.20m de ancho y espesores del canal 20 cm, dicho canal presenta obstrucción 80% dentro del canal, falta de funcionamiento, adicionalmente la estructura de concreto presenta daños como grietas presentes en las paredes del canal, dichas grietas tienen en algunos casos longitudes de hasta 2 metros, adicionalmente se presenta desgaste, escalonamiento y desportillamiento el estado de la estructura no presenta daños severos dado que la calificación en su mayoría está calificada como severidad media a baja.

Figura 214. Fotos canal rectangular unidades 22 a 29



Figura 215. Formato para inspección visual unidad 1-6

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FORMATO PARA INSPECCIÓN VISUAL DE CUNETAS

QUASAR

INVIAS

TERRITORIAL: S

NOMBRE DEL PROYECTO: Servitud Dosquebradas

SECTOR: Canal choc

UNIDAD: 1

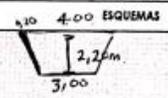
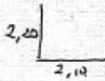
EVALUACIÓN DE LAS OBRAS DEL CONTRATO No. _____ DE: _____

MANUTENIMIENTO INTEGRAL:

FECHA: 18/10/22

HOJA: 1

LEVANTADO POR: _____

PR INICIAL	LONGITUD (m)		FORMA	DAÑO				FOTOGRAFÍA No.	OBSERVACIONES		
	TOTAL	MÓDULO		TIPO	SEV.	CANT.	UN.				
1	K0+000	540	20	T	OBS	A	20	m	1,2	Se presenta obstrucción total en los primeros 20m, incluye crecimiento de árboles y agua al finalizar esta unidad se presenta una estructura de desagüe.	
	K0+000	540	20	T	DSU	A			3,4,5		
	K0+000	540	20	T	EJ	B	10	cm	6		
2	K0+020	540	20	T	OBS	A	20	m	7,8,9,10	obs total	
3	K0+040	540	20	T	OBS	A	98	m	11,12,13,14	canal T obs. 9 metros	
	K0+040	540	20	T	DSU	A	25	m	15,16		
	K0+040	540	20	R	OBS	H-A	11	m	17	canal R 11 mts. lo alta de obstrucción y ramas	
	K0+040	540	20	R	DSU	H	7,30	m		5 de 20 cm, 20 de 10 cm.	
4	K0+060	540	20	R	OBS	H-A	20	m	18,19,20,21,22		
	K0+060	540	20	R	EJ	B	1	m	23,24		
	K0+060	540	20	R	DSU	H	20	m	25,26,27,28		
5	K0+080	540	20	R	OBS	H-A	20	m	29-37		
	K0+080	540	20	R	DPT	H	30	cm	38-39		
	K0+080	540	20	R	DSU	H	20	m	39-40-41-42		
6	K0+100	540	20	R	OBS	A	20	m	43-46-45-46 47-48-49-50		

OBSERVACIONES GENERALES:

Figura 216. Formato para inspección visual unidad 1-6



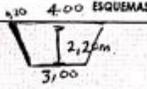
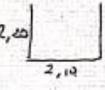
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FORMATO PARA INSPECCIÓN VISUAL DE CUNETAS





TERRITORIAL: _____
 NOMBRE DEL PROYECTO: Servitud Dosquebradas EVALUACIÓN DE LAS OBRAS DEL CONTRATO No. _____ DE: _____
 SECTOR: Canal choc MANTENIMIENTO INTEGRAL:
 UNIDAD: 1 FECHA: 18/10/22
 HOJA: 1
 LEVANTADO POR: _____

PR INICIAL	LONGITUD (m)		FORMA	DAÑO				FOTOGRAFÍA No.	OBSERVACIONES	ESQUEMAS
	TOTAL	MÓDULO		TIPO	SEV.	CANT.	UN.			
1) K0+000	540	20	T	OBS	A	20	m	1,2	Se presenta obstrucción total en los primeros 20m, incluye crecimiento de árboles y agua al finalizar esta unidad se presenta una estructura de desagüe.	
K0+000	540	20	T	DSU	A		3,4,5			
K0+000	540	20	T	EJ	B	10	cm	6		
2) K0+020	540	20	T	OBS	A	20	m	7,8,9,10	obs total	
3) K0+040	540	20	T	OBS	A	9	m	11,12,13	canal T obs. 9 metros	
K0+040	540	20	T	DSU	A	25	m	15,16		
K0+040	540	20	R	OBS	H-A	11	m	17	Canal R 11 mts. lo altura de obstrucción y ramas	
K0+040	540	20	R	DSU	H	7,30	m		5 de 20 cm, 20 de 10 cm.	
4) K0+060	540	20	R	OBS	H-A	20	m	18,19,20,21,22		
K0+060	540	20	R	EJ	B	1	m	23,24		
K0+060	540	20	R	DSU	H	20	m	25,26,27,28		
5) K0+080	540	20	R	OBS	H-A	20	m	29-37		
K0+080	540	20	R	DPT	H	30	cm	38-39		
K0+080	540	20	R	DSU	H	20	m	39-40-41-42		
6) K0+100	540	20	R	OBS	A	20	m	43-46-45-46 47-48-49-50		

OBSERVACIONES GENERALES: _____

Figura 217. Formato para inspección visual unidad 7-12



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FORMATO PARA INSPECCIÓN VISUAL DE CUNETAS



QUASAR
PIONEROS EN GESTIÓN DEL RIESGO



INVIAS
INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS

TERRITORIAL: _____
 NOMBRE DEL PROYECTO: Serviciudad Dosquebradas EVALUACIÓN DE LAS OBRAS DEL CONTRATO No. _____ DE _____
 SECTOR: _____ MANTENIMIENTO INTEGRAL:
 UNIDAD: 2

FECHA: _____
 HOJA: _____
 LEVANTADO POR: _____

PR INICIAL	LONGITUD (m)		FORMA	DAÑO				FOTOGRAFÍA No.	OBSERVACIONES	ESQUEMAS
	TOTAL	MÓDULO		TIPO	SEV.	CANT.	UN.			
6 KO+100	540	20	R	DSU	M-B	20	m	51, 52, 53, 54		
7 KO+120	540	20	R	OBS	A	20	m	55, 56, 57, 58, 59, 60, 61		
KO+120	540	20	R	DSU	A	20	m	62-63-64		
KO+120	540	20	R	GR	B	50	cm	65-67		
KO+120	540	20	R	DPT	B	70	cm	68-69	Se aprecia un canal y se verifica estado	
8 KO+140	540	20	R	OBS	A	20	m	70	Se aprecia vegetación abundante en este tramo del canal	
KO+140	540	20	R	GR	M	30	cm	71		
KO+140	540	20	R	DSU	M	20	m	72, 73		
KO+160	540	20	R	OBS	A	20	m	74, 75, 76, 77, 78	La OBS es tan alta que no permite ver el estado del canal	
KO+160	540	20	R	DSU	M	20	m			
KO+180	540	20	R	OBY	A	20	m	80-81-82-83	La OBS no deja ver el estado del canal	
KO+180	540	20	R	DSU	M	20	m	84-85		
KO+200	540	20	R	OBS	A	20	m	86-87-88-89-90-91-92	Se evidencia que en esta zona no usa como bantónes de material guacas y demás	
KO+200	540	20	R	DSU	A	20	m	93-94-95		

OBSERVACIONES GENERALES: _____

Figura 218. Formato para inspección visual unidad 12-17

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FORMATO PARA INSPECCIÓN VISUAL DE CUNETAS

UASAR

INVIAS

TERRITORIAL: _____
 NOMBRE DEL PROYECTO: _____
 SECTOR: Cunetas Dosquebradas
 UNIDAD: 3
 EVALUACIÓN DE LAS OBRAS DEL CONTRATO No. _____ DE _____
 MANTENIMIENTO INTEGRAL:

FECHA: _____
 HOJA: _____
 LEVANTADO POR: _____

PR INICIAL	LONGITUD (m)		FORMA	DAÑO				FOTOGRAFÍA No.	OBSERVACIONES	ESQUEMAS
	TOTAL	MÓDULO		TIPO	SEV.	CANT.	UN.			
12	K0+220	540	20	R	OBS	A	20	m	96-97-98-99	Cubierta con mucha vegetación
	K0+220	540	20	R	DSU	H	20	m	100-101	
	K0+220	540	20	R	GR	A	2	m	102-103	
13	K0+240	540	20	R	OBS	A	20	m		
	K0+240	540	20	R	DSU	H	20	m		
	K0+240	540	20	R	GR	A	2	m		
14	K0+260	540	20	R	OBS	A	20	m		
	K0+260		20	R	DSU	H	20	m		
	K0+260		20	R	GR	A	2	m		
15	K0+280	540	20	R	OBS	A	20	m		
		540	20	R	DSU	H	20	m		
		540	20	R	GR	A	2	m		Dos Grutas en la Unidad
16	K0+300	540	20	R	OBS	A	20	m		
	K0+300	540	20	R	DSU	H	20	m		
	K0+300	540	20	R	GR	A	2	m		
17	K0+320	540	20	R	OBS	A	20	m		

OBSERVACIONES GENERALES: _____

Figura 219. Formato para inspección visual unidad 17-21



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FORMATO PARA INSPECCIÓN VISUAL DE CUNETAS





TERRITORIAL: _____
 NOMBRE DEL PROYECTO: _____ EVALUACIÓN DE LAS OBRAS DEL CONTRATO No. _____ DE: _____
 SECTOR: _____
 UNIDAD: 17 MANTENIMIENTO INTEGRAL: FECHA: _____
 HOJA: _____
 LEVANTADO POR: _____

PR INICIAL	LONGITUD (m)		FORMA	DAÑO				FOTOGRAFÍA No.	OBSERVACIONES	ESQUEMAS
	TOTAL	MÓDULO		TIPO	SEV.	CANT.	UN.			
17 Kot320	540	20	R	DSU	H	20	m			
	540	20	R	GR-2	A	2	m			
18 Kot340	540	20	R	OBS	A	20	m			
	540	20	R	DSU	H	20	m			
	540	20	R	GR.	A	2	m			
19 Kot360	540	20	R	OBS	A	20	m			
	540	20	R	DSU	H	20	m			
	540	20	R	GR	A	2	m			
20 Kot380	540	20	R	OBS	A	20	m			
	540	20	R	DSU	H	20	m			
	540	20	R	GR.	A	2	m			
21 Kot400	540	20	R	OBS	A	20	m			
			R	DSU	H	20	m			
				GR	A	2	m			
				GR	H	25	cm			

Figura 220. Formato para inspección visual unidad 22-29

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FORMATO PARA INSPECCIÓN VISUAL DE CUNETAS

UASAR

INVIAS

TERRITORIAL: _____ EVALUACIÓN DE LAS OBRAS DEL CONTRATO No. _____ DE _____

NOMBRE DEL PROYECTO: Serviciudad Dosq.

SECTOR: _____ MANTENIMIENTO INTEGRAL:

UNIDAD: 5

FECHA: _____

HOJA: _____

LEVANTADO POR: _____

PR INICIAL	LONGITUD (m)		FORMA	DAÑO				FOTOGRAFÍA No.	OBSERVACIONES	ESQUEMAS
	TOTAL	MÓDULO		TIPO	SEV.	CANT.	UN.			
22	10+420	540	20	R	DSU	M	20	M	Taponamiento exco. y vegetación en ambos lados hay maleza	
		540	20	R	OBS	A	20	m		
23	10+440	540	20	R	OBS	A	20	m	completamente cubierto x Veg.	
24	10+460	540	20	R	OBS	A	20	m	completa/ cubierto	
25	10+480	540	20	R	OBS	A	20	m		
		540	20	R	DSU	M	20	m		
26	10+500	540	20	R	OBS	A	20	m		
				R	DSU	M	20	m		
				R	GR	A	2	m		
27	10+520	540	20	R	OBS	A	20	m		
				R	DSU	M	20	m		
				R	ES	L	90	cm		
28	10+540	540	20	R	OBS	A	20	m		
					DSU	M	20	m		
					GR	A	2	m		
29	10+560	540	20	R	OBS					

OBSERVACIONES GENERALES: _____

15.4.5.2 HALLAZGOS PRINCIPALES EN EL CANAL DE LA EMPRESA DE ENERGÍA MEDIANTE INSPECCIÓN VISUAL

Como premisa, se apreció que al inicio del canal en una longitud cercana a los 40 metros comprendidos entre la unidad 1 y 3 analizado desde la abscisa K0+000 a la K0+040 de tipo Trapezoidal obstruido, el cual está construido en mampostería, desde dicho canal se conecta con el canal objeto de estudio en el presente informe.

En cuanto al canal rectangular evaluado en las unidades 4 a la 29 se tiene que a lo largo de la estructura del canal no se presentan colapsos o daños severos que afecten la estructura general de las paredes del canal, sin embargo, se evidencian desgastes y algunas grietas que aparentemente han sido rellenadas, Se aclara también que la evaluación del piso del canal no pudo realizarse dada la falta de funcionalidad del mismo, pues en las zonas donde solo se tiene una lámina de agua, dicha agua no se encuentra fluyendo sino estancada con presencia de vegetación, por lo tanto no se logra observar el piso del canal ni el estado del concreto del mismo, en otros sectores y unidades el canal se encuentra totalmente obstruido con vegetación de gran dimensión la cual no permite observar el estado del piso.

La cara interna del canal se encuentra cubierta por material vegetal (parte de pastos) que han logrado invadir la estructura, sin embargo, el sistema radicular no ha generado que la aleta sufra levantamiento

En algunas unidades recorridas, se pudo evidenciar la presencia de zonas de empozamiento que alcanzaban hasta los 50 cm de lámina de agua, asociados a la poca pendiente que posee el canal y sus obstrucciones.

15.4.5.3 ENSAYOS DE RESISTENCIA DE CONCRETO

Se realizó en diferentes puntos del canal ensayos de resistencia de concreto con el fin de determinar el comportamiento de los materiales a partir de cargas compresionales.

Figura 221. Registro fotográfico de toma de núcleos de concreto en el canal rectangular de la empresa de energía



Figura 222. Registro fotográfico de toma de núcleos de concreto en el canal rectangular de la empresa de energía



Fuente: (Propia, 2022)

Tabla 42. Tabla abscisado toma de muestra de núcleos

Ubicación	Resistencia obtenida (PSI)	Resistencia esperada (PSI)
Núcleo intento 1 Canal trapezoidal	Concreto en mampostería reforzada	3000
Núcleo 1 K0+075 pared derecha	6610	3000
Núcleo 2 K0+125 Izquierdo superior	3919	3000
Núcleo 3 K0+175 pared derecha	2186	3000
Núcleo 4 K0+225 pared derecha	2425	3000
Núcleo 5 K0+275 Izquierdo superior	3994	3000
Núcleo 6 K0+375 Izquierdo superior	3791	3000

Tabla 43. Tabla abscisado toma de muestra de núcleos

Ubicación	Resistencia obtenida (PSI)	Resistencia esperada (PSI)
Núcleo 7 K0+075 pared derecha	6610	3000
Núcleo 8 K0+125 Izquierdo superior	3919	3000
Núcleo 9 K0+175 pared derecha	2186	3000
Núcleo 10 K0+225 pared derecha	2425	3000

Se evidencia que en dos núcleos no se cumple la resistencia mínima esperada.

15.4.5.4 ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA CANAL EMPRESA DE ENERGIA

Esta metodología fue ideada en un principio para estimar la resistencia a compresión simple del hormigón, se ha modificado para estimar la resistencia a compresión simple de la roca.

Figura 223. Equipo de esclerometría



Su uso es muy frecuente dada la manejabilidad del aparato, pudiendo aplicarse sobre roca matriz y fundamentalmente sobre las discontinuidades. Consiste en medir la resistencia al rebote de la superficie de roca ensayada.

La medida del rebote se correlaciona con la resistencia a la compresión simple, mediante correlaciones realizadas por MILLER (1965) que contempla la densidad de la roca y la orientación del martillo respecto del plano ensayado.

El desarrollo del ensayo consiste en una preparación de las zonas elegidas, eliminando la pátina de roca meteorizada, se efectúan 10 percusiones con el martillo en la zona elegida, efectuándose el promedio de dichos valores.

Una vez ensayadas todas las zonas necesarias, se obtienen valores estimativos de la resistencia a compresión simple de la roca obteniendo una idea de su estado y calidad.

Figura 224. Correlación Miller (1965) compresión simple de la roca k0+000 – k0+100

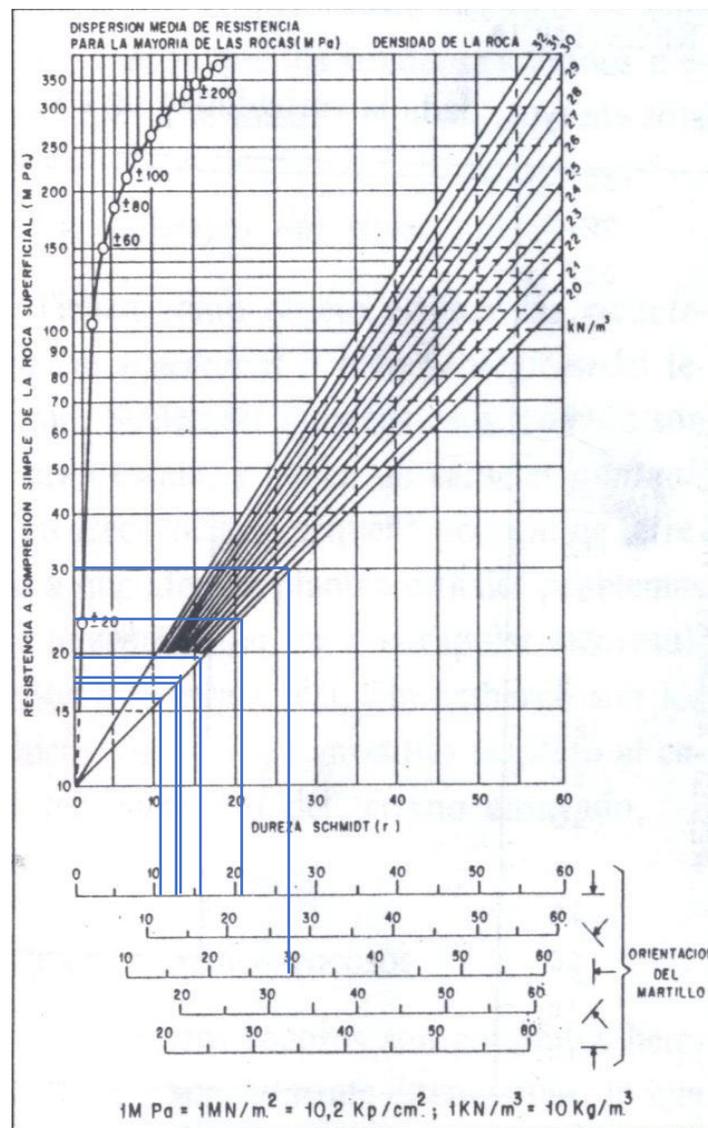


Tabla 44. Resultados ensayos esclerometría

ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA CANAL EMPRESA DE ENERGIA						
Golpe	Lecturas					
	↓	↓	↓	↓	↓	→
	K0+000	K0+020	K0+040	K0+060	K0+080	K0+100
1	10	5	15	10	19	32
2	2	15	21	16	15	30
3	5	15	19	5	25	31
4	5	16	5	6	30	25
5	5	14	5	6	31	20
6	5	10	20	11	15	28
7	12	14	25	19	25	31
8	15	12	15	15	15	32
9	21	14	20	21	25	35
10	21	12	19	20	15	35
Promedio	10.1	12.7	16.4	12.9	21.5	29.9
Resistencia a la compresión simple (Mpa)	16	17.5	19.5	18	24.5	30

Fuente: (Propia, 2022)

Figura 225. Correlación Miller (1965) compresión simple de la roca k0+120 – k0+220

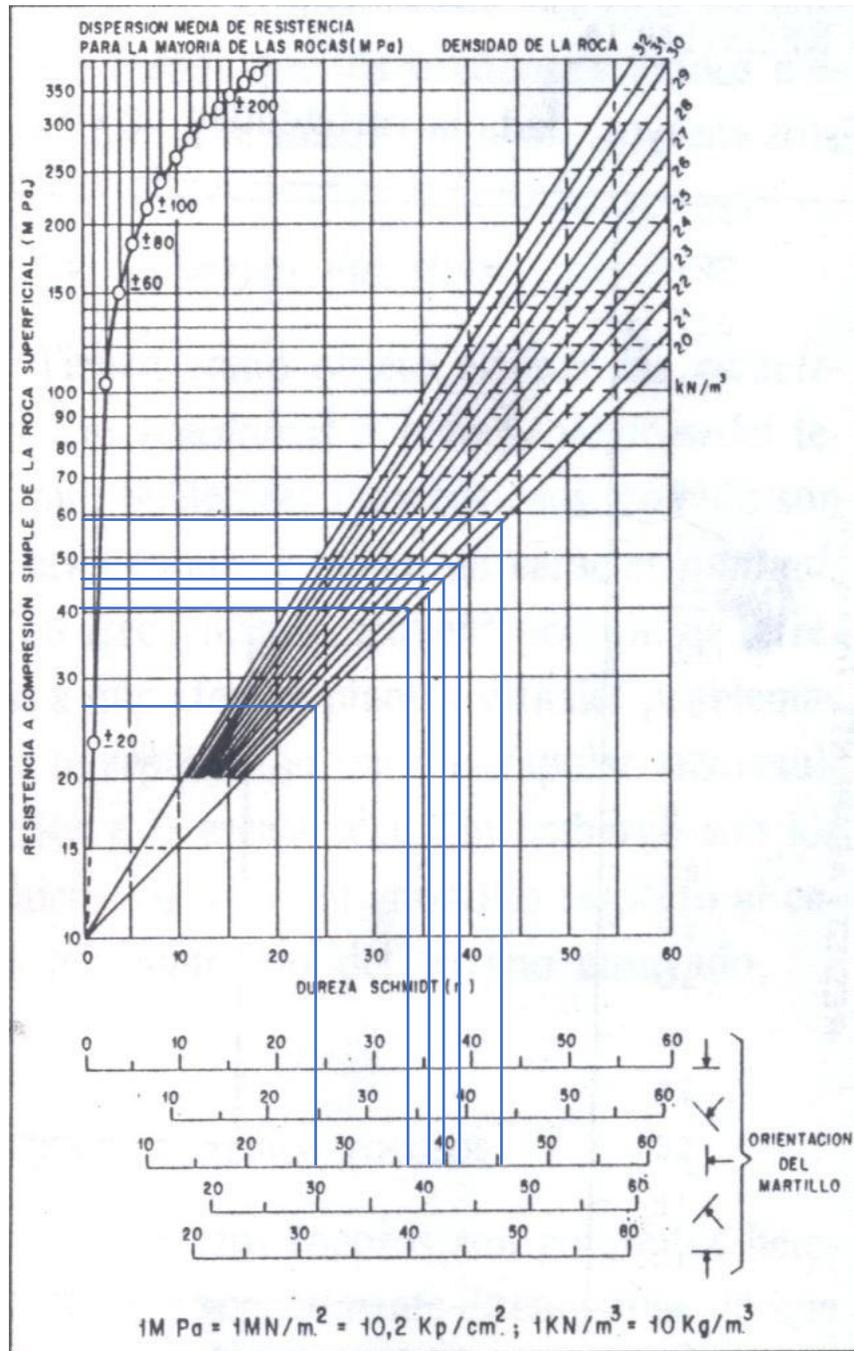


Tabla 45. Resultados ensayos esclerometría

ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA CANAL EMPRESA DE ENERGIA						
Golpe	Lecturas					
	➔	➔	➔	➔	➔	➔
	K0+120	K0+140	K0+160	K0+180	K0+200	K0+220
1	29	50	45	35	31	39
2	25	51	35	35	39	35
3	25	45	45	40	35	39
4	30	51	45	38	35	39
5	30	35	35	39	35	41
6	29	45	37	42	41	40
7	31	45	49	40	40	40
8	25	47	47	45	39	40
9	19	40	30	45	40	38
10	29	45	45	41	35	40
Promedio	27.2	45.4	41.3	40	37	39.1
Resistencia a la compresión simple (Mpa)	27	59	49	46	40	44

Fuente: (Propia, 2022)

Figura 226. Correlación Miller (1965) compresión simple de la roca k0+240 – k0+340

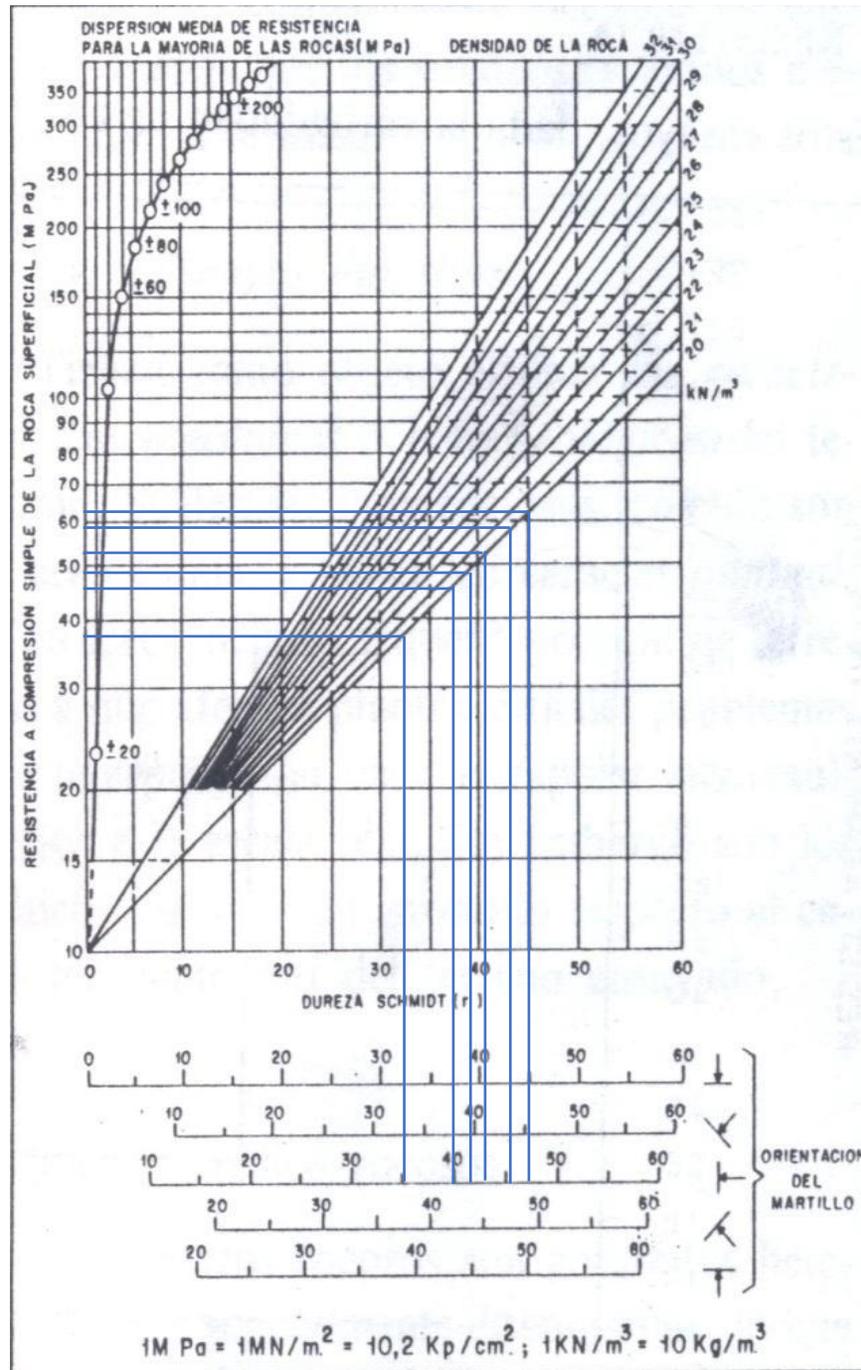


Tabla 46. Resultados ensayos esclerometría

ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA CANAL EMPRESA DE ENERGIA						
Golpe	Lecturas					
						
	K0+240	K0+260	K0+280	K0+300	K0+320	K0+340
1	40	32	45	45	42	56
2	45	35	42	48	55	35
3	45	32	42	48	40	42
4	42	30	40	45	48	35
5	45	30	42	50	45	38
6	40	35	52	45	42	40
7	42	35	48	48	38	40
8	45	38	45	54	44	35
9	45	45	52	45	42	34
10	40	45	50	48	42	45
Promedio	42.9	35.7	45.8	47.6	43.8	40
Resistencia a la compresión simple (Mpa)	50	39	59	64	54	46

Fuente: (Propia, 2022)

Figura 227. Correlación Miller (1965) compresión simple de la roca k0+360 – k0+460

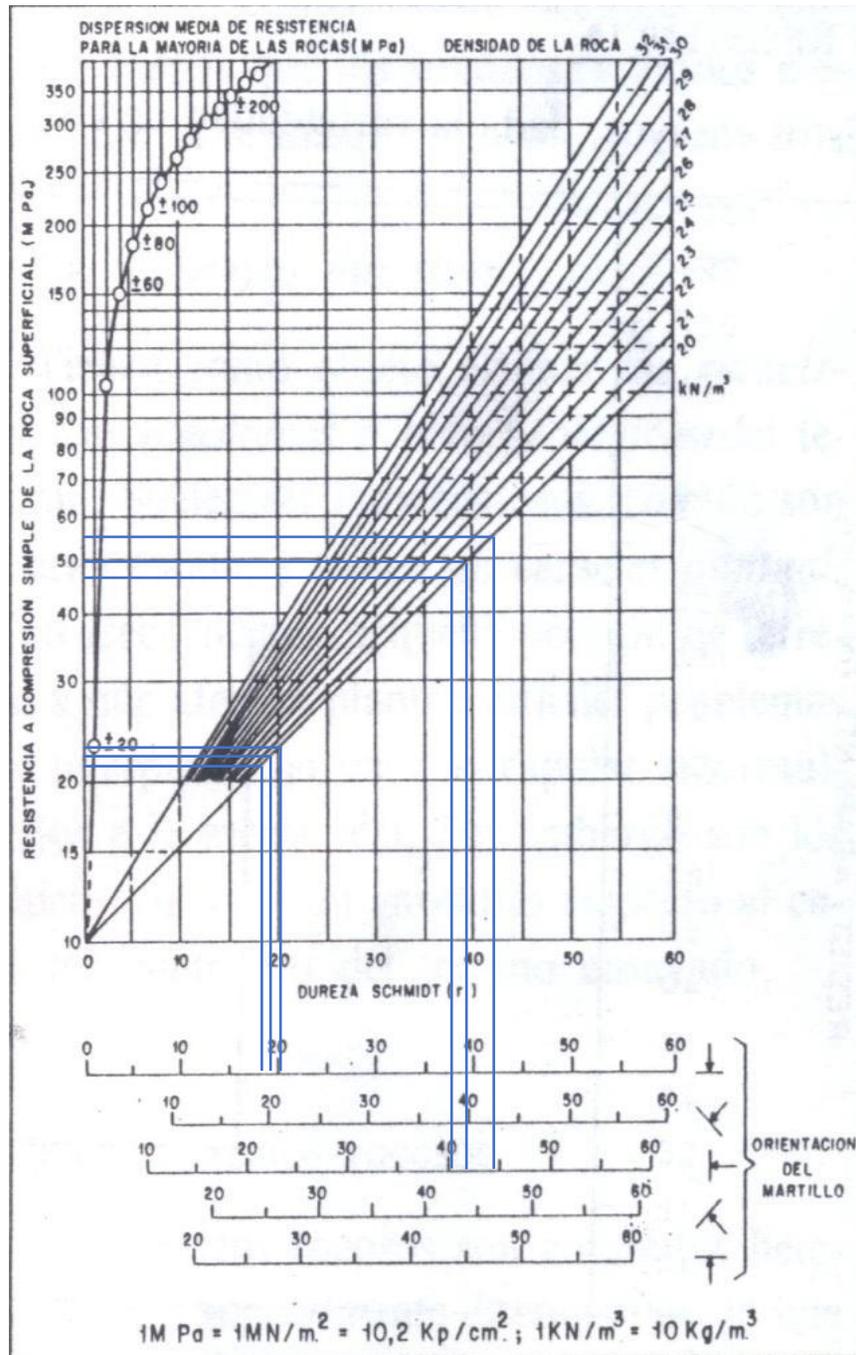


Tabla 47. Resultados ensayos esclerometría

ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA CANAL EMPRESA DE ENERGIA						
Golpe	Lecturas					
	→	→	→	↓	↓	↓
	K0+360	K0+380	K0+400	K0+420	K0+440	K0+460
1	44	42	35	25	20	15
2	46	38	42	14	15	18
3	42	40	38	22	20	15
4	42	38	40	18	10	18
5	42	38	45	20	12	20
6	48	42	42	14	20	22
7	45	40	42	28	35	28
8	42	42	44	18	15	20
9	42	42	42	25	20	12
10	48	42	38	18	25	25
Promedio	44.1	40.4	40.8	20.2	19.2	19.3
Resistencia a la compresión simple (Mpa)	55	46	50	24	22	23

Fuente: (Propia, 2022)

Figura 228. Correlación Miller (1965) compresión simple de la roca k0+480 – k0+560

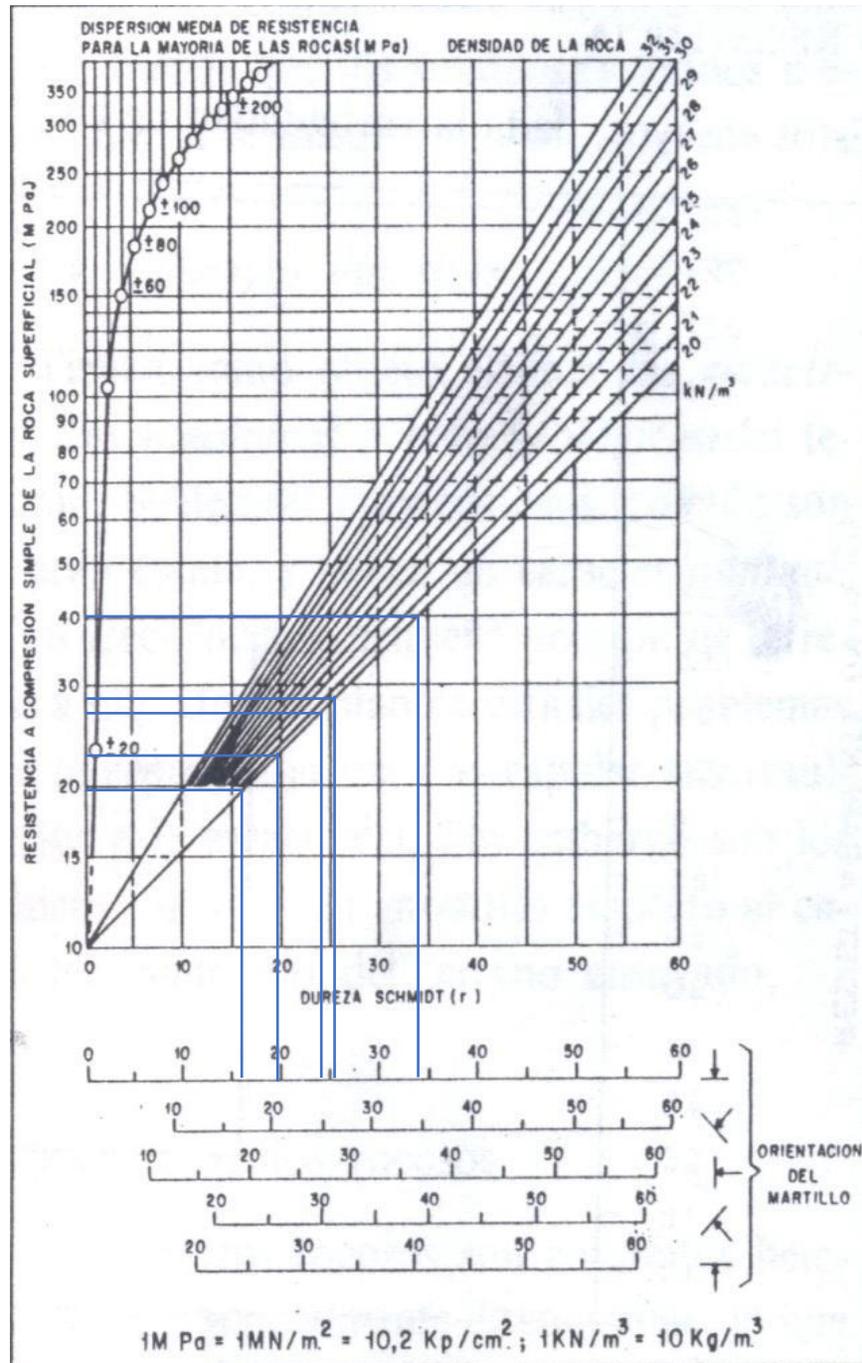


Tabla 48. Resultados ensayos esclerometría

ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA CANAL EMPRESA DE ENERGIA					
Golpe	Lecturas				
	↓	↓	↓	↓	↓
	K0+480	K0+500	K0+520	K0+540	K0+560
1	35	10	22	10	15
2	35	15	32	30	15
3	28	10	15	28	15
4	45	22	20	40	28
5	38	22	30	16	22
6	35	18	40	30	20
7	32	10	30	25	12
8	35	25	12	22	30
9	30	20	18	20	20
10	32	10	22	30	22
Promedio	34.5	16.2	24.1	25.1	19.9
Resistencia a la compresión simple (Mpa)	40	20	27	29	24

Fuente: (Propia, 2022)

Del ensayo de esclerometría se obtienen las correlaciones la compresión simple, se tiene que para los primeros 100 metros se tiene una compresión simple en promedio de 20.9 Mpa, hasta los 200 metros se tiene una resistencia de 44.2 Mpa, hasta los 300 metros de canal se tiene un promedio de la compresión simple de 23 Mpa, finalmente hasta los 400 y 500 metros se tienen compresiones simples de 33 Mpa y 23 Mpa respectivamente.

15.4.5.5 EXPOSICIÓN DEL CANAL RECTANGULAR DE LA EMPRESA DE ENERGÍA

El canal se encuentra ubicado en la parte superior de la ladera.

Tabla 49. Interpretación de las zonas de exposición.

ZONA	DESCRIPCIÓN	DAÑOS ESPERADOS	CRITERIO DE INTENSIDAD O MAGNITUD
1	Elementos ubicados sobre la zona estable en la parte superior del talud, sin posibilidad de afectación por retrogresión.	No se esperan daños a causa de los movimientos en masa.	
2	Elementos ubicados sobre una ladera potencialmente inestable o potencialmente afectados por efectos de retrogresión.	Colapso o daños instantáneos debido a pérdida de soporte en la zona de retrogresión. Asentamientos diferenciales, inclinaciones y agrietamientos asociados con movimientos lentos; colapso de la estructura asociado con movimientos rápidos.	Velocidad del movimiento Actividad del deslizamiento Cantidad de desplazamiento Desplazamientos verticales
3	Elementos ubicados en la trayectoria del movimiento en masa o en la zona de depósito del material deslizado.	Daños localizados por impacto, colapso total, obstrucción, enterramiento, entre otros.	Velocidad del movimiento Distancia de viaje Presiones laterales Impactos (volúmenes y energía cinética) Alturas de acumulación de material
4	Elementos fuera del alcance del movimiento en masa y su área de depósito.	No se esperan daños debidos a los movimientos en masa.	

15.4.5.6 FRAGILIDAD SERVICIOS PÚBLICOS

Debido a que las estructuras expuestas en la zona presentan una tipología de redes de servicio público tal como canal, se determinan las siguientes clasificaciones según el Servicio Geológico Colombiano para la definición de los parámetros de fragilidad de las mismas.

Red de alcantarillado. Se define el parámetro de fragilidad de las tuberías de las redes de alcantarillado en función de su material de fabricación.

Tabla 50. Parámetros de fragilidad de red de alcantarillado

MATERIAL	Smat
Asbesto Cemento	0,9
Gres	0,6
Concreto Simple	0,6
Polietileno	0,5
Concreto Reforzado	0,1

Fuente: Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (SGC)

15.4.5.7 CÁLCULO DE LA VULNERABILIDAD CANAL RECTANGULAR EMPRESA DE ENERGÍA

Una vez realizados los cálculos de fragilidad de las estructuras e intensidad de los eventos, se procede a hacer el análisis de vulnerabilidad, ya que esta depende directamente de los dos factores anteriormente mencionados. La propuesta a seguir es la de Du et al. (2013), representada en la siguiente ecuación

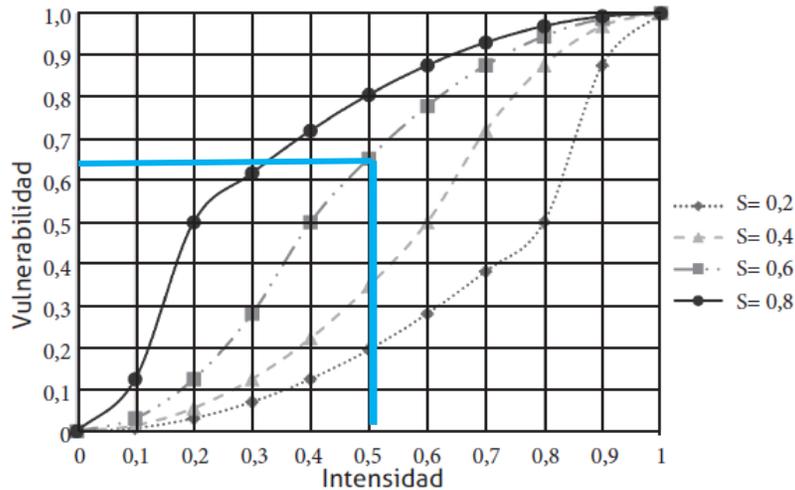
$$V = \begin{cases} \frac{1}{2} \left(\frac{I}{1-S} \right)^2 & I \leq 1 - S \\ 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{1-I}{S} \right)^2 & I > 1 - S \end{cases}$$

Donde

- V Vulnerabilidad de los elementos
- I Intensidad del evento
- S Fragilidad de los elementos

Un valor de 1,0 de vulnerabilidad significa la destrucción completa de las líneas de acueducto o la pérdida de vidas en las personas. Los valores menores a 1,0 traducen un posible daño en las estructuras o la probable pérdida de vida en las personas. Finalmente, los valores de 0 significan que las líneas de acueducto o canales y las personas no presentarán ningún tipo de daño. La siguiente figura presenta los valores de vulnerabilidad en función de la intensidad y la fragilidad de los elementos.

Figura 229. Curvas de fragilidad de los elementos expuestos



Fuente: Du et al., 2013

15.4.5.8 ZONIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD CANAL RECTANGULAR EMPRESA DE ENERGÍA

A partir de la realización de los cálculos de la vulnerabilidad para la zona de amenaza, al tratarse de edificaciones y líneas vitales, se definen tres niveles de daños para la zonificación de vulnerabilidad., lo cual da paso a la zonificación de la vulnerabilidad y la realización de los mapas. A continuación, se presentan las tablas de clasificación con sus respectivos daños esperados

Tabla 51. Clasificación de la vulnerabilidad para edificaciones y líneas vitales

CLASIFICACION DE LA VULNERABILIDAD	VALOR DE LA VULNERABILIDAD	NIVEL DE DAÑO
ALTA	0.50 – 1.00	Total - Colapso
MEDIA	0.10 – 0.50	Grave
BAJA	0.02 – 0.10	Moderado

Fuente: Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (SGC)

15.4.6 CANALES BAJANTES

Se realizó recorrido a lo largo de las estructuras de descole que se encuentran en el sector, en dichos recorridos se identificaron 6 canales, dichas estructuras se localizan en el sentido de la pendiente de la ladera, se realiza recorrido de dichos canales verificando la funcionalidad de estos.

- **CANAL K0+000:** Canal que inicia con dimensiones 40 cm x 50.0 cm y paredes de 15 cm, a partir del segundo escalón se tienen dimensiones 70 cm x 50.0 cm y paredes de 15cm de espesor. Se evidencia deterioro alto en el estado del concreto del canal y en la base de este por socavación, adicionalmente a pesar de tener funcionalidad parcial se evidencia obstrucción moderada en algunos sectores.
- El canal termina abriéndose en un enrocado hasta su descarga en el río con una pendiente cercana a 90°

Figura 230. Canal de descole K0+000

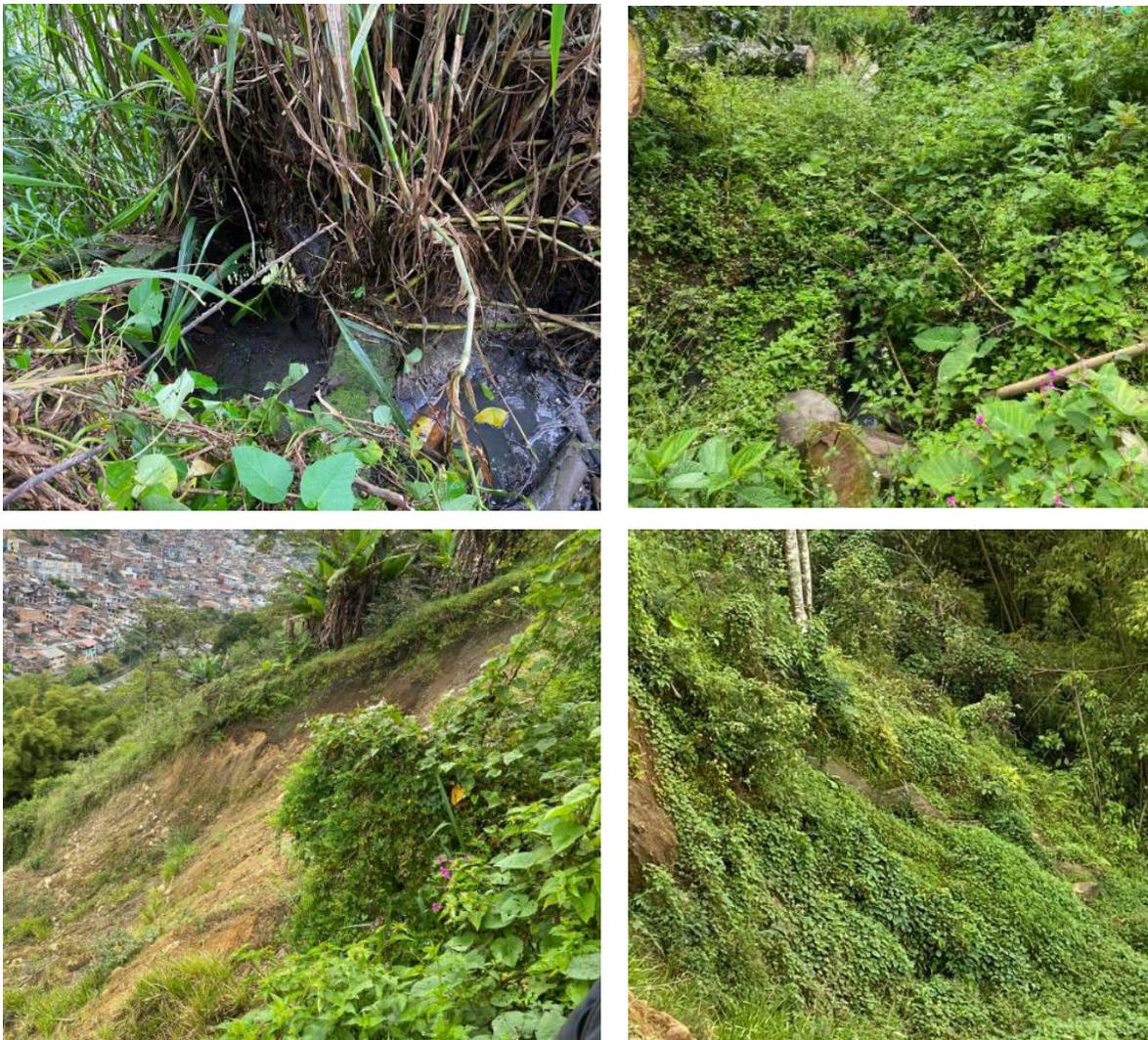


Figura 231. Canal de descole K0+000



- **CANAL K0+125** Canal de 50.0 cm x 50.0 cm se evidencia deterioro alto en el estado del concreto del canal y en la base de este, adicionalmente dicho canal se encuentra en la zona de deslizamiento por lo que se encuentra destruido en su mayoría.

Figura 232. Canal de descole K0+125



- **CANAL K0+200** Canal de 50.0 cm x 50.0 cm se poco funcionamiento de este debido a su alto grado de obstrucción.

Figura 233. Canal de descole K0+200



- **CANAL K0+340** Canal escalonado de 0.60 m ancho x longitud de escala 1.85 m y caída de 1.50m, espesor de las paredes del canal 15 cm. Poca funcionalidad debido a la obstrucción de este.

Figura 234. Canal de descole K0+340



- **CANAL K0+430** Canal escalonado de 0.70 m ancho x longitud de escala 1.85 m y caída de 1.50m, espesor de las paredes del canal 15 cm. Funcionalidad parcial debido a la falta de mantenimiento.

Figura 235. Canal de descole K0+430



- **CANAL K0+530** Canal escalonado de 0.70 m ancho x longitud de escala 1.85 m y caída de 1.50m, espesor de las paredes del canal 15 cm. En este convergen dos canales, uno sin funcionamiento corto y canal principal por donde circulan aguas residuales, el estado de deterioro del concreto es avanzado tanto que en algunos sectores se evidencia fracturamiento del mismo, sin embargo en el momento se evidencia que el canal conserva su función.

Figura 236. Canal de descole K0+530

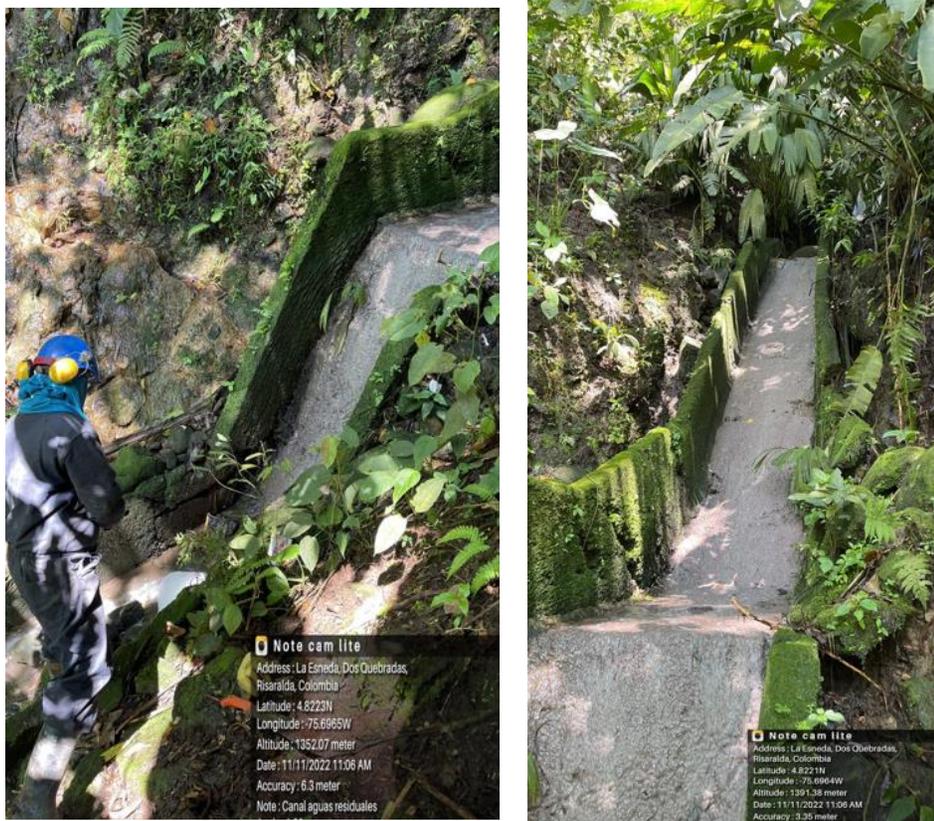
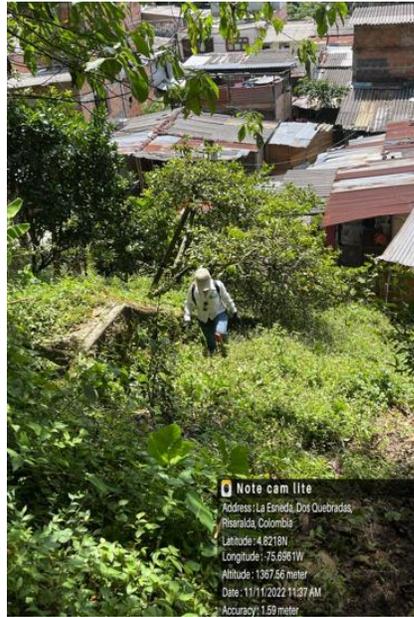


Figura 237. Canal de descole K0+530



15.4.6.1 EXPOSICIÓN CANALES BAJANTES

Los canales se encuentran ubicados en la ladera.

ZONA	DESCRIPCIÓN	DAÑOS ESPERADOS	CRITERIO DE INTENSIDAD O MAGNITUD
1	Elementos ubicados sobre la zona estable en la parte superior del talud, sin posibilidad de afectación por retrogresión.	No se esperan daños a causa de los movimientos en masa.	
2	Elementos ubicados sobre una ladera potencialmente inestable o potencialmente afectados por efectos de retrogresión.	Colapso o daños instantáneos debido a pérdida de soporte en la zona de retrogresión. Asentamientos diferenciales, inclinaciones y agrietamientos asociados con movimientos lentos; colapso de la estructura asociado con movimientos rápidos.	Velocidad del movimiento Actividad del deslizamiento Cantidad de desplazamiento Desplazamientos verticales
3	Elementos ubicados en la trayectoria del movimiento en masa o en la zona de depósito del material deslizado.	Daños localizados por impacto, colapso total, obstrucción, enterramiento, entre otros.	Velocidad del movimiento Distancia de viaje Presiones laterales Impactos (volúmenes y energía cinética) Alturas de acumulación de material
4	Elementos fuera del alcance del movimiento en masa y su área de depósito.	No se esperan daños debidos a los movimientos en masa.	

15.4.6.2 FRAGILIDAD CANALES BAJANTES

Debido a que las estructuras expuestas en la zona presentan una tipología de redes de servicio público tal como canal, se determinan las siguientes clasificaciones según el Servicio Geológico Colombiano para la definición de los parámetros de fragilidad de las mismas.

Red de alcantarillado. Se define el parámetro de fragilidad de las tuberías de las redes de alcantarillado en función de su material de fabricación.

Tabla 52. Parámetros de fragilidad de red de alcantarillado

MATERIAL	Smat
Asbesto Cemento	0,9
Gres	0,6
Concreto Simple	0,6
Polietileno	0,5
Concreto Reforzado	0,1

Fuente: Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (SGC)

15.4.6.3 CÁLCULO DE LA VULNERABILIDAD CANAL RECTANGULAR EMPRESA DE ENERGIA

Una vez realizados los cálculos de fragilidad de las estructuras e intensidad de los eventos, se procede a hacer el análisis de vulnerabilidad, ya que esta depende directamente de los dos factores anteriormente mencionados. La propuesta a seguir es la de Du et al. (2013), representada en la siguiente ecuación

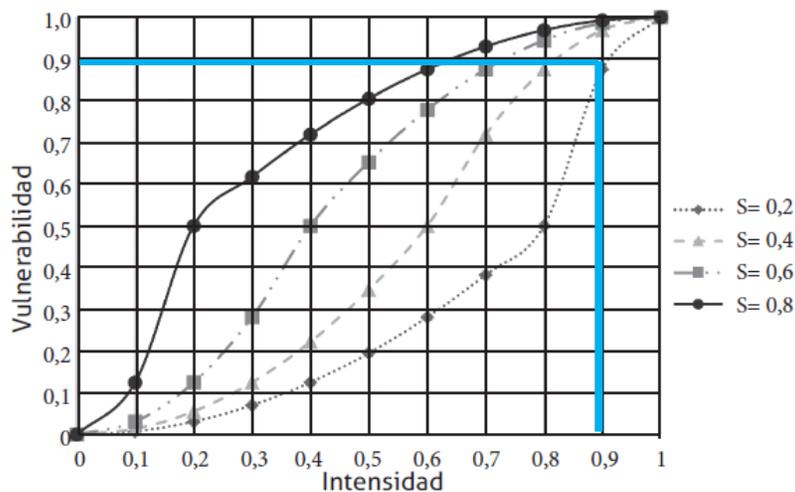
$$V = \begin{cases} \frac{1}{2} \left(\frac{I}{1-S} \right)^2 & I \leq 1 - S \\ 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{1-I}{S} \right)^2 & I > 1 - S \end{cases}$$

Donde

- V Vulnerabilidad de los elementos
- I Intensidad del evento
- S Fragilidad de los elementos

Un valor de 1,0 de vulnerabilidad significa la destrucción completa de las líneas de acueducto o la pérdida de vidas en las personas. Los valores menores a 1,0 traducen un posible daño en las estructuras o la probable pérdida de vida en las personas. Finalmente, los valores de 0 significan que las líneas de acueducto o canales y las personas no presentarán ningún tipo de daño. La siguiente figura presenta los valores de vulnerabilidad en función de la intensidad y la fragilidad de los elementos.

Figura 238. Curvas de fragilidad de los elementos expuestos



Fuente: Du et al., 2013

15.4.6.4 ZONIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD CANAL RECTANGULAR EMPRESA DE ENERGÍA

A partir de la realización de los cálculos de la vulnerabilidad para la zona de amenaza, al tratarse de edificaciones y líneas vitales, se definen tres niveles de daños para la zonificación de vulnerabilidad., lo cual da paso a la zonificación de la vulnerabilidad y la realización de los mapas. A continuación, se presentan las tablas de clasificación con sus respectivos daños esperados

Tabla 53. Clasificación de la vulnerabilidad para edificaciones y líneas vitales

CLASIFICACION DE LA VULNERABILIDAD	VALOR DE LA VULNERABILIDAD	NIVEL DE DAÑO
ALTA	0.50 – 1.00	Total - Colapso
MEDIA	0.10 – 0.50	Grave
BAJA	0.02 – 0.10	Moderado

Fuente: Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (SGC)

15.5 VULNERABILIDAD VIVIENDAS

TIPOLOGÍAS

- Edificaciones

La siguiente tabla presenta las tipologías de edificaciones, en base a los trabajos de Heinimann (1999) y Jam (2007).

Tabla 54. Tipología de edificaciones

CÓDIGO	TIPO DE EDIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
A	Edificaciones con reforzamiento especial	Edificaciones de concreto y acero diseñadas y construidas con requerimientos superiores a los convencionales o con la exigencia máxima de los códigos de diseño. Se incluyen las edificaciones de los grupos de importancia III y IV, definidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismorresistente NSR-10, que se construyeron después de 1998, con pórticos en concreto reforzado, sistema combinado en concreto reforzado, pórticos resistentes a momentos en acero, pórticos arriostrados en acero, etc.
B	Edificaciones reforzadas	Edificaciones con estructura en concreto y acero de los grupos de importancia I y II construidas con pórticos en concreto reforzado, sistema combinado en concreto reforzado, pórticos resistentes a momentos en acero, pórticos arriostrados en acero, etc. También se incluyen aquellas del grupo A construidas antes de 1998.

CÓDIGO	TIPO DE EDIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
C	Mampostería reforzada	Aquellas edificaciones que tienen un sistema estructural de mampostería con elementos de refuerzo (barras, láminas, pernos, platinas, etc.). También se incluyen las edificaciones en mampostería confinada.
D	Estructuras con confinamiento deficiente y estructuras híbridas	Edificaciones con muros cargueros, pero sin confinamiento adecuado (mampostería no reforzada). También hace referencia a aquellas construcciones de las categorías A, B y C que poseen elementos de otros materiales no competentes, como por ejemplo mampostería no reforzada, adobe, bahareque, madera, tapia pisada, etc., con mayor componente de elementos de los grupos A, B y C.
E	Estructuras ligeras	Edificaciones construidas con materiales tradicionales o de baja calidad, con un sistema estructural de muros cargueros. Dentro de esta tipología se incluyen las edificaciones construidas con materiales como adobe, bahareque, madera bruta, tapia pisada y las prefabricadas.
F	Construcciones simples	Edificaciones que no poseen una estructura definida, de carácter improvisado, generalmente construidas utilizando materiales precarios o de recuperación. Entre estas se incluyen las edificaciones en proceso de construcción y las construidas en materiales de recuperación, pórticos y

CÓDIGO	TIPO DE EDIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
		paneles de madera, y pórticos de madera y paneles en otros materiales. Son ejemplo de este tipo de edificaciones tugurios, ranchos, campamentos, carpas, etc.
G	Lotes vacíos	

Fuente: Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (SGC)

Una vez realizada la visita a las edificaciones en la zona de estudio, se encontró que en su mayoría, estas presentan sistemas estructurales en mampostería confinada, mampostería inconfineda, muros en bahareque y pórticos y paneles en madera; por lo que se pueden clasificar en las categorías D (estructuras con confinamiento deficiente) y E (estructuras ligeras).

15.6 CONCLUSIONES VULNERABILIDAD

15.6.1 CONCLUSIÓN VULNERABILIDAD SERVICIOS PÚBLICOS COLECTOR

La tubería de conducción ladera norte de alcantarillado presenta baja vulnerabilidad de acuerdo a la guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimiento en masa (SGC), en donde las tuberías se desplazan levemente sin sufrir daños y sin afectar el servicio, dado que se tiene un valor menor a 0.10 en su valor de vulnerabilidad hallado mediante la gráfica de fragilidad e intensidad.

15.6.2 CONCLUSIÓN VULNERABILIDAD CANAL RECTANGULAR DE LA EMPRESA DE ENERGÍA

El canal rectangular de la empresa de energía presenta vulnerabilidad media de acuerdo a la guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimiento en masa (SGC).

15.6.3 CONCLUSIÓN VULNERABILIDAD DE LOS CANALES BAJANTES

Los canales de presentan vulnerabilidad alta de acuerdo a la guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimiento en masa (SGC). Es decir, posibilidad de total colapso.

15.6.4 CONCLUSIÓN VULNERABILIDAD DE LAS VIVIENDAS

Las viviendas presentan vulnerabilidad alta de acuerdo con la clasificación de la guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimiento en masa (SGC). Dado que la construcción del barrio es anterior a la norma NSR-10 y no puede garantizarse el cumplimiento de esta en su proceso constructivo. Adicionalmente dichas viviendas presentan localización en la parte baja de la ladera potencialmente inestable.

16 RIESGO

16.1 CÁLCULO DEL RIESGO.

Para la evaluación del riesgo, es importante cuantificar los daños materiales, sociales y ambientales, con el fin de realizar el análisis costo-beneficio y priorizar las acciones de mitigación.

De acuerdo con lo anterior, se deben establecer los riesgos específicos que existen en una zona debido a diferentes procesos de inestabilidad y cuantificar el riesgo total haciendo una suma de todos los anteriores. De esa manera, el riesgo específico debe ser calculado mediante la siguiente ecuación

$$R_s = P(H_i * V * E)$$

Donde:

- R_s Riesgo debido a una amenaza en un lugar y un tiempo específico
- $P(H_i)$ Probabilidad de ocurrencia de un movimiento en masa
- V Vulnerabilidad de los elementos expuestos en lugares específicos
- E Costo total de los elementos amenazados por movimientos en masa

Como se dijo, el riesgo total es la suma de todos los riesgos específicos para diferentes eventos y magnitudes y se describe mediante la ecuación (Lee & Jones, 2004)

$$R = \Sigma R_s(\text{eventos } 1, \dots, n)$$

16.1.1 PÉRDIDAS ECONÓMICAS DIRECTAS O INDIRECTAS.

Para materializar los efectos de los movimientos en masa sobre los elementos expuestos, se hace necesario evaluar los efectos que estos producen a corto plazo por la acción inmediata del evento o a mediano y largo plazo en impactos indirectos. Los impactos a considerar se muestran en la siguiente tabla

Tabla 55. Impacto de los eventos sobre los elementos expuestos

IMPACTOS	ELEMENTOS	
	BIENES FÍSICOS	PERSONAS
Directos o a corto plazo	Daños en componentes <ul style="list-style-type: none"> • Construcciones • Infraestructura • Instalaciones y equipos • Contenidos 	<ul style="list-style-type: none"> • Víctimas • Heridos • Personas sin hogar • Personas sin trabajo
Indirectos o a largo plazo	<ul style="list-style-type: none"> • Interrupción de servicios • Efectos en la producción • Servicios • Consecuenciales • Efectos en sistemas • Contaminación 	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de resiliencia • Empobrecimiento • Calidad de vida • Desarrollo humano • Enfermedades

Fuente: Adaptado de Yamín et al., 2013

Para cuantificar los impactos a corto plazo se pueden evaluar factores como costos de reemplazo, reparación o mantenimiento de las edificaciones e infraestructura. Por su parte, para evaluar los costos de los impactos indirectos se evalúan componentes como costos por interrupción de servicios, pérdida de negocios y de producción, costos por enfermedades o desempleo, entre otros.

16.2 EVALUACIÓN DEL RIESGO.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el cálculo cuantitativo del riesgo, se pueden definir categorías y posibles tipos de intervenciones para mitigarlo.

Para fijar la aceptabilidad del riesgo, se deben hacer estimaciones de pérdidas anuales de bienes o de personas afectadas, a fin de calcular el costo aproximado de daños como un porcentaje del valor comercial de los elementos expuestos, incluyendo el terreno.

Después de calcular el riesgo anual y el costo aproximado de años, se generan las siguientes categorías de riesgo

Tabla 56. Categorías de riesgo, según costo aproximado de daño

COSTO APROXIMADO DE DAÑO (%)	DESCRIPCIÓN
VALOR	
200	Estructura completamente destruida o con daños a gran escala que requieren trabajos de ingeniería para recuperación. Pueden causarse daños importantes en propiedades adyacentes.
60	Daños extensivos en la mayoría de la estructura o se extiende más allá de los límites del sitio que requieren obras significativas de recuperación. Se pueden causar por lo menos consecuencias considerables a estructuras adyacentes.
60 20	Daños moderados en alguna parte de la estructura o parte significativa que requiere grandes trabajos de recuperación. Se puede causar por lo menos consecuencias menores a propiedades adyacentes.
20	Daños limitados en parte de la estructura que requieren algún trabajo para restablecer su funcionalidad.
0	Daños menores (para eventos de alta probabilidad, esta categoría se puede subdividir a un límite entre valores de 0 y 1 %).

Fuente: Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (SGC)

En personas, las categorías de riesgo se clasifican según la probabilidad anual de muertes o lesiones, siendo alta una probabilidad mayor a 10^{-4} , media entre 10^{-4} y 10^{-5} y baja menor a 10^{-5} .

16.2.1 CATEGORIZACIÓN DEL RIESGO.

Una vez definido lo anterior, se puede categorizar el riesgo en alto, medio o bajo, con el fin de poder decidir sobre posibles intervenciones para reducirlo. El riesgo se categoriza en bienes físicos y personas por separado, para luego evaluar el riesgo total, según las siguientes tablas

Tabla 57. Riesgo en bienes físicos

COSTO APROXIMADO DE DAÑO (%)	CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
200 – 60	ALTO	Riesgo inaceptable. Es necesaria la ejecución de investigaciones detalladas, planeación e implementación de medidas para reducir el riesgo. Las medidas de intervención estructural pueden ser dispendiosas y poco prácticas; además, pueden ser más costosas que el valor mismo de la propiedad.
60 – 20	MEDIO	Puede tolerarse en ciertas circunstancias (de acuerdo con la regulación estatal), pero requiere investigación y planeación detallada para evitar que aumente. Las medidas para reducir el riesgo son viables económicamente.
20 – 0	BAJO	Usualmente aceptable para los tomadores de decisiones. Se requiere mantenimiento normal de taludes y laderas.

Fuente: Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (SGC)

Tabla 58. Categorización el riesgo en personas

PROBABILIDAD ANUAL DE AFECTACIÓN DE PERSONAS	TIPO DE AFECTACIÓN		
	MUERTES O LESIONES SERIAS	LESIONES MODERADAS Y BAJA PROBABILIDAD DE MUERTE	LESIONES LEVES O INEXISTENTES
ALTA	ALTO	ALTO	BAJO
MEDIA	ALTO	MEDIO	BAJO
BAJA	MEDIO	BAJO	BAJO

Fuente: Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (SGC)

Se combinan las dos categorías de riesgo anteriores, para obtener en conjunto el riesgo de bienes físicos y personas

Tabla 59. Riesgo en bienes físicos y personas

RIESGO EN BIENES FÍSICOS	RIESGO EN PERSONAS		
	ALTO	MEDIO	BAJO
ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
MEDIO	ALTO	MEDIO	MEDIO
BAJO	ALTO	BAJO	BAJO

Fuente: Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (SGC)

Finalmente se hace la caracterización global, en donde se suman todos los riesgos individuales de personas y edificaciones y que se explica en la siguiente tabla:

<p>Carrera 21 #64ª-33 Edificio Multiplaza oficina 1207 Tel. 8934298 e-mail: quasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIO DE AMENAZA VULNERABILIDAD Y RIESGO PARA UN TRAMO DEL COLECTOR DE AGUAS RESIDUALES LADERA NORTE MUNICIPIO DOSQUEBRADAS</p>	<p>Página 454</p>
---	--	-------------------

Tabla 60. Caracterización del riesgo total

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
ALTO	Alta probabilidad de víctimas fatales y lesiones serias en la población. La implementación de medidas de intervención es prácticamente inviable desde el punto de vista técnico. Se debe hacer una evaluación económica detallada para establecer la posibilidad de mitigación y disminución del nivel de riesgo. Las pérdidas por materialización de la amenaza superan en todos los casos los valores económicos de los bienes.
MEDIO	Lesiones moderadas muy frecuentes, con alguna probabilidad de víctimas fatales. Se requiere evitar que el nivel de riesgo aumente, pero las medidas de intervención son en todo caso viables técnica y económicamente.
BAJO	Probabilidad de víctimas fatales prácticamente nula. Es un riesgo aceptable y requiere tan solo medidas de prevención.

Fuente: Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (SGC)

16.2.2 CATEGORÍAS DEL RIESGO Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN.

De acuerdo con la propuesta de riesgo presentada por Mendes (2013), es posible establecer medidas de intervención en zonas vulnerables a movimientos en masa, especialmente cuando se trata de zonas con riesgo alto, debido a que hay que establecer medidas específicas para conocer si se trata de un riesgo alto mitigable o no mitigable. La tabla a continuación muestra algunas intervenciones posibles ante las tres categorías de riesgo establecidas previamente.

<p>Carrera 21 #64ª-33 Edificio Multiplaza oficina 1207 Tel. 8934298 e-mail: guasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIO DE AMENAZA VULNERABILIDAD Y RIESGO PARA UN TRAMO DEL COLECTOR DE AGUAS RESIDUALES LADERA NORTE MUNICIPIO DOSQUEBRADAS</p>	<p>Página 455</p>
---	--	-------------------

Tabla 61. Intervenciones según cada categoría

CATEGORÍA DE RIESGO	INTERVENCIÓN EN ÁREAS NO OCUPADAS (A)	INTERVENCIÓN EN ÁREAS OCUPADAS (B)	EXIGENCIAS
ALTO	Prohibición de asentamientos e infraestructura	Reubicación de asentamientos e infraestructura, evaluación económica de la reducción del riesgo e implementación de sistemas de alerta	Reducir la amenaza y evaluar económicamente las intervenciones.
MEDIO	Controlar el aumento del riesgo e implementar sistemas de alerta	Protección del área e implementación de sistemas de alerta	Controlar el aumento de la amenaza (A) y proteger el área (B).
BAJO	Controlar el aumento de la amenaza y prevenir el aumento del riesgo	Sin condicionantes	Controlar el aumento de la amenaza (A).

Fuente: Adaptado de Mendes, 2013, en Cardona, 2013.

16.2.3 RIESGO ALTO MITIGABLE O NO MITIGABLE.

A fin de reducir el riesgo de alto a medio, para que este sea mitigable, se proponen tres formas de intervención física, las cuales se deben evaluar según criterios de viabilidad técnica, financiera y urbanística. Dichas intervenciones son:

- Calcular costos de obras para el control de los eventos amenazantes, como también los costos de reubicación de infraestructura y por prohibición de asentamientos.
- Realizar una evaluación económica detallada de la reducción del riesgo en áreas ocupadas.
- Estimar costos de desarrollo de infraestructura en áreas no ocupadas con el fin de transferirlo.

Para determinar si el riesgo es mitigable o no, se deben hacer dos aproximaciones económicas. La primera consiste en comparar los costos totales de los elementos amenazados en condiciones actuales con los costos de los elementos amenazados si tuviesen implementada la medida de mitigación, es decir:

$$\text{Riesgo} = P * V * E \text{ (condición actual)}$$

$$\text{Riesgo} = P * V * E \text{ (con medida de mitigación)}$$

Donde:

- P Probabilidad de ocurrencia de un evento amenazante
- V Vulnerabilidad de los elementos expuestos
- E Costo total de los elementos amenazados por movimientos en masa

La segunda aproximación económica se hace tomando en cuenta los beneficios obtenidos gracias a la reducción del riesgo, como se muestra a continuación

$$\text{Beneficio de mitigación} = P * V * E_{\text{condicion actual}} - P * V * E_{\text{con medida de mitigación}}$$

Estas comparaciones se deben realizar por año, por lo cual se hace necesario expresar el riesgo económico futuro en términos de valor presente VP. Dicho valor presente se puede calcular de la siguiente manera.

$$VP_{\text{año}T} = \text{Factor de depreciación} * \text{Probabilidad de falla en el año } T * \text{Pérdidas totales}$$

Después de obtener ambas aproximaciones económicas y sus beneficios, y con el fin de definir la mitigabilidad del riesgo, se comparan dichas aproximaciones con los costos de reubicación de asentamientos e infraestructura.

Cuando los costos de reubicación son mayores que los costos de las medidas propuestas, el riesgo es mitigable. De ser, al contrario, si los costos de reubicación son menores que los costos de las medidas propuestas, se considera que el riesgo es no mitigable.

Finalmente, se debe realizar la zonificación del riesgo, presentando los resultados mediante un mapa con sus diferentes categorías.

16.3 CONCLUSIÓN RIESGO

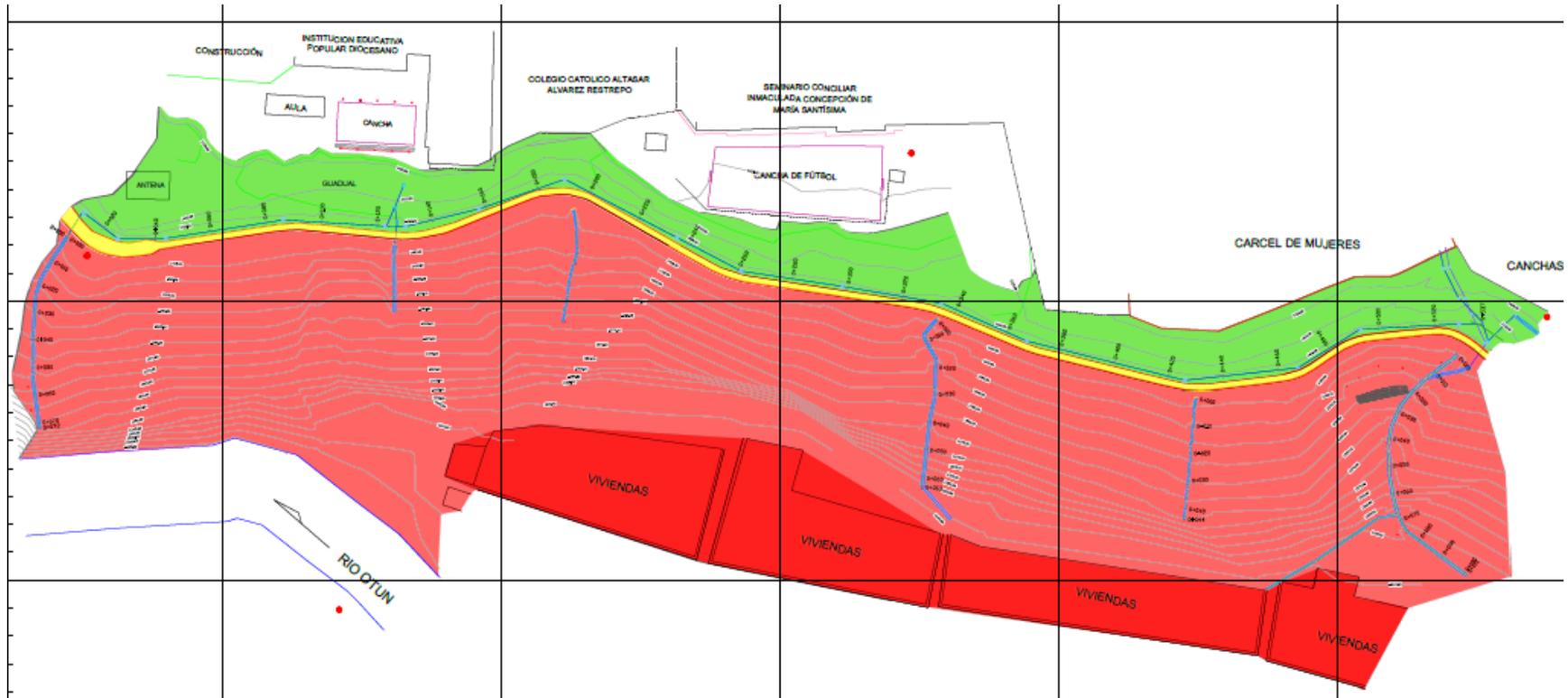
La calificación del riesgo se realizará a partir de la siguiente matriz:

Tabla 62. Matriz de evaluación del riesgo

EVALUACIÓN DE RIESGO				
		AMENAZA POR DESLIZAMIENTO		
		ALTA	MEDIA	BAJA
VULNERABILIDAD	ALTA	Alta	Alta	Media
	MEDIA	Alta	Media	Baja
	BAJA	Media	Baja	Baja

A partir de la superposición de los datos obtenidos al aplicar las metodologías de amenaza y vulnerabilidad, se obtienen los siguientes niveles de riesgo con sus respectivas áreas.

Figura 239. Mapa de riesgo por deslizamiento



Fuente: propia.

CONVENCIONES

RIESGO ALTO NO MITIGABLE

Una vez evaluadas las zonas de amenaza y vulnerabilidad, estas zonas se categorizan con **RIESGO ALTO NO MITIGABLE**, las cuales corresponden a las viviendas y demás infraestructura del barrio La Esneda; la categorización se da en base a que aún si se conformaran las obras de mitigación de la ladera, estos sectores continúan con una alta exposición debido a posibles crecientes del río adyacente; adicionalmente, aun si la ladera continua fuera intervenida a fin de garantizar la estabilidad de la misma, esto no evita un posible deslizamiento aguas arriba del río fuera de la zona objeto de estudio que como consecuencia generaría un represamiento que afectaría directamente las viviendas existentes en este sector.

RIESGO ALTO CONDICIONADO

Una vez evaluadas las zonas de amenaza y vulnerabilidad del sector, estas zonas se categorizan con **RIESGO ALTO CONDICIONADO**, la cual corresponde a la zona de la ladera; esta categorización se da posterior al análisis donde se determinaron zonas de amenaza alta en conjunto con una vulnerabilidad alta de las estructuras presentes, adicionalmente, este riesgo se encuentra condicionado ya que, si bien se pudieran ejecutar obras de estabilidad que garanticen la mitigación del riesgo, la magnitud y el costo de las mismas hace que su mitigación se vuelva inviable desde un punto de vista económico.

RIESGO MEDIO POR DESLIZAMIENTO

La categorización de estas zonas corresponde al análisis de los sectores que presentan una amenaza por deslizamiento media y en conjunto cuentan con estructuras de vulnerabilidad media en base a las condiciones de las mismas y del entorno. Las zonas con riesgo medio por deslizamiento corresponden específicamente al canal longitudinal existente en la zona objeto de estudio.

RIESGO BAJO POR DESLIZAMIENTO

Estas zonas corresponden a la parte alta de la ladera así como el colector existente. La categorización se da posterior al análisis de la amenaza y vulnerabilidad donde se evidenciaron zonas con amenaza media por deslizamiento en base a la pendiente y los espesores blandos presentes y en conjunto con el análisis de la vulnerabilidad de las estructuras presentes la cual, según el estado de las mismas, se categorizaron con una vulnerabilidad baja. El conjunto de esta zonificación da como conclusión las zonas de riesgo por deslizamiento bajo.

17 CONCLUSIONES

- Como lo demuestra el análisis multitemporal y la historia periodística de la ciudad la ladera estudiada ha sufrido recurrente por décadas épocas fenómenos de inestabilidad cuyo mecanismo de falla es el mismo y corresponde principalmente deslizamientos planares de los depósitos superficiales como lo son los de caída piroclástica y suelos residuales de los flujos de lodo, que descansan sobre laderas de fuerte pendiente y cuyo factor detonante son los periodos de lluvia intensos y prolongados se concluye que es una zona de alto riesgo por deslizamiento, por sus características geológicas, alta pendiente, tipo de material superficial, materiales inconsolidados; y esto en temporadas de altas precipitaciones permiten la saturación del terreno y la posterior ocurrencia de movimientos en masas.
- Las fuertes y prolongadas precipitaciones que se presentan principalmente durante las temporadas de lluvias generan incrementos importantes de caudal de las aguas, lo que a su vez genera mayor poder de erosión de dichas aguas sobre las rocas existentes en el área, esto se considera un factor detonante en la ocurrencia de el fenómeno de movimiento en masa ocurrido en la zona estudiada.

- La evaluación geológica realizada en la zona indica que el basamento de la ladera corresponde a depósitos conglomeráticos asociados a la Formación denominada Glacis del Quindío con alto grado de cementación, los cuales están cubiertos en zonas de pendiente medias y suaves por los depósitos de caída piroclástica y por materiales antrópicos producto del desarrollo urbanístico. De igual forma la evaluación geológica muestra que la zona también se ve altamente influenciada por el tectonismo asociado a los lineamientos estructurales que cruzan la ladera. El espesor en la parte superior de la ladera donde la pendiente es suave es de hasta 10 m para la ceniza y en la parte de fuerte pendiente es incluso menor a 1 m.
- Desde el punto de vista geotécnico las propiedades mecánicas de los materiales tanto de los flujos de lodo como de caída piroclástica arrojan valores promedio típico de los que se pueden encontrar en depósitos a lo largo del eje cafetero, resaltando que los valores de ángulo de fricción en ensayos CD es de 33 grados para ambos depósitos y la cohesión muestra valores de 5.5 t/m² y 3,68 respectivamente. Sin embargo, es importante tener presente que las propiedades mecánicas determinadas en laboratorios para los flujos de lodo corresponden principalmente a la matriz limosa de alta plasticidad. Es de esperarse que el ángulo de fricción y la cohesión para el depósito conglomerático en su conjunto matriz-clásicos sean superiores. Esto explica de alguna manera los mecanismos de falla observados donde principalmente los materiales fallados son los depósitos de caída y los suelos meteorizados del flujo.

- En lo que tiene que ver con las velocidades de onda para los dos depósitos predominantes se puede apreciar que en el caso de la ceniza el valor de la velocidad de onda P es de 251 m/s y para la onda S 150 m/s, y contrasta con lo encontrado para los depósitos de flujos de lodo donde la onda P es cercana a 900 m/s y la S 330 m/s. Esto muestra que la rigidez de los depósitos del Glacis es mucho mayor que los materiales superficiales, ratificando nuevamente que el mecanismo de falla corresponde a deslizamientos planares de los suelos poco rígidos sobre los competentes.
- Revisando los resultados de los ensayos de resistividad eléctrica se observan unos resultados contundentes en lo que tiene que ver con el comportamiento hidrológico de la zona, ya que los resultados muestran zonas de muy baja resistividad, siendo indicativos de acuíferos dentro de los flujos de lodo que se van recargando a medida que transcurren los periodos de lluvia intensos y prolongados, siendo esta situación más crítica en épocas donde los inviernos son más inclementes como el que se venía presentando en el momento del evento y que persiste aun.
- La interpolación de la proyección en superficie de las zonas saturadas utilizando la técnica TER permitió el delineamiento de un canal de flujo de agua subterránea que desemboca en la superficie del deslizamiento estudiado.
- La aplicación del método gravimétrico permitió delinear los límites de un depósito sedimentario que ocupa gran parte del área metropolitana de la ciudad de Pereira.

- En lo que tiene que ver con la condición y vulnerabilidad de las conducciones de concreto tipo canales que se ubican a lo largo del talud, se puede decir que los canales bajantes, aunque están funcionando presentan signos de deterioro acelerado y colapso, por tal motivo se recomienda solo dejar funcionales los canales de los extremos construyendo unos nuevos que los reemplacen y suspendiendo los demás a los que les llegan hoy por hoy aguas servidas.

- Para el gran canal de la Empresa de Energía se puede concluir que está totalmente obstruido y los signos de deterioro también son evidentes, sin embargo, como se expresa en otros documentos y estudios previos a esta consultoría no es aconsejable demolerlo ya que su demolición puede acarrear la ocurrencia de fenómenos de inestabilidad debido al posible desconfinamiento de masas de suelo. Se recomienda entonces que este canal sea sometido a un mantenimiento periódico o en su defecto que sea cubierto con tierra ya que esto evitaría zonas de empozamiento en esa estructura que pudiera generar condiciones de inestabilidad, una vez rellenado sería necesario entonces construir sobre este un canal en concreto reforzado que capte las aguas de escorrentía que lleguen a esta zona. El diseño de este canal sugerido se sale del alcance de este estudio ya que la entidad responsable de esta estructura es la encargada de tomar estas decisiones.

- En lo que tiene que ver con el colector de aguas residuales, se pudo constatar que su funcionamiento es adecuado, sin embargo, haciendo todos los chequeos sugeridos por la normatividad y captando todas las aguas servidas de los diferentes centros educativos y la cárcel, se hace necesario que este sea reemplazado por un nuevo sistema que se diseñó en esta consultoría.
- Con la información geológica - geotécnica recopilada es posible hacer entonces una evaluación a de susceptibilidad y amenaza por deslizamiento en la ladera, la cuales arrojaron que en lo que tiene que ver con la susceptibilidad se pudo determinar que más del 67% de su área se considera con susceptibilidad alta y el 33% media. Esta condición de susceptibilidad alto se debe que el contacto litológico entre suelos blandos con depósitos consolidados se da sobre una ladera de pendientes fuertes y adicionalmente porque estos depósitos se saturan ya sea por la lluvia o por el aporte de los acuíferos en la zona. De igual forma la condición sísmica de la región hace de esta zona con estas características susceptible a sufrir fenómenos de inestabilidad. Lo que se considera con susceptibilidad baja en realidad no hace parte de la ladea sino a la zona ubicada en la base de esta donde se localiza el barrio Esneda.
- En lo que tiene que ver con la evaluación de amenaza se puede concluir contundentemente a partir del análisis probabilístico del FS en condiciones críticas de saturación ya sea por lluvia o por acuíferos y sismo que más del 75% del talud muestra condición de probabilidad de falla alta.

- La vulnerabilidad de los elementos expuestos arroja entonces que los canales bajantes de concreto y las viviendas que a la luz de hoy no cumplen la Normativa Sísmica se verían seriamente afectados por un evento como el presentado hace pocos meses ya que estas estructuras se ubican en sectores donde la intensidad del fenómeno los dañaría severamente, para el caso de los canales fallarían con los deslizamientos y para el caso de las viviendas estas estarían en la trayectoria de los posibles movimientos en masa que se presenten en la ladera.
- En la zona de estudio se evidencia zonas de riesgo bajo por deslizamiento en la parte baja de la ladera debido a su baja pendiente y vulnerabilidad baja, en la parte media de la ladera donde se encuentra el canal longitudinal se clasifican como zonas de riesgo medio por deslizamiento debido a su vulnerabilidad media. Toda la ladera por debajo del canal longitudinal donde se encuentran los canales bajantes, el riesgo es alto condicionada, ya que el costo económico para mitigar el riesgo es muy elevado. Finalmente, la zona del Barrio **La Esneda se clasifica como RIESGO ALTO NO MITIGABLE**, ya que para mitigar el riesgo se deben desarrollar infraestructura con un alto costo que aun ejecutándola continuarán las viviendas y personas en alto riesgo porque al presentarse deslizamientos aguas arriba se generaran represamiento e inundaciones que afectaran al mismo sector.

ANEXO 1. PLANO ORTOFOTO

ANEXO 2. PLANO TOPOGRÁFICO

ANEXO 3. CARTERA TOPOGRÁFICA

ANEXO 4. PLANO DE PENDIENTES

ANEXO 5. PLANO GEOLÓGICO

<p>Carrera 21 #64ª-33 Edificio Multiplaza oficina 1207 Tel. 8934298 e-mail: guasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIO DE AMENAZA VULNERABILIDAD Y RIESGO PARA UN TRAMO DEL COLECTOR DE AGUAS RESIDUALES LADERA NORTE MUNICIPIO DOSQUEBRADAS</p>	<p>Página 472</p>
---	--	-----------------------

ANEXO 6. PLANO DE FORMACIONES SUPERFICIALES

<p>Carrera 21 #64ª-33 Edificio Multiplaza oficina 1207 Tel. 8934298 e-mail: guasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIO DE AMENAZA VULNERABILIDAD Y RIESGO PARA UN TRAMO DEL COLECTOR DE AGUAS RESIDUALES LADERA NORTE MUNICIPIO DOSQUEBRADAS</p>	<p>Página 473</p>
---	--	-----------------------

ANEXO 7. PLANO GEOMORFOLÓGICO

ANEXO 8. PLANO DE PROCESOS MORFODINÁMICOS

<p>Carrera 21 #64ª-33 Edificio Multiplaza oficina 1207 Tel. 8934298 e-mail: guasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIO DE AMENAZA VULNERABILIDAD Y RIESGO PARA UN TRAMO DEL COLECTOR DE AGUAS RESIDUALES LADERA NORTE MUNICIPIO DOSQUEBRADAS</p>	<p>Página 475</p>
---	--	-----------------------

ANEXO 9. PLANO DE COBERTURA DEL SUELO Y COBERTURA VEGETAL

ANEXO 10. PLANO DE LOCALIZACIÓN DE SONDEOS

<p>Carrera 21 #64ª-33 Edificio Multiplaza oficina 1207 Tel. 8934298 e-mail: guasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIO DE AMENAZA VULNERABILIDAD Y RIESGO PARA UN TRAMO DEL COLECTOR DE AGUAS RESIDUALES LADERA NORTE MUNICIPIO DOSQUEBRADAS</p>	<p>Página 477</p>
---	--	-----------------------

ANEXO 11. REGISTRO DE SONDEOS

<p>Carrera 21 #64ª-33 Edificio Multiplaza oficina 1207 Tel. 8934298 e-mail: guasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIO DE AMENAZA VULNERABILIDAD Y RIESGO PARA UN TRAMO DEL COLECTOR DE AGUAS RESIDUALES LADERA NORTE MUNICIPIO DOSQUEBRADAS</p>	<p>Página 478</p>
---	--	-----------------------

ANEXO 12. ENSAYOS DE LABORATORIO

<p>Carrera 21 #64ª-33 Edificio Multiplaza oficina 1207 Tel. 8934298 e-mail: guasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIO DE AMENAZA VULNERABILIDAD Y RIESGO PARA UN TRAMO DEL COLECTOR DE AGUAS RESIDUALES LADERA NORTE MUNICIPIO DOSQUEBRADAS</p>	<p>Página 479</p>
---	--	-----------------------

ANEXO 13. REGISTRO FOTOGRÁFICO DE MUESTRAS

<p>Carrera 21 #64ª-33 Edificio Multiplaza oficina 1207 Tel. 8934298 e-mail: guasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIO DE AMENAZA VULNERABILIDAD Y RIESGO PARA UN TRAMO DEL COLECTOR DE AGUAS RESIDUALES LADERA NORTE MUNICIPIO DOSQUEBRADAS</p>	<p>Página 480</p>
---	--	-----------------------

ANEXO 14. TILT TEST

<p>Carrera 21 #64ª-33 Edificio Multiplaza oficina 1207 Tel. 8934298 e-mail: guasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIO DE AMENAZA VULNERABILIDAD Y RIESGO PARA UN TRAMO DEL COLECTOR DE AGUAS RESIDUALES LADERA NORTE MUNICIPIO DOSQUEBRADAS</p>	<p>Página 481</p>
---	--	-----------------------

ANEXO 15. ENSAYO DE PERMEABILIDAD

ANEXO 16. ANEXOS GEO ELECTRICOS

<p>Carrera 21 #64ª-33 Edificio Multiplaza oficina 1207 Tel. 8934298 e-mail: guasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIO DE AMENAZA VULNERABILIDAD Y RIESGO PARA UN TRAMO DEL COLECTOR DE AGUAS RESIDUALES LADERA NORTE MUNICIPIO DOSQUEBRADAS</p>	<p>Página 483</p>
---	--	-----------------------

ANEXO 17. MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR DESLIZAMIENTO

<p>Carrera 21 #64ª-33 Edificio Multiplaza oficina 1207 Tel. 8934298 e-mail: guasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIO DE AMENAZA VULNERABILIDAD Y RIESGO PARA UN TRAMO DEL COLECTOR DE AGUAS RESIDUALES LADERA NORTE MUNICIPIO DOSQUEBRADAS</p>	<p>Página 484</p>
---	--	-----------------------

ANEXO 18. MAPA DE INESTABILIDAD POR DESLIZAMIENTO

<p>Carrera 21 #64ª-33 Edificio Multiplaza oficina 1207 Tel. 8934298 e-mail: guasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIO DE AMENAZA VULNERABILIDAD Y RIESGO PARA UN TRAMO DEL COLECTOR DE AGUAS RESIDUALES LADERA NORTE MUNICIPIO DOSQUEBRADAS</p>	<p>Página 485</p>
---	--	-----------------------

ANEXO 19. MAPA DE AMENAZA POR DESLIZAMIENTO

<p>Carrera 21 #64ª-33 Edificio Multiplaza oficina 1207 Tel. 8934298 e-mail: guasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIO DE AMENAZA VULNERABILIDAD Y RIESGO PARA UN TRAMO DEL COLECTOR DE AGUAS RESIDUALES LADERA NORTE MUNICIPIO DOSQUEBRADAS</p>	<p>Página 486</p>
---	--	-----------------------

ANEXO 20. MAPA DE VULNERABILIDAD POR DESLIZAMIENTO

ANEXO 21. ENSAYOS NÚCLEOS DE CONCRETO

ANEXO 22. ENSAYOS DE CARBONATACIÓN

ANEXO 23. ENSAYOS DE ESCLEROMETRIA

ANEXO 24. MAPA DE RIESGO POR DESLIZAMIENTO

ANEXO 25. PLANO DE OBRAS PROPUESTAS

<p>Carrera 21 #64ª-33 Edificio Multiplaza oficina 1207 Tel. 8934298 e-mail: guasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIO DE AMENAZA VULNERABILIDAD Y RIESGO PARA UN TRAMO DEL COLECTOR DE AGUAS RESIDUALES LADERA NORTE MUNICIPIO DOSQUEBRADAS</p>	<p>Página 492</p>
---	--	-----------------------

ANEXO 26. CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO APROXIMADO

<p>Carrera 21 #64ª-33 Edificio Multiplaza oficina 1207 Tel. 8934298 e-mail: guasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIO DE AMENAZA VULNERABILIDAD Y RIESGO PARA UN TRAMO DEL COLECTOR DE AGUAS RESIDUALES LADERA NORTE MUNICIPIO DOSQUEBRADAS</p>	<p>Página 493</p>
---	--	-----------------------

