



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CALDAS

**ESTUDIOS GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E
HIDRÁULICO Y MICROZONIFICACIÓN DEL
RESGO POR DESLIZAMIENTO Y DISEÑOS DE LAS
OBRAS DE ESTABILIDAD PARA LA REDUCCIÓN
DEL RIESGO EN LA LADERA DERECHA DE LA
QUEBRADA LAS CAMELIAS Y EL BARRIO PERSIA.
MUNICIPIO DE MANIZALES**



INFORME FINAL PARA OBSERVACIONES

MANIZALES – CALDAS

ABRIL DE 2018

<p>Calle 62. No. 23-61 Edificio Torre Plaza 62 Of. 904 Tel. 8813561 fax. 8813437. e-mail: quasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIOS GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDRÁULICO Y MICROZONIFICACIÓN DEL RESGO POR DESLIZAMIENTO Y DISEÑOS DE LAS OBRAS DE ESTABILIDAD PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO EN EL BARRIO PERSIA. MUNICIPIO DE MANIZALES</p>	<p>Página 1</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

Índice Revisión	Capítulo Modificado	Fecha de Modificación	Observaciones
0			Versión Original

ESTADO DE REVISIÓN Y APROBACIÓN

Tipo de Documento: INFORME		Título: ESTUDIOS GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDRÁULICO Y MICROZONIFICACIÓN DEL RIESGO POR DESLIZAMIENTO Y DISEÑOS DE LAS OBRAS DE ESTABILIDAD PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO EN LA LADERA DERECHA DE LA QUEBRADA LAS CAMELIAS Y EL BARRIO PERSIA. MUNICIPIO DE MANIZALES.				
Contrato N°: 206 – 2017						
A P R O B A C I Ó N	Número de Revisión		0	1	2	3
	Presentó	Nombre	Quasar Ingenieros Consultores			
		Firma				
		Fecha				
	Dirección Estudios y Diseños	Nombre				
		Firma				
		Fecha				
	Aprobación	Nombre				
		Firma				
		Fecha				

INFORME

ESTUDIOS GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDRÁULICO Y MICROZONIFICACIÓN DEL RIESGO POR DESLIZAMIENTO Y DISEÑOS DE LAS OBRAS DE ESTABILIDAD PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO EN EL BARRIO PERSIA. MUNICIPIO DE MANIZALES

TABLA DE CONTENIDO

1	<u>INTRODUCCIÓN</u>	<u>28</u>
2	<u>DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO</u>	<u>30</u>
2.1	OBJETIVO GENERAL:-----	30
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS: -----	30
2.3	LOCALIZACIÓN -----	34
3	<u>METODOLOGÍA.</u>	<u>37</u>
4	<u>SECTORIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO</u>	<u>39</u>
4.1	SECTOR 0 -----	41
4.2	SECTOR 1 -----	42
4.3	SECTOR 2 -----	43
4.4	SECTOR 3 -----	44
4.5	SECTOR 4 -----	45
4.6	SECTOR 5 -----	46
4.7	SECTOR 6 -----	47
4.8	SECTOR 7 -----	48



CORPOCALDAS



QUASAR
INGENIEROS CONSULTORES S.A.S.
PIONEROS EN GESTIÓN DEL RIESGO

4.9	SECTOR 8 -----	49
5	TOPOGRAFÍA -----	50
5.1	OBJETIVO Y ALCANCE -----	50
5.2	LOCALIZACIÓN DE COORDENADAS AL SISTEMA IGAC -----	50
5.2.1	AMARRE HORIZONTAL Y VERTICAL	50
5.3	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE LA ZONA -----	54
6	GEOLOGÍA REGIONAL -----	57
6.1	GEOLOGÍA REGIONAL -----	57
6.1.1	COMPLEJO QUEBRADAGRANDE	57
6.1.2	DEPÓSITOS DE CAÍDA PIROCLÁSTICA	58
6.1.3	FORMACIÓN CASABIANCA (TSCB)	59
6.1.4	FORMACIÓN MANIZALES (TSMZ)	59
6.1.5	DOMO SANCANCIO (QDSC)	60
6.1.6	DEPÓSITOS DE FLUJOS DE ESCOMBROS (QFE)	60
6.1.7	DEPÓSITOS ALUVIALES (QAL)	61
6.2	ESTRATIGRAFÍA EN LA ZONA -----	62
6.2.1	FORMACIÓN CASABIANCA (TSCB)	62
6.3	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL -----	64
6.3.1	MARCO TECTÓNICO REGIONAL.....	64
6.3.2	MARCO TECTÓNICO LOCAL	65
6.4	GEOMORFOLOGÍA -----	68
6.4.1	SUPERFICIES ANTRÓPICAS	68
6.4.2	UNIDADES ALUVIALES.....	69
6.4.3	VERTIENTE EROSIONABLE	70
6.5	FORMACIONES SUPERFICIALES -----	72
6.5.1	DERIVADOS DE ROCA IN SITU FORMACIÓN CASABIANCA TSCB.	

6.5.2	DEPÓSITOS DE CAÍDA PIROCLÁSTICA (QCP).....	72
6.5.3	LLENOS Y EXPLANACIONES (Fill).....	75
6.6	MORFOMETRÍA.....	76
6.7	COBERTURA VEGETAL	82
6.7.1	COBERTURA DEL SUELO ACTUAL.....	84
6.8	USOS DEL SUELO	89
6.9	PROCESOS MORFODINÁMICOS	93
6.9.1	EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA COBERTURA DEL SUELO	93
6.10	ZONIFICACIÓN DE LA APTITUD DE USOS DEL SUELO	100
6.11	DEFINICIÓN DE CONFLICTOS DE USOS DEL SUELO	104
7	<u>GEOLOGÍA LOCAL</u>.....	107
7.1	SITIO 0	107
7.1.1	GEOLOGÍA.....	107
7.1.2	AMENAZAS NATURALES	118
7.1.3	VULNERABILIDAD	118
7.2	SITIO 1	119
7.2.1	GEOLOGÍA.....	120
7.2.2	AMENAZAS NATURALES	131
7.2.3	VULNERABILIDAD	131
7.3	SITIO 2	133
7.3.1	GEOLOGÍA.....	133
7.3.2	AMENAZAS NATURALES	139
7.3.3	VULNERABILIDAD	140
7.4	SITIO 3	142
7.4.1	GEOLOGÍA.....	142
7.4.2	AMENAZAS NATURALES	150
7.4.3	VULNERABILIDAD	150

7.5	SITIO 4	153
7.5.1	GEOLOGÍA	153
7.5.2	AMENAZAS NATURALES	163
7.5.3	VULNERABILIDAD	163
7.6	SITIO 5	165
7.6.1	GEOLOGÍA	165
7.6.2	AMENAZAS NATURALES	172
7.6.3	VULNERABILIDAD	172
7.7	SITIO 6	173
7.7.1	GEOLOGÍA	173
7.7.2	AMENAZAS NATURALES	178
7.7.3	VULNERABILIDAD	178
7.8	SITIO 7	179
7.8.1	GEOLOGÍA	179
7.8.2	AMENAZAS NATURALES	187
7.8.3	VULNERABILIDAD	187
7.9	SITIO 8	188
7.9.1	GEOLOGÍA	189
7.9.2	AMENAZAS NATURALES	198
7.9.3	VULNERABILIDAD	198
8	<u>GEOTECNIA</u>	201
8.1	PROSPECCIÓN GEOTÉCNICA.	201
8.1.1	DESCRIPCIÓN DE LAS PERFORACIONES SITIO 0.	201
8.1.2	DESCRIPCIÓN DE LAS PERFORACIONES SITIO 1.	202
8.1.3	DESCRIPCIÓN DE LAS PERFORACIONES SITIO 2.	203
8.1.4	DESCRIPCIÓN DE LAS PERFORACIONES SITIO 3.	204
8.1.5	DESCRIPCIÓN DE LAS PERFORACIONES SITIO 4.	204

8.1.6	DESCRIPCIÓN DE LAS PERFORACIONES SITIO 5.	205
8.1.7	DESCRIPCIÓN DE LAS PERFORACIONES SITIO 6.	206
8.1.8	DESCRIPCIÓN DE LAS PERFORACIONES SITIO 7.	206
8.1.9	DESCRIPCIÓN DE LAS PERFORACIONES SITIO 8.	207
8.2	PERFIL TÍPICO DEL SUELO-----	209
8.2.1	PERFIL TÍPICO SITIO 0.....	209
8.2.2	PERFIL TÍPICO SITIO 1.....	210
8.2.3	PERFIL TÍPICO SITIO 2.....	211
8.2.4	PERFIL TÍPICO SITIO 3.....	212
8.2.5	PERFIL TÍPICO SITIO 4.....	213
8.2.6	PERFIL TÍPICO SITIO 5.....	214
8.2.7	PERFIL TÍPICO SITIO 6.....	215
8.2.8	PERFIL TÍPICO SITIO 7.....	216
8.2.9	PERFIL TÍPICO SITIO 8.....	217
8.3	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS MATERIALES. -----	218
8.3.1	SITIO 0.....	219
8.3.2	SITIO 1.....	228
8.3.3	SITIO 2.....	234
8.3.4	SITIO 3.....	237
8.3.5	SITIO 4.....	243
8.3.6	SITIO 5.....	249
8.3.7	SITIO 6.....	252
8.3.8	SITIO 7.....	255
8.3.9	SITIO 8.....	258
8.4	ENSAYOS GEOFÍSICOS -----	271
8.4.1	EQUIPOS EMPLEADOS.....	272
8.4.2	INTERPRETACIÓN SÍSMICA.....	276

8.4.3	INTERPRETACIÓN CON MODELO SIMPLIFICADO.....	283
8.4.4	INTERPRETACIÓN CON TOMOGRAFÍA SÍSMICA.....	289
8.5	PERFIL DEL SUELO.	294
8.5.1	DEFINICIÓN DE LA ZONA DE AMENAZA.....	294
8.5.2	DEFINICIÓN DEL TIPO PERFIL DEL SUELO.....	297
9	<u>CLIMA.</u>	300
9.1	PRECIPITACIÓN	302
9.1.1	ESTACIÓN METEOROLÓGICA HOSPITAL DE CALDAS.....	303
9.1.2	ESTACIÓN METEOROLÓGICA QUEBRADA PALOGRANDE – RUTA 30. 304	
10	<u>HIDROLOGÍA</u>	307
10.1	CUENCA DEL RÍO CHINCHINÁ	310
10.2	ASPECTOS HIDROLÓGICOS	312
10.2.1	DIRECCIÓN DEL FLUJO.	312
10.2.2	LONGITUD DEL FLUJO	313
10.2.3	ACUMULACIÓN DE FLUJOS.....	314
10.3	CURVA IDF	316
11	<u>ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD POR DESLIZAMIENTO</u>	317
11.1	FACTORES CONDICIONANTES	318
11.1.1	SUSCEPTIBILIDAD POR COBERTURA Y USO DEL SUELO (SUC)	318
11.1.2	SUSCEPTIBILIDAD POR CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS, GEOMORFOLÓGICAS Y GEOTÉCNICAS (SCG):.....	320
11.1.3	SUSCEPTIBILIDAD POR PENDIENTE DEL TERRENO (Spt):.....	322
11.2	CÁLCULO DE LA SUSCEPTIBILIDAD	323
12	<u>CALCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD POR MÉTODO DEL TALUD INFINITO (CAPRA, 2011)</u>	325
13	<u>PROCESOS DENUDATIVOS Y EROSIVOS ACTUALES</u>	330

13.1	HIPÓTESIS DEL MECANISMO DE FALLA	331
14	<u>ANÁLISIS DE AMENAZA POR DESLIZAMIENTO.</u>	334
14.1	ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA	337
14.1.1	ÁREAS CON AMENAZA ALTA	338
14.1.2	ÁREAS CON AMENAZA MEDIA	339
14.1.3	ÁREAS CON AMENAZA BAJA	340
15	<u>ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD.</u>	342
15.1	IDENTIFICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS EXPUESTOS.	342
15.2	CARACTERIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS EXPUESTOS.	344
15.2.1	TIPOLOGÍA.....	344
15.3	EXPOSICIÓN.	347
15.3.1	DISTANCIA DE VIAJE DEL MOVIMIENTO EN MASA.....	350
15.3.2	EXPOSICIÓN DE LAS EDIFICACIONES EN EL ESTUDIO	351
15.4	FRAGILIDAD.	353
15.4.1	FRAGILIDAD EN EDIFICACIONES	353
15.5	ESCENARIOS DE VULNERABILIDAD. TIPOS DE DAÑO.	364
15.5.1	ESCENARIO DE ALTA VELOCIDAD DE DEFORMACIÓN.....	364
15.6	CÁLCULO Y ZONIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD.	376
15.6.1	CÁLCULO DE LA VULNERABILIDAD.....	376
15.6.2	ZONIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD.....	378
16	<u>EVALUACIÓN DEL RIESGO.</u>	391
16.1	EVALUACIÓN DEL RIESGO.	391
16.1.1	CATEGORIZACIÓN DEL RIESGO.	392
16.1.2	CATEGORÍAS DEL RIESGO Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN.	393
16.1.3	RIESGO ALTO MITIGABLE O NO MITIGABLE.....	395
17	<u>OBRAS PROPUESTAS PARA LA MITIGACIÓN DEL RIESGO</u>	401

17.1 OBRAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO PARA FENÓMENOS DE INESTABILIDAD MAYORES.....	401
17.1.1 SITIO 0	401
17.1.2 SITIO 1	403
17.1.3 SITIO 4	404
17.2 OBRAS TÍPICAS PARA EL MEJORAMIENTO INTEGRAL DE LA ZONA --	405
17.2.1 ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN.....	405
17.2.2 OBRAS DE MANEJO DE AGUAS SUPERFICIALES	407
17.2.3 OBRAS DE MANEJO DE AGUAS SUB-SUPERFICIALES.....	408
17.2.4 OBRAS DE MODELAMIENTO DE TALUDES	409
17.2.5 OBRAS DE CONTROL DE EROSIÓN.....	409
18 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES	410
18.1 GENERALIDADES.	410
18.2 HIPÓTESIS DE FALLA.....	412
18.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD	412
18.3.1 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD SITIO 1, CONDICIONES DINÁMICAS	415
18.3.2 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD SITIO 1, CONDICIONES ESTÁTICAS	421
18.3.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD SITIO 0, CONDICIONES DINÁMICAS	426
18.3.4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD SITIO 0, CONDICIONES ESTÁTICAS	434
18.3.5 ANALISIS DE ESTABILIDAD SITIO 4, CONDICIÓN DINÁMICA .	441
18.3.6 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD SITIO 4, CONDICION ESTATICA	449
18.4 COMENTARIOS DEL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD	457
19 COMENTARIOS FINALES	460
20 RECOMENDACIONES	462

Lista de Figuras

Figura 1. Localización de la zona de estudio.....	35
Figura 2. Vista aérea panorámica de la zona de estudio.	36
Figura 3. Sectorización del área de estudio: Puntos críticos.....	40
Figura 4. Vista aérea Sector 0. Barrio Persia.....	41
Figura 5. Vista aérea Sector 1. Barrio Persia.....	42
Figura 6. Vista aérea Sector 2. Barrio Persia.....	43
Figura 7. Vista aérea Sector 3. Barrio Persia.....	44
Figura 8. Vista aérea Sector 4. Barrio Persia.....	45
Figura 9. Vista aérea Sector 5. Barrio Persia.....	46
Figura 10. Vista aérea Sector 6. Barrio Persia.....	47
Figura 11. Vista aérea Sector 7. Barrio Persia.....	48
Figura 12. Vista aérea Sector 8. Barrio Persia.....	49
Figura 13. Registro Fotográfico Levantamiento Topográfico.	56
Figura 14. Formación Casabianca.....	62
Figura 15. Mapa geológico del Área de estudio.	63
Figura 16. Fallas y lineamientos en el sector.	65
Figura 17. Ubicación de la zona de estudio (cuadrado rojo) con respecto a las principales estructuras geológicas que cruzan a Manizales.....	67
Figura 18. Unidades antrópicas al oriente del área.	69
Figura 19. Unidades aluviales al centro del área.....	69
Figura 20. Unidades aluviales al centro del área.....	70
Figura 21. Mapa de Unidades Geomorfológicas presentes en el Área de estudio	71

Figura 22. Sector conformado por depósitos de caída piroclástica.	73
Figura 23. Afloramiento expuesto por el deslizamiento de la roca meteorizada de la Formación Casabianca.	73
Figura 24. Mapa de Formaciones Superficiales.	74
Figura 25. Mapa de formaciones superficiales.	75
Figura 26. Relación de pendientes.....	76
Figura 27. Rango de pendiente inferior a 5 grados.....	78
Figura 28. Rango de pendiente entre 5 y 15 grados.	78
Figura 29. Rango de pendiente entre 15 y 25 grados.	79
Figura 30. Rango de pendiente entre 25 y 30 grados.	79
Figura 31. Rango de pendientes superiores a los 30 grados.....	80
Figura 32. Mapa Morfométrico en el Área de estudio	81
Figura 33. Fotografía del área para el año 2016.	83
Figura 34. Áreas sin cobertura, con uso residencial.	85
Figura 35. Suelo expuesto, parte del deslizamiento.	85
Figura 36. Pastos presentes, suelo de protección.....	86
Figura 37. Pastos arbolados, correspondientes a suelos de protección.	86
Figura 38. Rastrojos, correspondientes a suelos de protección.	87
Figura 39. Rastrojos altos, suelo de protección,	87
Figura 40. Cobertura vegetal.	88
Figura 41. Barrio Bajo Persia, sector residencial.....	89
Figura 42. Infraestructura vial, sector Persia.	90
Figura 43. Zonas verdes, en el barrio Bajo Persia.	90
Figura 44. Suelo de protección, Ladera urbana San Luis.	91
Figura 45. Sector del deslizamiento, suceso del 19 de abril de 2017.....	91
Figura 46. Mapa de usos del suelo.	92
Figura 47. Cobertura y uso del suelo para el año 1944.	93

Figura 48. Coberturas del suelo para el año 1955.....	94
Figura 49. Cobertura del suelo periodo 1969-1970.....	95
Figura 50. Cobertura del suelo periodo 1977-1979.....	96
Figura 51. Cobertura del suelo periodo 1984-1987-1990.....	97
Figura 52. Cobertura del suelo periodo 2002-2003.....	98
Figura 53. Cobertura del suelo periodo 2016.	99
Figura 54. Aptitud Agrícola residencial sector centro del área.	101
Figura 55. Agrícola con restricciones sector norte del área.	101
Figura 56. Aptitud forestal protector sector oriental del área.	102
Figura 57. Mapa de aptitudes de usos del suelo.	103
Figura 58. Sector sin conflicto de uso del suelo sector centro norte del área....	104
Figura 59. Áreas con conflictos de uso del suelo al centro del área.	105
Figura 60. Conflictos de usos para el año 2016.....	106
Figura 61. Panorámica del Sitio 0 (Cero).....	107
Figura 62. Aspecto de los bloques de andesita que conforman el flujo de escombros de la Formación Casabianca, en el sector suroccidental del área de estudio. Un detalle de un bloque de andesita de la Formación Casabianca.....	108
Figura 63. Otro detalle del flujo de escombros de la Formación Casabianca, en donde se aprecian aún los bloques de roca embebidos en matriz arcillosa.	109
Figura 64. Es evidente el grado de meteorización que presentan los clastos del flujo de escombros que conforman la unidad geológica de la zona del sitio denominado Cero.....	109
Figura 65. Se tienen cenizas volcánicas como la formación superficial que conforma la zona.	110

Figura 66. Los depósitos de caída piroclástica se encuentran cubiertos por suelos de color negro y cubren el depósito de flujo de escombros de la Formación Casabianca..... 111

Figura 67. La geoforma sobre la que se localiza la zona de estudio corresponde a una ladera de fuerte inclinación..... 112

Figura 68. Sobre la parte alta de la zona de estudio, sector norte y nororiente de éste, se tienen zonas de mínima pendiente (menores a 10° de inclinación). 113

Figura 69. La fuerte inclinación predominante en la zona (mayor a 30°), es una de las principales causas de la inestabilidad. 113

Figura 70. Panorámica del deslizamiento que se presenta en el Sitio 0 (Cero). 115

Figura 71. Detalle del sector oriental del área de estudio donde se indica con las flechas de color blanco las superficies de caminos de ganado y en rojo la cicatriz de deslizamiento. 117

Figura 72. La vulnerabilidad en el área se relaciona con las viviendas existentes en la base de la ladera. 118

Figura 73. Panorámica de la parte baja del sitio 1 (Uno)..... 119

Figura 74. Panorámica de la parte alta del sitio 1 (Uno)..... 119

Figura 75. Detalle de la Formación Casabianca en la base del talud objeto de estudio, en donde se tienen bloques de altamente meteorizados embebidos en matriz arcillosa de color habano. 120

Figura 76. Otro aspecto de la roca los bloques de la Formación Casabianca en la base del talud..... 121

Figura 77. También se tienen bloques frescos de andesitas de hasta 1 metro de diámetro en la base del talud..... 121

Figura 78. Aspecto del depósito de flujo de escombros de la Formación Casabianca hacia la corona del talud de interés, zona en la cual el alto

grado de meteorización de esta unidad es evidente ante la variedad de colores. 122

Figura 79. Un detalle del flujo de escombros de la Formación Casabianca en la parte alta de la ladera. 122

Figura 80. El Sitio 1 se ubica sobre una geoforma de ladera de fuerte inclinación. 124

Figura 81. Vista desde la base de la ladera y hacia la parte alta de la misma, donde se aprecia el alto grado de inclinación de la ladera. 124

Figura 82. Detalle de la parte media de la ladera, donde se aprecia el alto grado de inclinación. 125

Figura 83. Viviendas afectadas por los movimientos en masa del día 19 de abril de 2017. 126

Figura 84. Otras de las viviendas afectadas por el deslizamiento en el Sitio 1.. 126

Figura 85. Panorámica del movimiento en masa que afecta la parte media y alta de la ladera. 127

Figura 86. Panorámica del deslizamiento que afectó la parte media y baja de la ladera. 128

Figura 87. Hacia la parte baja y media de la ladera se tiene cobertura vegetal de pastos. 130

Figura 88. Aspecto de la parte media de la ladera, donde se tiene cobertura vegetal de pastos. 130

Figura 89. Hacia la parte alta de la ladera se tiene el depósito de flujo de escombros expuesto. 131

Figura 90. Viviendas ubicadas en la parte baja de la ladera hacen parte de los elementos expuestos ante la ocurrencia de movimientos en masa. 132

Figura 91. Viviendas ubicadas en el sector norte de la zona de interés también hacen parte de zonas vulnerables en el Sitio 1. 132

Figura 92. Panorámica del Sitio 2 (Dos). 133

Figura 93. En el Sitio 2, la unidad geológica corresponde al depósito de flujo de escombros de la Formación Casabianca..... 133

Figura 94. Suelos de color negro conforman la formación superficial en el área del Sitio 2. 134

Figura 95. La zona se localiza sobre una geoforma de ladera de fuerte pendiente. 135

Figura 96. La ladera del Sitio 2 posee una inclinación mayor o igual a 30°...... 135

Figura 97. En el Sitio 2 se tienen un movimiento en masa que solo involucra suelos de poco espesor, pero que genera riesgos sobre las viviendas localizadas en la base de la ladera. 137

Figura 98. Pastos y rastrojos constituyen la cobertura vegetal del Sitio 2. 139

Figura 99. Varias viviendas ubicadas en la base de la ladera hacen parte de los elementos expuestos ante la ocurrencia de un movimiento en masa..... 140

Figura 100. Algunas viviendas presentan sistemas constructivos deficientes que incrementan su vulnerabilidad frente a la ocurrencia de un movimiento en masa. 140

Figura 101. Es notable en las viviendas de la base de la ladera, la ausencia de canales y bajantes para el manejo de las aguas de las cubiertas, condiciones que permite la saturación de los suelos, y la acción erosiva de las aguas de escorrentía. 141

Figura 102. Panorámica del Sitio 3. 142

Figura 103. El depósito de flujo de escombros de la Formación Casabianca se presenta muy alterado en el área del Sitio 3. Apenas se alcanzan a apreciar los clastos que lo constituyen. 142

Figura 104. Panorámica de la geoforma de ladera sobre la cual se ubica el Sitio 3. 143

Figura 105. Otro aspecto de la geoforma de ladera en el Sitio 3. 144

Figura 106. Vista del sector norte de la zona, donde se tienen inclinaciones mayores a 30°. 145

Figura 107. Zonas con inclinaciones mayores a 30° sobre el sector central del área. 145

Figura 108. Detalle de los daños provocados por el movimiento en masa del sector norte que afectó una de las viviendas localizada en la base de la ladera. 147

Figura 109. Panorámica de la zona donde se presentó el movimiento en masa en el sector sur del Sitio 3. 148

Figura 110. Detalle de la zona afectada por el deslizamiento en la zona sur del Sitio 3. 148

Figura 111. Detalle de la cobertura vegetal de pastos en el sector norte. 149

Figura 112. Cobertura vegetal de guadua y arbustos en el sector central del área. 149

Figura 113. Cobertura vegetal de rastrojos en el sector sur de la zona del Sitio 3. 150

Figura 114. Se muestran viviendas localizadas en la corona y base de la ladera, las cuales pueden resultar afectadas ante la ocurrencia de un movimiento en masa. 151

Figura 115. Sector sur del Sitio 3, zona de alta vulnerabilidad por la ubicación de viviendas en la corona y base de la ladera. 151

Figura 116. Viviendas localizadas en la base de la ladera. 152

Figura 117. Otro ángulo de vista de las viviendas ubicadas en la base de la ladera del Sitio 3. 152

Figura 118. Panorámica del Sitio 4. 153

Figura 119. Detalle del flujo de escombros de la Formación Casabianca en el sitio 4..... 154

Figura 120. El alto grado de meteorización del depósito de flujo de escombros de la Formación Casabianca le confiere una coloración rojiza y textura arcillosa..... 154

Figura 121. Otro aspecto del depósito de flujo de escombros en el área del Sitio 4, en el cual presentan coloración gris clara a habana. 155

Figura 122. Panorámica del sitio 6, donde se indican las geoformas que lo constituyen..... 156

Figura 123. En lo alto de la zona 4, se tienen zonas con inclinaciones menores a 10°, geoforma de cima. 157

Figura 124. Se tienen pendientes mayores o iguales a 30°, en el geoforma de ladera. 158

Figura 125. Taludes con inclinaciones mayores a 30° en el sector suroccidental del área..... 158

Figura 126. Detalle de zonas con inclinaciones mayores o iguales a 30°, donde la pendiente es un factor desequilibrante en la estabilidad de la ladera. 159

Figura 127. Detalle del movimiento en masa en el sector occidental del Sitio 4. 160

Figura 128. Detalle del movimiento en masa en el sector central del área..... 161

Figura 129. En el sector occidental predomina la cobertura vegetal de pastos. 162

Figura 130. Hacia el sector central y oriental se tienen pastos y rastrojos..... 162

Figura 131. Existe una alta vulnerabilidad en el Sitio 4, representada por la existencia de varias viviendas en la geoforma de ladera que posee fuerte inclinación..... 163

Figura 132. Otro ángulo de vista de la zona vulnerable en el Sitio 4..... 164

Figura 133. Panorámica del Sitio 5.	165
Figura 134. Aspecto del depósito de flujo de escombros en el área del Sitio 5, en el cual su alto grado de meteorización es la principal característica.	165
Figura 135. La geoforma en el área del sitio 5 es una ladera de fuerte inclinación.	166
Figura 136. Aspecto de la zona con pendientes mayores o iguales a 30ª de inclinación.	167
Figura 137. Detalle del movimiento en masa que se presenta en la parte baja del Sitio 5.	169
Figura 138. Panorámica de las cicatrices de deslizamientos que se presentan en el Sitio 5.	170
Figura 139. Los pastos es la cobertura vegetal de mayor predominio en la zona.	171
Figura 140. Además de los pastos se tiene trompetos y varias palmas como cobertura vegetal en el Sitio 5.	171
Figura 141. Panorámica del Sitio 6.	173
Figura 142. El depósito de flujo de escombros que conforma la geología del Sitio 6, se presenta altamente meteorizado.	174
Figura 143. En la base de la ladera se tienen depósitos antrópicos.	175
Figura 144. Detalle de los depósitos antrópicos en la parte alta del Sitio 6.	175
Figura 145. Panorámica de la geoforma de ladera sobre la que se localiza el Sitio 6.	176
Figura 146. La cobertura vegetal del Sitio 6, corresponde a una mezcla de pastos y rastrojos.	177
Figura 147. Panorámica del Sitio 7.	179
Figura 148. Detalle del flujo de escombros de la Formación Casabianca en el área del Sitio 7.	180

Figura 149. Suelos de color negro conforman la formación superficial en el área del Sitio 7. 181

Figura 150. La zona se localiza sobre una geofoma de ladera de fuerte pendiente. 182

Figura 151. La ladera del Sitio 7 posee una inclinación mayor o igual a 30°..... 182

Figura 152. En el Sitio 7 se tiene un movimiento en masa que genero considerables a daños en las viviendas localizadas en la parte baja de la ladera. La línea roja marca el deslizamiento..... 184

Figura 153. La cobertura vegetal en el Sitio 7 se asocia con rastrojos..... 186

Figura 154. Otro aspecto de la cobertura vegetal de rastrojos en la parte baja de la ladera del Sitio 7. 186

Figura 155. Panorámica del sector suroccidental del Sitio 8. 188

Figura 156. Panorámica del sector suroriental del Sitio 8. 188

Figura 157. En el Sitio 8, sobre su parte media se aprecia el flujo de escombros de la Formación Casabianca altamente meteorizado. 190

Figura 158. Detalle de las cenizas volcánicas en el Sitio 8. 191

Figura 159. Fotografía que permite apreciar el depósito de flujo de escombros en afloramiento sobre la parte media de ladera, en la que se destaca el alto grado de meteorización del flujo, presentando una textura arcillosa. 191

Figura 160. Detalle de los depósitos antrópicos en el sector sur del área, resultantes de los sobrantes de la construcción de la ruta 30..... 192

Figura 161. Panorámica de la geofoma de ladera en donde se ubica el Sitio 8. 193

Figura 162. Panorámica del sector sur del área, donde se aprecia parte de la geofoma de ladera, caracterizada por su fuerte inclinación..... 193

Figura 163. Fotografía de zonas con pendientes entre 10 y 30° de inclinación. 194

Figura 164. Detalle de zonas con pendientes mayores a 30° de inclinación. 195

Figura 165. Se presentan fenómenos de caminos de ganado en zonas de alta pendiente en el sector nororiental del Sitio 8. 196

Figura 166. Zona afectada por procesos erosivos de caminos de ganado, en la cual ya se empieza a apreciar una pérdida de suelo, que la puede convertir lentamente a movimiento en masa. 196

Figura 167. Mezcla de bosques y rastrojos en el sector oriental del área. 197

Figura 168. Cobertura de bosque en el sector central, zona alta de la geoforma de ladera. 197

Figura 169. Cobertura de pastos y rastrojos en el sector suroccidental de la zona. 198

Figura 170. La vulnerabilidad en la zona del Sitio 8 se relaciona a una vivienda ubicada sobre el sector norte de la ladera. 199

Figura 171. Ante la ocurrencia de un movimiento en masa en la ladera donde se localiza el Sitio 8, la vía ruta 30, así como sus usuarios entran hacer parte de los elementos expuesto ante el fenómeno. 199

Figura 172. También se tienen como parte de los elementos expuestos ante la potencial ocurrencia de un movimiento en masa varias viviendas localizadas hacia la corona de la ladera, así estén por fuera de la zona de estudio (Sitio 8). 200

Figura 173. Perfil estratigráfico característico Sitio 0. 209

Figura 174. Perfil estratigráfico característico Sitio 1. 210

Figura 175. Perfil estratigráfico característico Sitio 2. 211

Figura 176. Perfil estratigráfico característico Sitio 3. 212

Figura 177. Perfil estratigráfico característico Sitio 4. 213

Figura 178. Perfil estratigráfico característico Sitio 5. 214

Figura 179. Perfil estratigráfico característico Sitio 6. 215

Figura 180. Perfil estratigráfico característico Sitio 7. 216

Figura 181. Perfil estratigráfico característico Sitio 8.....	217
Figura 182. Sondeos realizados en el Sitio 0.	267
Figura 183. Sondeos realizados en el Sitio 1.	267
Figura 184. Sondeos realizados en el Sitio 2.	268
Figura 185. Sondeos realizados en el Sitio 3.	268
Figura 186. Sondeos realizados en el Sitio 4.	269
Figura 187. Sondeos realizados en el Sitio 5.	269
Figura 188. Sondeos realizados en el Sitio 6.	270
Figura 189. Sondeos realizados en el Sitio 7.	270
Figura 190. Sondeos realizados en el Sitio 8.	271
Figura 191. Equipo adquisición de datos sísmicos LRS 1.	273
Figura 192. Equipo adquisición de datos sísmicos LRS 3 y 4.	273
Figura 193. Equipo adquisición de datos sísmicos LRS 5.	274
Figura 194. Equipo adquisición de datos sísmicos LRS 6.	274
Figura 195. Equipo adquisición de datos sísmicos LRS 7.	275
Figura 196. Equipo adquisición de datos sísmicos LRS 8.	275
Figura 197. Equipo adquisición de datos sísmicos LRS 9.	276
Figura 198. Ensayo de refracción sísmica LRS 1.	277
Figura 199. Ensayo de refracción sísmica LRS 3.....	278
Figura 200. Ensayo de refracción sísmica LRS 4.....	278
Figura 201. Ensayo de refracción sísmica LRS 5.....	279
Figura 202. Ensayo de refracción sísmica LRS 6.....	279
Figura 203. Ensayo de refracción sísmica LRS 7.....	280
Figura 204. Ensayo de refracción sísmica LRS 8.....	280
Figura 205. Ensayo de refracción sísmica LRS 9.....	281
Figura 206. Perfil sísmico compuesto por la línea sísmica LRS-1.....	284
Figura 207. Perfil sísmico compuesto por la línea sísmica LRS-2.....	284

Figura 208. Perfil sísmico compuesto por la línea sísmica LRS-3.....	285
Figura 209. Perfil sísmico compuesto por la línea sísmica LRS-4.....	285
Figura 210. Perfil sísmico compuesto por la línea sísmica LRS-5.....	286
Figura 211. Perfil sísmico compuesto por la línea sísmica LRS-6.....	286
Figura 212. Perfil sísmico compuesto por la línea sísmica LRS-7.....	287
Figura 213. Perfil sísmico compuesto por la línea sísmica LRS-8.....	287
Figura 214. Perfil sísmico compuesto por la línea sísmica LRS-9.....	287
Figura 215. Perfil sísmico compuesto por la línea sísmica LRS-10.....	288
Figura 216. Tomografía sísmica compuesta por la línea sísmica LRS-1.	289
Figura 217. Tomografía sísmica compuesta por la línea sísmica LRS-2.	290
Figura 218. Tomografía sísmica compuesta por la línea sísmica LRS-3.	290
Figura 219. Tomografía sísmica compuesta por la línea sísmica LRS-4.	291
Figura 220. Tomografía sísmica compuesta por la línea sísmica LRS-5.	291
Figura 221. Tomografía sísmica compuesta por la línea sísmica LRS-6.	292
Figura 222. Tomografía sísmica compuesta por la línea sísmica LRS-7.	292
Figura 223. Tomografía sísmica compuesta por la línea sísmica LRS-8.	292
Figura 224. Tomografía sísmica compuesta por la línea sísmica LRS-9.	293
Figura 225. Mapa de valores de A_a	294
Figura 226. Mapa de valores de A_v	295
Figura 227. Coeficiente de amplificación F_a	298
Figura 228. Coeficiente de amplificación F_v	298
Figura 229. Cuadro de clasificación de L.R, Holdridge, 1.987.	301
Figura 230. Registro de precipitación Estación de Caldas.	303
Fuente: IDEA Manizales.	303
Figura 231. Registro de precipitación 19/04/17. Estación Hospital de Caldas.	304
Fuente: IDEA Manizales.	304

Figura 232. Registro de precipitación Estación Quebrada Palogrande – Ruta 30.
..... 305

Figura 233. Registro de precipitación 19/04/17. Estación Quebrada Palogrande -
Ruta 30..... 306

Figura 234. Coeficientes de escorrentía para ser usado método racional. 309

Figura 235. Cuenca río Chinchiná. Fuente: Corpocaldas – IDEA. 2013. 311

Figura 236. Dirección de flujos. 313

Figura 237. Longitud de flujos. 314

Figura 238. Acumulación de flujos. 315

Figura 239. Curva IDF para Manizales..... 316

Figura 240. Mapa de Susceptibilidad 324

Figura 241. Esquema simplificado del método del talud infinito 327

Figura 242. Mapa de Inestabilidad (Factores de Seguridad)..... 329

Figura 243. Mapa de procesos denudativos y erosivos actuales. 330

Figura 244. Zonificación básica de amenaza 336

Figura 245. Sector con amenaza alta ubicado en el sector central del área.. 339

Figura 246. Sector con amenaza media..... 339

Figura 247. Sector con amenaza baja. 340

Figura 248. Mapa de amenaza de la zona de estudio 341

Figura 249. Zonas de exposición de los elementos ante movimientos en masa.
..... 348

Figura 250. Curvas de fragilidad de los elementos expuestos..... 377

Figura 251. Mapa de vulnerabilidad de la zona de estudio..... 390

Figura 252. Mapa de Riesgo..... 394

Figura 253. Mapa de Riesgo Mitigable y No Mitigable 399

Lista de Tablas

Tabla 1. Coordenadas Puntos Poligonal de Amarre.....	51
Tabla 2. Distribución Morfométrica en las zonas de estudio.....	77
Tabla 3. Distribución de la cobertura del suelo en el área.....	84
Tabla 4. Distribución del uso del suelo en el área.....	89
Tabla 5. Aptitud del uso del suelo.	100
Tabla 6. Conflicto de uso del suelo.	105
Tabla 7. Propiedades mecánicas. Depósitos de Relleno. Sitio 0.....	221
Tabla 8. Propiedades mecánicas. Depósitos de Caída Piroclástica. Sitio 0.	224
Tabla 9. Propiedades mecánicas. Depósitos de Suelo Residual. Sitio 0.	227
Tabla 10. Propiedades mecánicas. Depósitos de Relleno. Sitio 1.....	230
Tabla 11. Propiedades mecánicas. Depósitos de Suelo Residual. Sitio 1.	233
Tabla 12. Propiedades mecánicas. Depósitos de Suelo Residual. Sitio 2.	236
Tabla 13. Propiedades mecánicas. Depósitos de Relleno. Sitio 3.....	239
Tabla 14. Propiedades mecánicas. Depósitos de Suelo Residual. Sitio 3.	242
Tabla 15. Propiedades mecánicas. Depósitos de Caída Piroclástica. Sitio 4.	245
Tabla 16. Propiedades mecánicas. Depósitos de Suelo Residual. Sitio 4.	248
Tabla 17. Propiedades mecánicas. Depósitos de Suelo Residual. Sitio 5.	251
Tabla 18. Propiedades mecánicas. Depósitos de Suelo Residual. Sitio 6.	254
Tabla 19. Propiedades mecánicas. Depósitos de Suelo Residual. Sitio 7.	257
Tabla 20. Propiedades mecánicas. Depósitos de Relleno. Sitio 8.....	260
Tabla 21. Propiedades mecánicas. Depósitos de Caída Piroclástica. Sitio 8.	263
Tabla 22. Propiedades mecánicas. Depósitos de Suelo Residual. Sitio 8.	266
Tabla 23. Cuadro de velocidades de la línea sísmica levantada en campo....	288
Tabla 24. Valores de Aa y Av para las ciudades del departamento de Caldas NSR-10.....	296

Tabla 25. Clasificación perfil del suelo.....	297
Tabla 26. Coeficientes de amplificación Fa y Fv.....	299
Tabla 27. Zonas de vida	301
Tabla 28. Estaciones IDEA cercanas a la zona objeto de estudio.....	302
Tabla 29. Porcentajes asignados a la cobertura vegetal.....	319
Tabla 30. Porcentajes asignados a los usos del suelo actual	320
Tabla 31. Porcentaje peso unidades geológicas	321
Tabla 32. Porcentaje peso formaciones superficiales.....	321
Tabla 33. Porcentaje peso unidades geomorfológicas.....	321
Tabla 34. Porcentaje peso unidades geotécnicas	322
Tabla 35. Evaluación de susceptibilidad por pendiente del terreno	322
Tabla 36. Niveles de susceptibilidad en la zona de estudio	323
Tabla 37. Factor De Seguridad Dinámico	329
Tabla 38. Matriz de evaluación de la amenaza	337
Tabla 39. Evaluación de Amenaza	338
Tabla 40. Elementos expuestos.....	343
Tabla 41. Tipología de edificaciones	345
Tabla 42. Interpretación de las zonas de exposición	349
Tabla 43. Factor de fragilidad por tipo de estructura.....	354
Tabla 44. Factor de fragilidad por altura de edificación.....	354
Tabla 45. Factor de fragilidad por estado de conservación de la edificación .	355
Tabla 46. Factor de fragilidad por edad de la edificación.....	356
Tabla 47. Vida útil de las edificaciones.....	356
Tabla 48. Evaluación de fragilidad de viviendas.....	357
Tabla 49. Parámetro de intensidad por presión de impacto.....	365
Tabla 50. Presión de falla según tipología de la estructura	366
Tabla 51. Parámetro de intensidad por profundidad del deslizamiento	367

Tabla 52. Evaluación del escenario de vulnerabilidad	367
Tabla 53. Clasificación de la vulnerabilidad para edificaciones y líneas vitales	378
Tabla 54. Daños esperados según resultados de vulnerabilidad.....	379
Tabla 55. Clasificación de la vulnerabilidad para las personas	381
Tabla 56. Evaluación de vulnerabilidad	381
Tabla 57. Riesgo en bienes físicos	392
Tabla 58. Intervenciones según cada categoría	393
Tabla 59. Distribución del riesgo por deslizamiento en la zona de estudio	394
Tabla 60. Valor de edificaciones.....	397
Tabla 61. Distribución mitigabilidad del riesgo en la zona de estudio.....	399
Tabla 62. valores de Kst mínimos para análisis seudoestaticos de taludes (Tabla H.5.2-1 NSR-10).....	411
Tabla 63. Propiedades de los materiales Sitio 1	411
Tabla 64. Propiedades de los materiales sitio 0.....	411
Tabla 65. Propiedades de los materiales sitio 4.....	412
Tabla 66. Factores de seguridad básicos mínimos (Tabla H.2.4-1 NSR-10).	414
Tabla 67. Comentarios Del Análisis De Estabilidad	457

ESTUDIOS GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDRÁULICO Y MICROZONIFICACIÓN DEL RESGO POR DESLIZAMIENTO Y DISEÑOS DE LAS OBRAS DE ESTABILIDAD PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO EN EL BARRIO PERSIA. MUNICIPIO DE MANIZALES

1 INTRODUCCIÓN

Las políticas de gestión de riesgo adoptadas por la Alcaldía de Manizales y CORPOCALDAS durante los últimos años han generado una cultura institucional y ciudadana que ha permitido avanzar en la mitigación de riesgos producto de amenazas naturales recurrentes en la región Andina de Colombia y específicamente en la ciudad de Manizales como lo son los deslizamientos y las crecientes súbitas de las quebradas.

Es por eso que siguiendo la línea de la cultura de la prevención de estas dos instituciones, se ha decidido adelantar un estudio geológico, geotécnico, hidráulico y de riesgo de detalle por deslizamiento en la ladera derecha de la Quebrada las Camelias, donde a raíz de las fuertes lluvias presentadas el día 19 de abril de 2017 en la ciudad de Manizales, se generaron movimientos en masa que desestabilizaron las laderas circundantes a este sector y como consecuencia de esto, se produjo un traumatismo en la comunidad de la zona, que aún persiste ya que algunos de los taludes muestran evidentes signos de inestabilidad que amenazan con afectar un número significativo de estructuras allí localizadas.

El presente informe contiene los estudios requeridos para la identificación y zonificación del riesgo por deslizamiento en las laderas existentes en el barrio Persia del municipio de Manizales, en las categorías de bajo, medio, alto, o alto no mitigable. Adicionalmente, se incluye la propuesta de obras realizada para cada sector crítico involucrado en el estudio. Esto, con el fin de reducir o evitar los posibles daños ante la eventual ocurrencia de procesos de remoción en masa.

A fin de conocer dicho riesgo, la Corporación Autónoma Regional de Caldas (CORPOCALDAS), expide el contrato de consultoría No. 206-2017, con objeto: *“Estudios geológico, geotécnico e hidráulico y de microzonificación del riesgo por deslizamiento y diseños de las obras de estabilidad para la reducción del riesgo en la ladera derecha de la quebrada Las Camelias y el barrio Persia. Municipio de Manizales”* con la empresa QUASAR INGENIEROS CONSULTORES SAS, con el fin de identificar las características geológicas, geotécnicas e hidráulicas de la zona de estudio, y con esto determinar la estabilidad general y local del terreno para presentar las pautas y lineamientos acerca del futuro de las comunidades asentadas en las laderas involucradas. De la misma manera, emitir los conceptos técnicos y recomendaciones para las obras propuestas, en caso de que el riesgo por procesos de remoción en masa sea mitigable.

2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

2.1 OBJETIVO GENERAL:

Realizar los estudios geológico, geotécnico e hidráulico y realizar la microzonificación del riesgo por deslizamiento y los diseños de las obras de estabilidad para la reducción del riesgo en el barrio Persia. Municipio de Manizales.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Realizar el levantamiento topográfico detallado con estación total para obtener la topografía de la zona de estudio con curvas de nivel cada metro que incluya la localización de las obras existentes, infraestructura urbana (viviendas, vías, redes de alcantarillado), cauces con miras a obtener el modelo digital del terreno (curvas de nivel, obtener información para la modelación geotécnica (análisis de estabilidad), identificación de líneas de drenaje, ubicación de todos los sondeos efectuados en la etapa de prospección geotécnica.

- 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 deberá realizar los ensayos de campo y de laboratorio, a fin de obtener los parámetros físicos y propiedades de los suelos, y parámetros de resistencia la cortante, necesarios para la modelación geotécnica y diseños de las obras de estabilidad en el sitio antes reseñado.
- Realizar el análisis geológico, geomorfológico y morfométrico de la zona de estudio con el propósito de determinar la evolución de los procesos de remoción en masa y consecuentemente, de las zonas de riesgo.
- Llevar a cabo ensayos geofísicos en las zonas en donde se requiera, con el objetivo de complementar la información geotécnica del área de estudio, evaluando los siguientes aspectos:
 - Determinar velocidades de compresión y corte de los diferentes estratos y presentar un modelo del subsuelo, que muestre las diferentes capas, contacto y espesor.
 - Elaborar secciones del subsuelo con miras a determinar la columna estratigráfica de la zona de estudio, a partir de la correlación de las velocidades de los materiales encontrados.
 - Determinar la posible profundidad del estrato rocoso.
 - Calcular los módulos elásticos del subsuelo.

- Realizar la caracterización física y mecánica de las unidades representativas en la zona objeto de consultoría, con miras a modelar geotécnicamente la zona.
- Modelar con la ayuda de software especializado en el análisis de estabilidad de taludes, y la información geológica, geotécnica obtenida en los puntos anteriores, las zonas en donde se presenta la afectación. Así mismo, determinar la estabilidad general y local del terreno, en condiciones normales y en condiciones críticas de lluvia y sismo (acorde a los escenarios definidos en la Resolución 235 de 2015 – Corpocaldas), a fin de identificar el mecanismo de falla del evento registrado en la zona. También se deberá modelar la zona en donde se presenta la problemática, con y sin presencia de las obras de estabilidad proyectadas.
- Elaborar la microzonificación geotécnica y de riesgo por procesos de remoción en masa en la zona objeto del contrato, determinando si este es o no mitigable, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 2.2.2.1.3.2.2.5 – Evaluación del riesgo del Decreto Ley 1077 de 2015. De acuerdo con esta zonificación:
 - Identificar las áreas críticas de recuperación y control para la prevención de desastres
 - Diseñar, cuantificar y valorar las obras geotécnicas de estabilidad, necesarias y suficientes, en la zona de estudio.

- Establecer las recomendaciones generales de construcción y los cronogramas de ejecución aproximados para la ejecución de las respectivas obras, teniendo en cuenta la evaluación y zonificación del riesgo.
- Realizar el estudio hidrológico de todas las cuencas que hacen parte de la zona de estudio.
- Realizar el análisis hidráulico para las diferentes zonas de posible movimiento y establecer condiciones de desprendimiento de estas zonas y generar un modelo hidráulico que represente las dinámicas y afectación de los volúmenes de suelo desplazado.
- Con base en la información meteorológica existente, calcular los caudales máximos de diseño para el Tr (Periodo de retorno) definido por la corporación, y diseñar las obras de manejo de aguas lluvias de la zona de estudio y del área de influencia, realizando el chequeo de las conducciones abiertas y conductos cerrados existentes con miras a chequear su capacidad hidráulica actual y determinar la necesidad de rediseño con base en información actualizada. Adicionalmente, diseñar los canales de máxima pendiente con sus respectivos disipadores de energía, estructuras de entrega y conducciones cerradas para el tránsito de las escorrentías superficiales desde la parte superior de la zona hasta el punto de entrega en el drenaje más próximo.
- Socializar los resultados de los estudios y diseños con la comunidad habitante en la zona de influencia de los mismos.

2.3 LOCALIZACIÓN

La zona de estudio se encuentra ubicada en el departamento de Caldas, al sur del área urbana del municipio de Manizales, limitando al sur con la vía a Camilo Torres, al norte con el barrio Colombia, al oeste con el barrio Bajo Prado y al oriente con el barrio Eucaliptos.

El polígono delimitado por las siguientes coordenadas:

X = 1174315,45 m.E Y = 1051028,02 m.N

X = 1051543,96 m.E Y = 1174804,93 m.N

A continuación se presenta la localización de la zona de estudios dentro de los mapas que comprenden el departamento de Caldas y el municipio de Manizales:

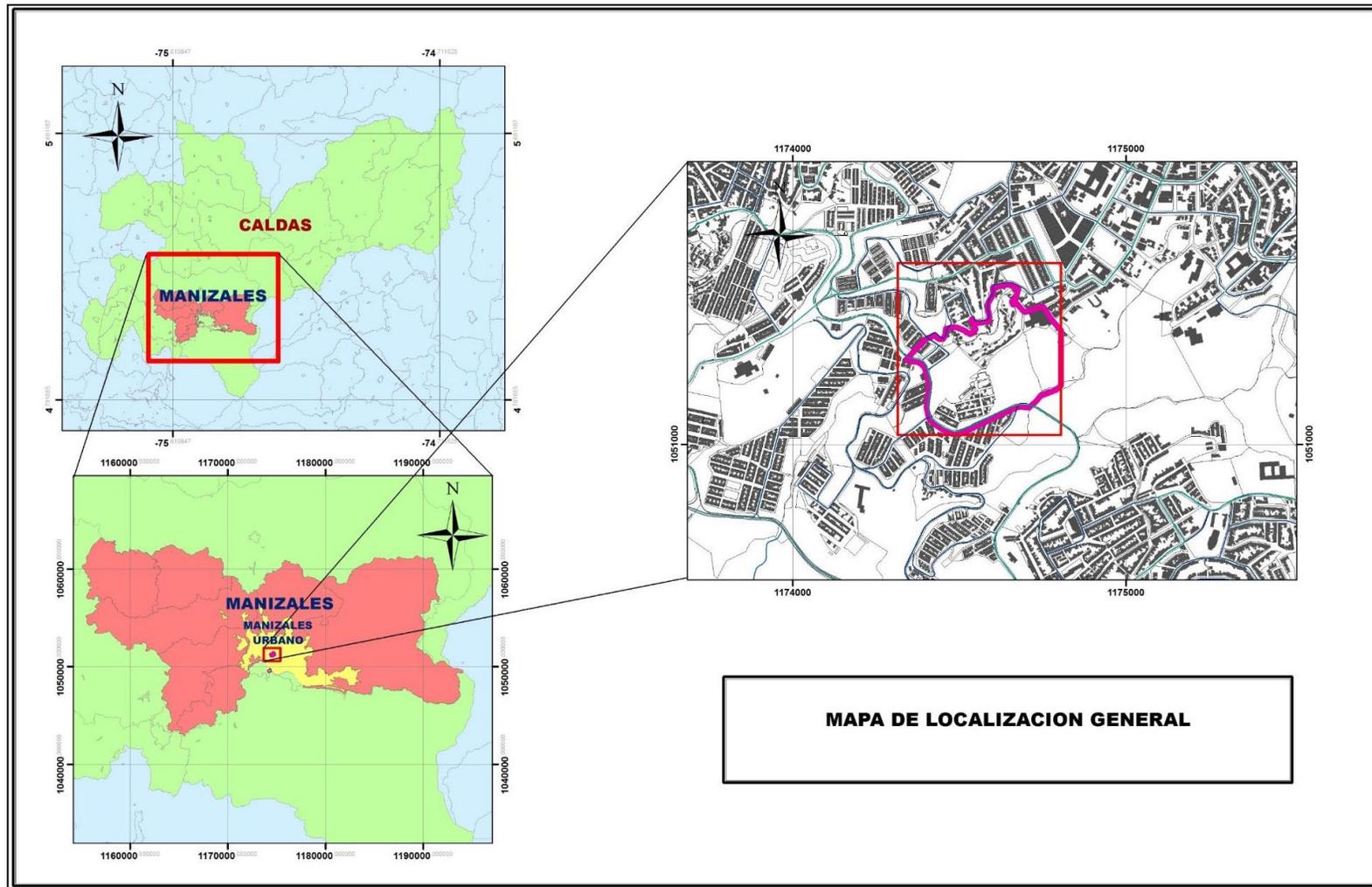


Figura 1. Localización de la zona de estudio.



Figura 2. Vista aérea panorámica de la zona de estudio.

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 el POT de Manizales y a la base cartográfica empleada para el proceso, e información complementaria suministrada por la entidad contratante. Adicionalmente se realizara 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.

4 SECTORIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Debido a la amplia extensión de la zona, se requirió la realización de una sectorización de la misma, con el fin de identificar los puntos más críticos o afectados por los eventos de la fecha enfoque de este proyecto (19 de Abril de 2017). Dicha sectorización se realizó teniendo en cuenta la importancia o el nivel de afectación de cada punto; es decir, se le dio prioridad a los puntos sobre los cuales se detectarían tanto procesos de remoción en masa, como potenciales riesgos para las personas que se encuentran asentadas a lo largo del área de estudio.

Esta distribución de puntos permitió identificar 8 sectores importantes en el barrio Persia, no sólo en la parte alta, sino también en la parte baja de la ladera. Sobre dichos sectores, se realizaron una serie de ensayos de campo y se extrajo información importante para el desarrollo de análisis de diferente tipo.

A continuación se presenta una vista esquemática de los puntos más críticos localizados dentro del área de estudio objeto del proyecto además de una descripción del estado inicial de tales sectores; es decir, la afectación presente en las fechas posteriores a los eventos del pasado 19 de Abril de 2017:

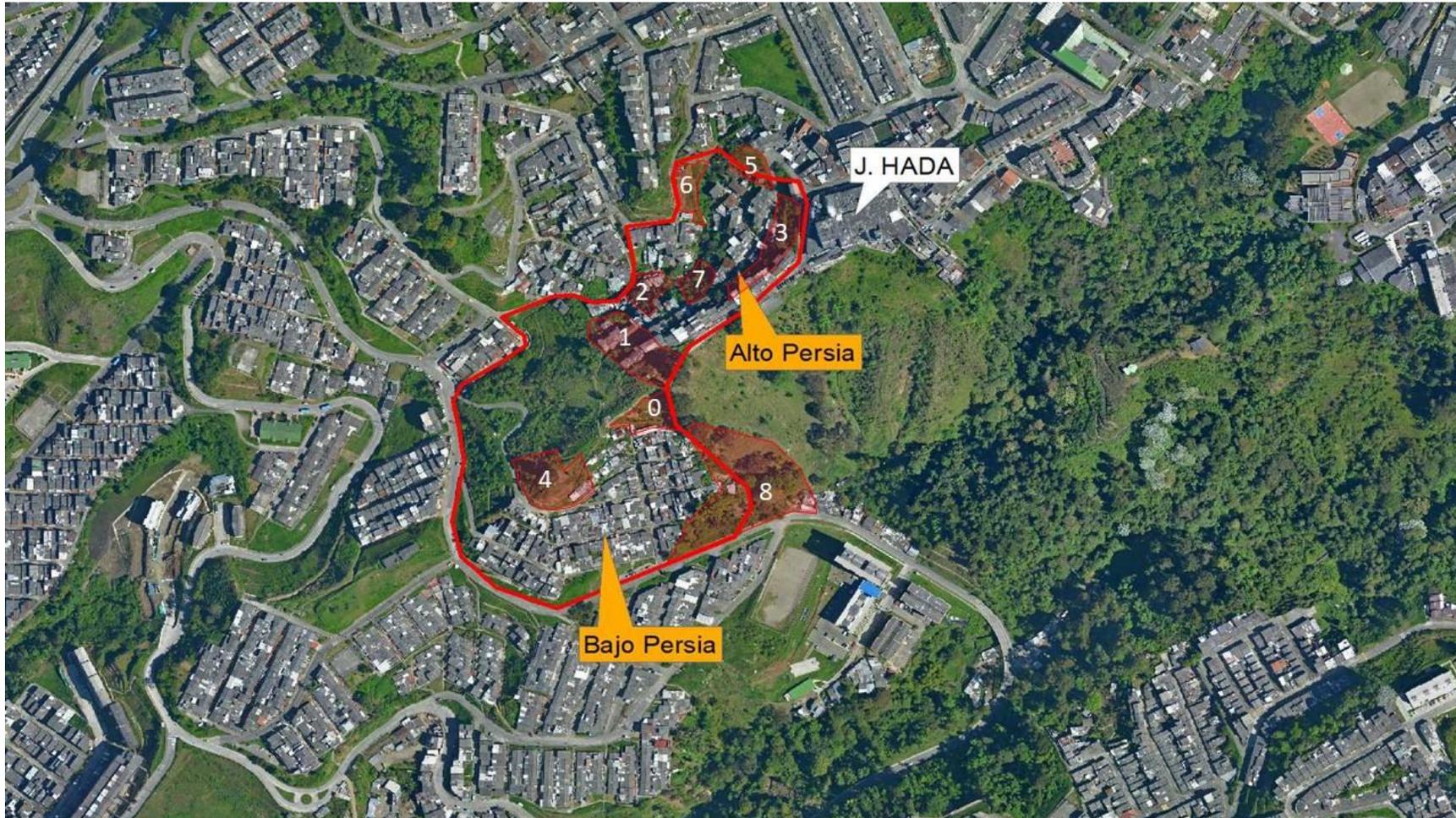


Figura 3. Sectorización del área de estudio: Puntos críticos.

4.1 SECTOR 0

Este punto hace parte la ladera sobre la cual se encuentra un asentamiento masivo de viviendas familiares; este sector se conoce como Bajo Persia. Debido a que la parte superior de la ladera se encuentra sin ningún tipo de obras de contención ni de manejo de aguas, además de la gran exposición que tienen las viviendas ladera abajo del punto sin intervención, la cual presenta pendientes fuertes y espesores significativos de material de relleno, se hizo necesaria la realización de una caracterización de la ladera, con el fin de extraer información de los componentes del suelo para el desarrollo de un posterior diseño de las obras necesarias para dar respuesta a la urgencia manifiesta de los eventos del pasado 19 de Abril de 2017.

Figura 4. **Vista aérea Sector 0. Barrio Persia.**



4.2 SECTOR 1

Debido a los eventos del pasado 19 de Abril de 2017, este sector fue uno de los más afectados por los episodios de lluvia registrados. En este punto se presentó un proceso de remoción en masa a gran escala, el cual afectó a aproximadamente 9 viviendas en su totalidad, y a aproximadamente 5 viviendas de manera parcial; es decir, afectación por destrucción total y parcial de las viviendas. Algunas de las viviendas que fueron afectadas parcialmente por dicho movimiento en masa, fueron demolidas con el fin de adelantar obras de respuesta a la urgencia manifiesta dada en este punto.

Figura 5. **Vista aérea Sector 1. Barrio Persia.**



4.3 SECTOR 2

Contiguo al punto sobre el cual se presentaron procesos de remoción en masa de gran escala, en el sector Alto Persia, se tiene el sector 2. Este sector se encuentra localizado en la base de una de las laderas del sector. En este punto, varias viviendas se vieron afectadas parcialmente, presentando derivas en su plano vertical y movimientos en masa locales en la parte posterior de las viviendas.



Figura 6. **Vista aérea Sector 2. Barrio Persia.**

4.4 SECTOR 3

Este punto comprende la ladera ubicada entre las calles 49 y 50 del sector Alto Persia. Esta ladera presenta pendientes importantes y asentamientos de viviendas de diversos sistemas estructurales, tanto en la corona como en la pata de la ladera. En este sector se presentaron algunos fenómenos de remoción en masa que afectaron viviendas ubicadas sobre la base del talud y estructuras como un jardín infantil existente en la zona. Por medio de la respuesta a la situación de Urgencia Manifiesta decretada a partir de la fecha de los eventos detonantes, se intervino una parte de la ladera, con el fin de atender las necesidades de las estructuras de servicio al público.

Figura 7. **Vista aérea Sector 3. Barrio Persia.**



4.5 SECTOR 4

El punto 4 consiste en un talud de fuerte pendiente localizado en el sector Bajo Persia. Sobre las dimensiones de esta ladera se presentaron algunos movimientos en masa locales que no afectaron en gran medida a la comunidad; no obstante, las características morfométricas del talud, en combinación con el tipo de material presente y sus espesores correspondientes, hacen imperativa la caracterización y atención de este punto dentro del desarrollo de los estudios.; esto, debido a que en un eventual siniestro que comprenda un mayor volumen del talud, puede afectar un significativo número de viviendas y familias.



Figura 8. Vista aérea Sector 4. Barrio Persia.

4.6 SECTOR 5

En este sector se cuenta con un talud de altura aproximada entre 4.0 m y 5.0 m. Sobre la pata del talud se encuentra una vía peatonal, la cual sufrió algunas deformaciones significativas sobre su eje; además de esto, sobre la ladera se generaron fenómenos de remoción en masa locales cuyo material de depósito, no solo obstruyó el paso por esta vía peatonal, sino que también se convirtió en una amenaza potencial para algunas de las viviendas ubicadas hacia la base de la ladera.



Figura 9. Vista aérea Sector 5. Barrio Persia.

4.7 SECTOR 6

Sobre este sector se encuentra el límite entre el barrio Persia y el barrio Gonzalez. A lo largo de la ladera comprendida en este punto, no se cuenta con un fenómeno de remoción en masa detonado por los eventos del 19 de Abril de 2017. No obstante, como se muestra en la siguiente figura, sobre la parte izquierda de la ladera se encuentra la trayectoria del depósito de un movimiento en masa detonado sobre una ladera adyacente a la analizada; además de esto, las características morfométricas de este punto, permiten ver que los asentamientos existentes, se encuentran sobre una ladera de fuerte pendiente, la cual cuenta con un sistema de recolección de aguas superficiales, el cual fue obstruido en el pasado por procesos de remoción en masa sucedidos antes de la fecha enfoque de este proyecto.

Figura 10. **Vista aérea Sector 6. Barrio Persia.**



4.8 SECTOR 7

Este sector involucra una ladera sobre la cual se presentaron algunos procesos erosivos locales y procesos de remoción en masa pequeños, cuya corona se encontró significativamente próxima al paramento de la vía peatonal de la calle 49. En este punto, se cuenta con una estructura de contención a media ladera, rodeada por materiales de relleno erosionados los cuales obstruyeron la sección de una zanja colectora de pata que dispone las aguas de escorrentía provenientes de la cuenca de este barrio.

Figura 11. **Vista aérea Sector 7. Barrio Persia.**



4.9 SECTOR 8

En la parte inferior del sector Bajo Persia se encuentra una ladera de fuerte pendiente sobre la cual sobresale un bosque de guaduas de inclinación pronunciada. Adicionalmente, sobre esta ladera se presentaron diferentes procesos erosivos locales cuyo punto de depósito del material fue la calle 50°, conocida en el sector como la “Ruta30”. Algunas de las viviendas en este punto fueron evacuadas debido al nivel de amenaza allí existente y al sistema estructural de las viviendas, las cuales no cumplen con los requisitos mínimos establecidos por la Norma sismo-resistente actual.



Figura 12. **Vista aérea Sector 8. Barrio Persia.**

5 TOPOGRAFÍA

5.1 OBJETIVO Y ALCANCE

Realizar un Levantamiento Topográfico detallado de la zona que abarca el proyecto ESTUDIOS GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDRÁULICO Y MICROZONIFICACIÓN DEL RIESGO POR DESLIZAMIENTO Y DISEÑOS DE LAS OBRAS DE ESTABILIDAD PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO EN EL BARRIO PERSIA. MUNICIPIO DE MANIZALES, incluyendo los cauces, predios y localización de otros elementos de interés, debiendo igualmente amarrar este levantamiento a la red de control geodésico del Municipio de Neira, Caldas a través del sistema de coordenadas del IGAC con el fin de tener un proyecto ajustado en niveles y planimetría.

5.2 LOCALIZACIÓN DE COORDENADAS AL SISTEMA IGAC

En Caldas, en algunas cabeceras municipales están instalados mojones que tienen coordenadas y cotas amarradas al sistema IGAC y cuya información es suministrada por su Geoportal en internet.

5.2.1 AMARRE HORIZONTAL Y VERTICAL

Para poder dar inicio a los trabajos de topografía requeridos para el proyecto, fue necesario realizar un amarre geodésico para unir altiplanimétricamente en la zona a intervenir con la red de control geodésico a nivel Nacional.

Los Deltas usados para los levantamientos topográficos son situados estratégicamente en partes donde sean fáciles de identificar y además que perduren hasta el inicio de la construcción y así poder trabajar los replanteos topográficos como ejes de vías, canales y en general las obras a ejecutar en el sector.

Los puntos que involucran las poligonales de amarre son los siguientes:

Tabla 1. Coordenadas Puntos Poligonal de Amarre

CARTERA LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO
BARRIO: ALTO Y BAJO PERSIA
QUASAR INGENIEROS CONSULTORES
LEVANTÓ: JOSE DAVID PASTRANA SALAZAR L.P. 01-11110 CPNT

PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCIÓN
1	1051360,49	1174694,52	2094,82	D1
42	1051422,36	1174694,30	2094,20	D2
53	1051329,03	1174667,81	2090,86	D3
142	1051257,37	1174590,37	2089,87	D4
234	1051442,73	1174652,98	2087,57	D5
627	1051413,28	1174586,71	2077,00	D-6
1070	1051370,58	1174438,56	2066,99	D7
1314	1051424,35	1174683,04	2092,96	D2A
1449	1051385,23	1174587,59	2071,07	D13
1450	1051413,28	1174586,71	2077,00	D6
1504	1051376,46	1174619,46	2056,37	D12
1505	1051412,87	1174586,33	2077,00	d6
1599	1051345,46	1174560,29	2052,29	D14
1614	1051378,75	1174655,46	2073,68	D9
1615	1051413,28	1174586,71	2077,00	D6
1616	1051416,92	1174667,66	2081,85	D15
1631	1051257,37	1174590,37	2089,87	D4
1632	1051329,05	1174667,82	2090,93	d3
1633	1051246,79	1174575,21	2089,56	d16

PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCIÓN
1634	1051246,79	1174575,21	2089,56	D16
1635	1051257,37	1174590,37	2089,99	d4
1661	1051162,33	1174509,11	2072,15	d17
1662	1051162,33	1174509,11	2072,15	D17
1663	1051246,78	1174575,21	2089,58	D16
1799	1051345,45	1174560,30	2052,24	D14
1800	1051324,23	1174601,40	2066,26	D10
1869	1051324,95	1174564,99	2050,51	D18
1941	1051345,46	1174560,29	2052,21	D14
1942	1051311,36	1174516,11	2041,76	D19
1970	1051324,95	1174564,99	2050,53	D18
1997	1051306,44	1174456,26	2040,69	D20
2044	1051329,12	1174667,79	2090,88	D-3
2046	1051360,40	1174694,71	2094,82	D1
2047	1051247,40	1174572,03	2088,50	D-50
2048	1051151,63	1174510,92	2071,34	D-51
2049	1051161,50	1174504,21	2071,93	D-52
2100	1051083,30	1174603,39	2019,43	D-53
2101	1051131,59	1174486,59	2053,40	D-53,B
2102	1051135,45	1174482,66	2053,07	D-53,B
2181	1051123,50	1174590,81	2030,61	D-54
2182	1051110,87	1174596,92	2025,64	D-54,B
2224	1051099,55	1174517,52	2042,89	D-55
2225	1051099,78	1174518,04	2042,86	D-55,B
2249	1051077,24	1174511,22	2036,44	D-7,D-56
2250	1051081,73	1174509,73	2036,78	D-7,PARAMENTO
2251	1051084,50	1174511,14	2038,56	D-7,PARAMENTO
2259	1051111,90	1174440,99	2034,35	D-57
2260	1051078,02	1174508,02	2036,65	D-57,B
2261	1051082,87	1174497,01	2036,16	D-57,B
3001	1051416,92	1174667,66	2081,87	D15
3002	1051378,75	1174655,46	2073,68	D9
3079	1051378,75	1174655,46	2073,68	D9
3080	1051417,72	1174667,91	2081,97	D15
3115	1051339,35	1174636,99	2072,47	D1A
3116	1051378,75	1174655,46	2073,68	D9
3152	1051304,49	1174592,12	2070,94	D2A
3153	1051304,49	1174592,12	2070,94	D2A

PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCIÓN
3154	1051339,35	1174636,99	2072,69	D1A
3245	1051257,37	1174590,37	2089,87	D4
3246	1051329,07	1174667,83	2090,83	D3
3281	1051257,37	1174590,37	2089,87	D4
3282	1051329,05	1174667,84	2090,65	D3
3322	1051311,59	1174516,15	2041,76	D19
4002	1051324,23	1174601,41	2066,26	D10
4003	1051413,29	1174586,70	2077,01	D
5571	1051083,30	1174603,39	2019,43	D-53
5572	1051123,50	1174590,81	2030,59	D-54
5593	1051041,06	1174506,16	2021,33	D-AUX
5631	1051091,97	1174422,13	2032,91	D-AUX-1-
6001	1051413,28	1174586,71	2077,00	D6
6002	1051257,46	1174593,09	2089,87	D4
6008	1051293,65	1174578,30	2071,18	D8
6064	1051379,88	1174654,28	2073,79	D9
6123	1051324,41	1174601,19	2065,73	D10
6130	1051453,45	1174604,16	2075,13	D11
6131	1051377,35	1174618,73	2056,55	D12
6132	1051385,18	1174586,62	2071,05	D13
7000	1051257,37	1174590,37	2089,87	D-4
7001	1051329,04	1174667,82	2090,83	D-3
7002	1051236,71	1174597,69	2091,35	D-40
7003	1051236,70	1174597,71	2091,36	D-40
7004	1051239,03	1174586,81	2091,00	D-41
8066	1051162,31	1174509,11	2072,47	D17
8067	1051246,76	1174575,20	2090,11	d16
8070	1051162,31	1174509,11	2072,96	d17
8595	1051162,33	1174509,12	2072,14	D17
8596	1051246,78	1174575,21	2089,56	D16
8602	1051162,33	1174509,12	2072,14	D17
8643	1051151,63	1174510,92	2071,34	D51
8644	1051084,06	1174603,92	2019,43	D-53
8645	1051150,86	1174521,78	2064,99	D-AUX
8646	1051170,32	1174534,03	2065,82	D-AUX-1
8715	1051360,49	1174694,52	2094,83	D-1
8716	1051329,08	1174667,76	2090,88	D-3
8717	1051389,32	1174687,87	2095,04	D-AUX

PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCIÓN
8718	1051435,02	1174658,23	2086,33	D-AUX-2
10000	1051236,77	1174597,68	2091,49	D-30
10071	1051207,70	1174664,71	2056,54	D-31
10115	1051197,30	1174657,97	2054,47	D-32
10116	1051257,46	1174590,33	2090,00	D-4
10117	1051329,12	1174667,79	2090,96	D-3
10176	1051465,28	1174499,17	2073,62	D-33
10228	1051399,34	1174447,86	2070,13	D-34
10242	1051384,51	1174535,39	2063,60	D-35
10351	1051257,37	1174590,37	2089,87	D4

5.3 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE LA ZONA

Para dar inicio al Levantamiento Topográfico del Proyecto se contó con 1 comisión de Topografía, conformada por:

- Un Topógrafo
- Un cadenero Primero
- Un cadenero Segundo
- Estación Total

Se realizó el levantamiento con exactitud de vías, muros, canales, cámaras, alcantarillado, edificaciones, guadales, grietas, fenómenos de inestabilidad y elementos que marcaban discontinuidades en el terreno. A continuación se presentan algunas imágenes del levantamiento.





Figura 13. Registro Fotográfico Levantamiento Topográfico.

6 GEOLOGÍA REGIONAL

6.1 GEOLOGÍA REGIONAL

Manizales cuenta con una gran variedad de unidades geológicas de diferentes edades y orígenes. Las características geológicas de la zona son complicadas debido a varios factores, entre los que predomina la cobertura volcánica que cubre las demás unidades, la abundante vegetación en algunos lugares y el fuerte tectonismo que ha afectado las diferentes formaciones geológicas. Los contactos entre las unidades aflorantes a nivel regional son de origen fallado, siguiendo una tendencia Norte- Sur asociados al sistema de fallas Romeral, exceptuando los depósitos aluviales y los flujos volcánicos. Las diferentes unidades geológicas encontradas en la zona de estudio son:

6.1.1 COMPLEJO QUEBRADAGRANDE

Hace parte de lo que Botero (1.963) denominó Formación Quebradagrande. Definida como un conjunto de metasedimentos compuesto de esquistos silíceos negros, filitas grafitosas, liditas y algunas cuarcitas de grano fino con color negro, de un ambiente batial a nerítico, intercalado con derrames lávicos submarinos. Mosquera (1.978) lo denominó Complejo Metasedimentario Aranzazu-Manizales. INGEOMINAS (1.989) en Estrada y Viena. (1.992) sugieren denominarlo Complejo Quebradagrande dado que hasta el presente no se ha definido el tope y la base de la secuencia. Comprende un miembro volcánico y un miembro metasedimentario.

En el área de estudio afloran: Lutitas negras, limolitas, areniscas feldespáticas y chert negro, ubicadas en la zona central del municipio (excepto en la parte urbana), al Norte en las veredas Hoyo Frío, Buena Vista, Guacaica Espartillal, Alto del Guamo, Santa Rita, Pueblo Hondo Guacaica, Alto Bonito, Cuchilla del Salado y El Guineo, al Sur aflora en las veredas El Tablazo, Java, La Siria, Agua Bonita, La Pola, El Aventino, La Argelia, Morrogacho y La Quebra del Billar entre otros y hacia el Oeste en un sector de la quebrada El Purgario.

6.1.2 DEPÓSITOS DE CAÍDA PIROCLÁSTICA

Los fenómenos volcánicos originados por el complejo Ruiz- Tolima delimitaron sobre la topografía una cobertura de ceniza que varía su espesor desde centímetros hasta decenas de metros. Se localiza en casi todo el bloque central de la ciudad de Manizales, cumpliendo siempre la condición de tener una topografía paralela a subparalela con la pre-existente. Sus espesores varían hacia las partes bajas debido a procesos denudativos como erosión, acción antrópica, etc.

Se distribuyen en el área de manera aleatoria cubriendo las diferentes rocas y moldeando la paleotopografía. Están compuestas por materiales granulares que varían desde tamaño lapilli hasta cenizas finas provenientes de la caída de lluvia piroclástica generada por las erupciones volcánicas del complejo volcánico Ruiz- Tolima.

La secuencia piroclástica cubre discordantemente las rocas aflorantes, generando un suelo con capas subhorizontales, siguiendo la topografía en el momento de la depositación, lo cual no es aplicable a pendientes muy fuertes, mayores a 30 grados. Las capas de estos materiales están conformadas por lapilli, tobas de lapilli, cenizas y tobas de ceniza.

6.1.3 FORMACIÓN CASABIANCA (TSCB)

Conformada por sedimentos volcanogénicos de grano grueso con alto grado de meteorización: reposa discordantemente sobre las Formaciones Manizales y Quebradagrande, y es a su vez suprayacida por depósitos de lluvia piroclástica. (Aguirre et.al., 1.993). Se localiza en el centro de la ciudad en algunos barrios de las comunas 2, 4,8 y 10.

6.1.4 FORMACIÓN MANIZALES (TSMZ)

Consiste de depósitos fluviovolcánicos de alta compactación, constituidos por conglomerados clastosoportados embebidos en una matriz arenosa grisácea con algunas coloraciones rojizas por oxidación; los clastos van de subangulares a subredondeados y son principalmente de chert, diabasa y fragmentos conglomeráticos (Naranjo y Ríos 1.989). En Manizales se ubica al Oeste sobre las comunas 1, 3 y 11, principalmente.

6.1.5 DOMO SANCANCIO (QDSC)

Ubicado en las cercanías de los barrios La Playita y Aranjuez, los cuales están asentados hacia su base Sur. La composición consiste de un basalto porfirítico hipersténico; se presenta como rocas macizas muy diaclasadas y en algunos sectores, con disposición columnar (Naranjo y Ríos, 1989).

6.1.6 DEPÓSITOS DE FLUJOS DE ESCOMBROS (QFE)

Se ubican principalmente en la zona aledaña al Río Chinchiná, desde el barrio La Enea hasta el borde Suroccidental del perímetro urbano del Municipio de Villamaría, y un segundo depósito localizado al Occidente de la ciudad, en la vía a Chinchiná sobre el cerro Villa Kempis. Están asociados a un origen fluviovolcánico en una secuencia típica de base a techo: flujo de lodo matriz soportado, flujo de escombros y hacia el tope, depósitos de flujos piroclásticos intercalados con depósitos de caída piroclástica; evidenciando un emplazamiento dinámico proveniente del Macizo Volcánico Ruiz-Cerro Bravo. (Aguirre et.al., 1.993).

6.1.7 DEPÓSITOS ALUVIALES (QAL)

En el área estos depósitos se encuentran asociados a la red principal de drenaje que recorre la ciudad, Río Chinchiná y quebradas Olivares y Solferino básicamente. Estos depósitos semiconsolidados a inconsolidados, están conformados por material piroclástico retrabajado y por fragmentos de roca de diverso origen y tamaño, provenientes desde las distintas unidades de roca que afloran en el área de influencia del drenaje.

6.2 ESTRATIGRAFÍA EN LA ZONA

6.2.1 FORMACIÓN CASABIANCA (TSCB)

Conformada por sedimentos volcanogénicos de grano grueso con alto grado de meteorización: reposa discordantemente sobre las Formaciones Manizales y Quebradagrande, y es a su vez suprayacida por depósitos de lluvia piroclástica. (Aguirre et.al., 1.993). Se localiza en el centro de la ciudad en algunos barrios de las comunas 2, 4,8 y 10.



Figura 14. **Formación Casabianca.**



Figura 15. Mapa geológico del Área de estudio.

6.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

6.3.1 MARCO TECTÓNICO REGIONAL

La región de Manizales se caracteriza por la presencia de los sistemas de fallas Romeral con tendencia Norte – Sur y Palestina con tendencia Noreste; además de fallas y lineamientos locales que seccionan el sistema montañoso, donde se construyó la ciudad.

Estas estructuras se evidencian por rasgos geomorfológicos como: drenajes rectos, silletas, escarpes y cambios de pendiente. Las evidencias físicas de falla son escasas, debido a los materiales terciarios y cuaternarios que enmascaran las estructuras y rasgos estructurales; Sánchez, 1998 plantea que por la alta plasticidad de la Formación Casabianca y por la alta erodabilidad de la secuencia piroclástica, son muy pocas las evidencias de falla en campo.

La unidad estructural más destacable en cercanías al área es la siguiente:

- Falla El Cementerio. Posee una dirección SW-NE y cruza el centro de la ciudad. La evidencia geomorfológica se encuentra hacia el Sur a través del cauce de la quebrada Unica y Solferino en el sector Norte, controlando sus cauces. (Aguirre et.al., 1.993).

6.3.2 MARCO TECTÓNICO LOCAL

El sector se encuentra influenciado tectónicamente por un lineamiento sobre una ladera localizada en el límite del barrio Persia y el Barrio Gonzalez.

Figura 16. **Fallas y lineamientos en el sector.**



Para la definición de la geología estructural de la zona de estudio, se dibujaron sobre una fotografía de la ciudad de Manizales a escala original 1:30.000 las principales fallas y lineamientos que la cruzan para establecer su relación con la zona. En este sentido, la zona de estudio se localiza entre las fallas Cementerio al norte y Sancancio al sur y próxima a un lineamiento de dirección N10E, que cruza por el extremo occidental de la zona, siendo ésta la estructura más próxima al área de interés. La falla denominada Cementerio, con dirección N45°E, cruza a una distancia aproximada de 300 metros del área, controlando los cauces de varios drenajes, incluso el del río Chinchiná al suroeste del área de estudio; la falla Sancancio, se localiza a unos 600 metros en línea recta del área de interés y con dirección N45°E, controla el cauce de la quebrada las Camelias.

En síntesis se considera que aunque ninguna falla cruza de manera directa por el sitio de interés, si existe una influencia estructural dada la cercanía de varias líneas de falla a distancias relativamente cortas. En la zona no se identifican estructuras geológicas que permitan inferir algún grado de fallamiento y tampoco se observan evidencias neotectónicas, tampoco diaclasas y fracturamiento de las rocas, esto tal vez, debido a la existencia de espesos depósitos de caída piroclástica que enmascaran las estructuras.

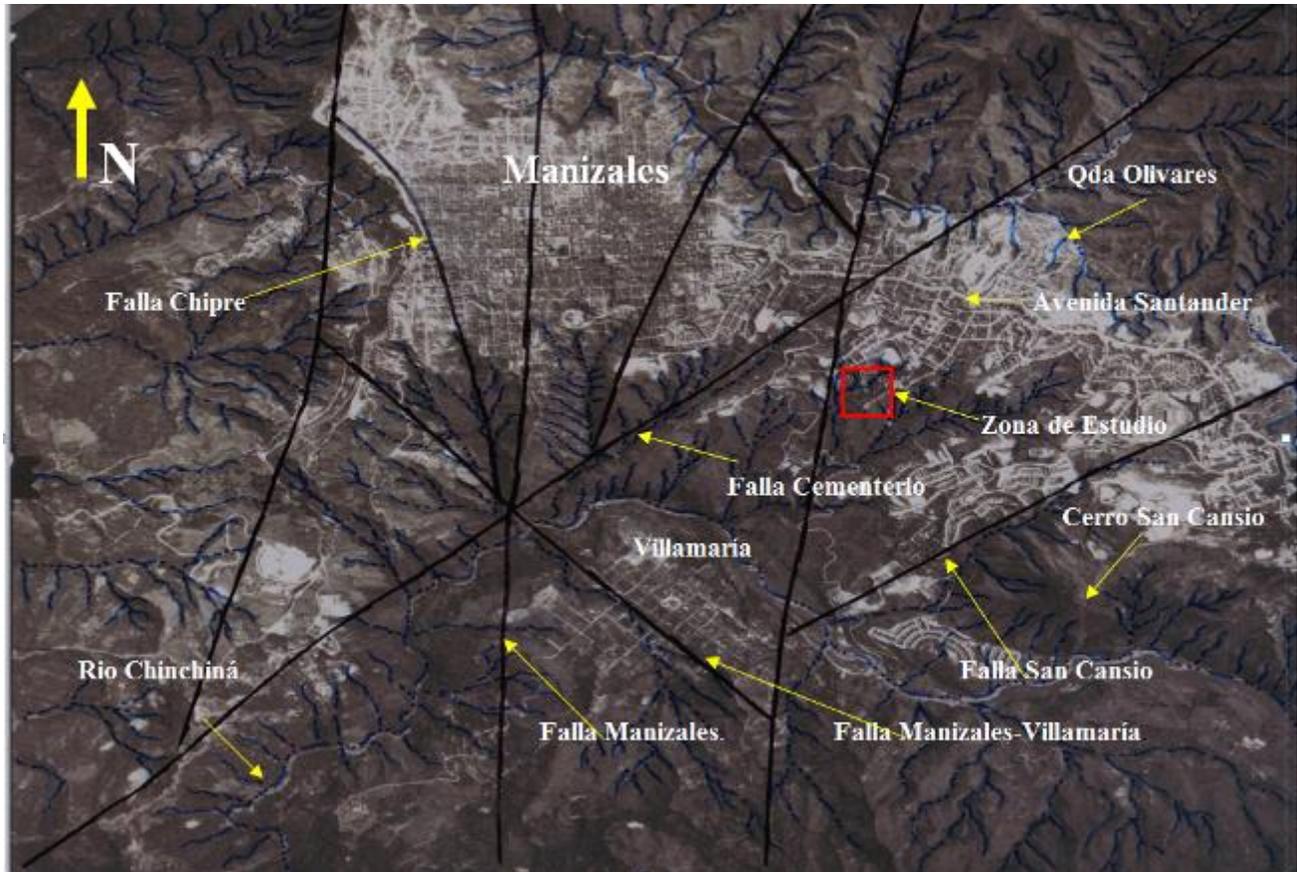


Figura 17. **Ubicación de la zona de estudio (cuadrado rojo) con respecto a las principales estructuras geológicas que cruzan a Manizales.**

6.4 GEOMORFOLOGÍA

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 casi en su totalidad a ambientes erosionales y a la actividad tectónica relacionada con las estructuras geológicas que se encuentran actuando en el área (estructurales). Se caracterizan principalmente por las pendientes fuertes de los suelos que las conforman. Las clasificaciones empleadas se basan en A, Zinck, 1.995.

6.4.1 SUPERFICIES ANTRÓPICAS

Corresponden a superficies planas originadas por el hombre como parte de la expansión urbana, localizada en las partes altas de la topografía, concurrentes con las zonas donde se han concentrados los asentamientos principales del área.



Figura 18. **Unidades antrópicas al oriente del área.**

6.4.2 UNIDADES ALUVIALES

Corresponde a una unidad conformada por el modelamiento producto de la acción fluvial del río Chinchiná.



Figura 19. **Unidades aluviales al centro del área.**

6.4.3 VERTIENTE EROSIONABLE

Las presencias de fuertes pendientes en el área han ocasionado que los diferentes procesos relacionados con la meteorización continua, los procesos de escorrentía y los demás procesos geológicos han conformados esta ladera con naturaleza inestable, que forman parte del relieve actual.



Figura 20. **Unidades aluviales al centro del área.**



Figura 21. Mapa de Unidades Geomorfológicas presentes en el Área de estudio

6.5 FORMACIONES SUPERFICIALES

En la construcción de este mapa se emplea la clasificación la definida por HERMELIN, 1987, que establece la correlación directa entre las Formaciones definidas y las Unidades Litológicas que las originan, de igual forma indica de alguna manera los procesos geológicos a los que han estado sometidas indicando el ambiente de formación; se tiene en la zona de estudio principalmente la formación superficial roca meteorizada de la formación de la denominada Formación Manizales.

6.5.1 DERIVADOS DE ROCA IN SITU FORMACIÓN CASABIANCA TSCB.

Conformada por sedimentos volcanogénicos de grano grueso con alto grado de meteorización: reposa discordantemente sobre las Formaciones Manizales y Quebradagrande, su presencia en el área se encuentra restringida a un pequeño sector localizado en sector centro norte del área en el barrio Guamal.

6.5.2 DEPÓSITOS DE CAÍDA PIROCLÁSTICA (QCP).

Son materiales recientes que forman una secuencia estratigráfica inconsolidada, constituida por cenizas, arenas volcánicas y pómez tamaño lapilli provenientes de la actividad explosiva del complejo volcánico Ruiz-Tolima. (Aguirre et.al., 1.993), el color varía desde gris hasta café oscuro. Presenta horizontes de materia orgánica y generalmente se encuentra alterada arcillas, ocasionalmente arenosas y por lo general muy plásticas. (Aguirre et.al.,1.993).



Figura 22. Sector conformado por depósitos de caída piroclástica.



Figura 23. Afloramiento expuesto por el deslizamiento de la roca meteorizada de la Formación Casabianca.

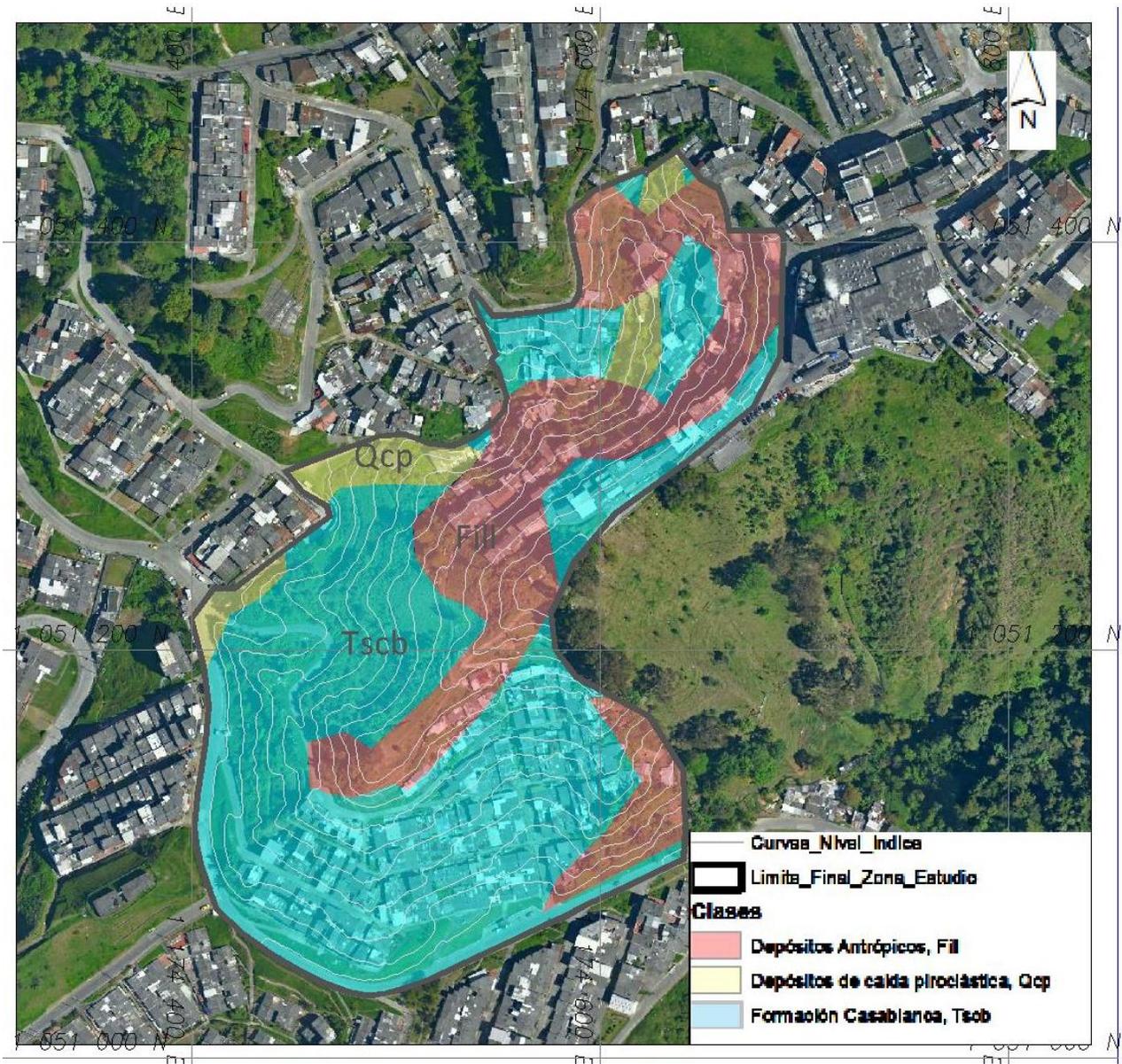


Figura 24. Mapa de Formaciones Superficiales.

6.5.3 LLENOS Y EXPLANACIONES (Fill).

Se refieren a movimientos y depósitos con origen antropogénico, relacionados con la expansión urbana del Municipio de Manizales, se presentan distribuidos por toda la zona de estudio.



Figura 25. Mapa de formaciones superficiales.

6.6 MORFOMETRÍA

La caracterización morfo métrica, 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 x Porcentaje de pendiente =

$$\frac{\text{Altura(Rise)}}{\text{Dist.horizontal(Run)}} \times 100$$

$$\frac{\text{Altura(Rise)}}{\text{Dist.horizontal(Run)}} = \text{Tan } \theta$$

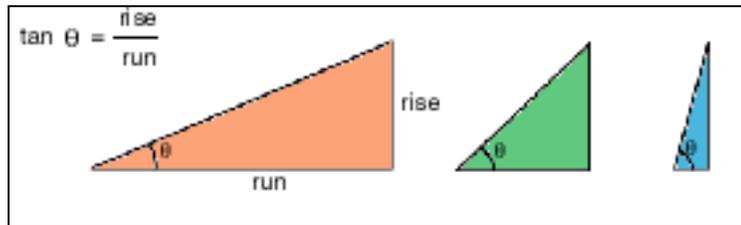


Figura 26. **Relación de pendientes.**

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 moderadamente fuertes.

Las geoformas que se presentan en las zonas de estudio hacen que estas sean continuas, relacionadas con la misma continuidad que presentan las cuchillas y vertientes presentes en el Sector.

La Tabla 2, representa la distribución de las pendientes. Las características del sector permiten que los rangos de pendiente estén concentrados en el rango de 20-40°, característica relacionada con las geoformas antes mencionadas y los fuertes controles estructurales que generan superficies constantes que proporcionan una homogeneidad en las características del mismo.

Tabla 2. Distribución Morfométrica en las zonas de estudio.

Pendiente	Rango	Área Has	Porcentaje de área
Inferiores a 5°	1	0,21	3%
Entre 5° y 15°	2	0,79	13%
Entre 15° y 25°	3	2,54	41%
Entre 25° y 30°	4	2,52	40%
Superiores a 30°	5	0,18	3%
TOTALES		6,25	100%

- **Rango 1. Inferiores a los 5°.** Corresponde aproximadamente al 3% del área de estudio, se en pequeños sectores, urbanizados y sector con uso industrial, principalmente.



Figura 27. Rango de pendiente inferior a 5 grados.

- **Rango 2. Entre 5° y 15°.** Se ubican en el sector centro del área relacionadas con las zonas de expansión urbana y geoformas con origen aluvial, cubre el 13% del área total.



Figura 28. Rango de pendiente entre 5 y 15 grados.

- **Rango 3. Entre 15° y 25°.** Cubre el 41%, de igual forma que el rango anterior está asociados a presencia de laderas y suelos de protección.



Figura 29. Rango de pendiente entre 15 y 25 grados.

- **Rango 4. Entre 25° y 30°.** Cubre el 40%. Se encuentran dispersas en toda el área y se asocian las laderas erosionables, conformadas con zonas con tratamiento geotécnico y suelos de protección.



Figura 30. Rango de pendiente entre 25 y 30 grados.

•

- **Rango 5. Mayores de superiores a los 30°.** Corresponde en promedio al 3%, del área total; corresponde a sectores ubicados de manera discontinua sobre la ladera erosionable y son escarpes con tratamientos geotécnicos.



Figura 31. **Rango de pendientes superiores a los 30 grados.**

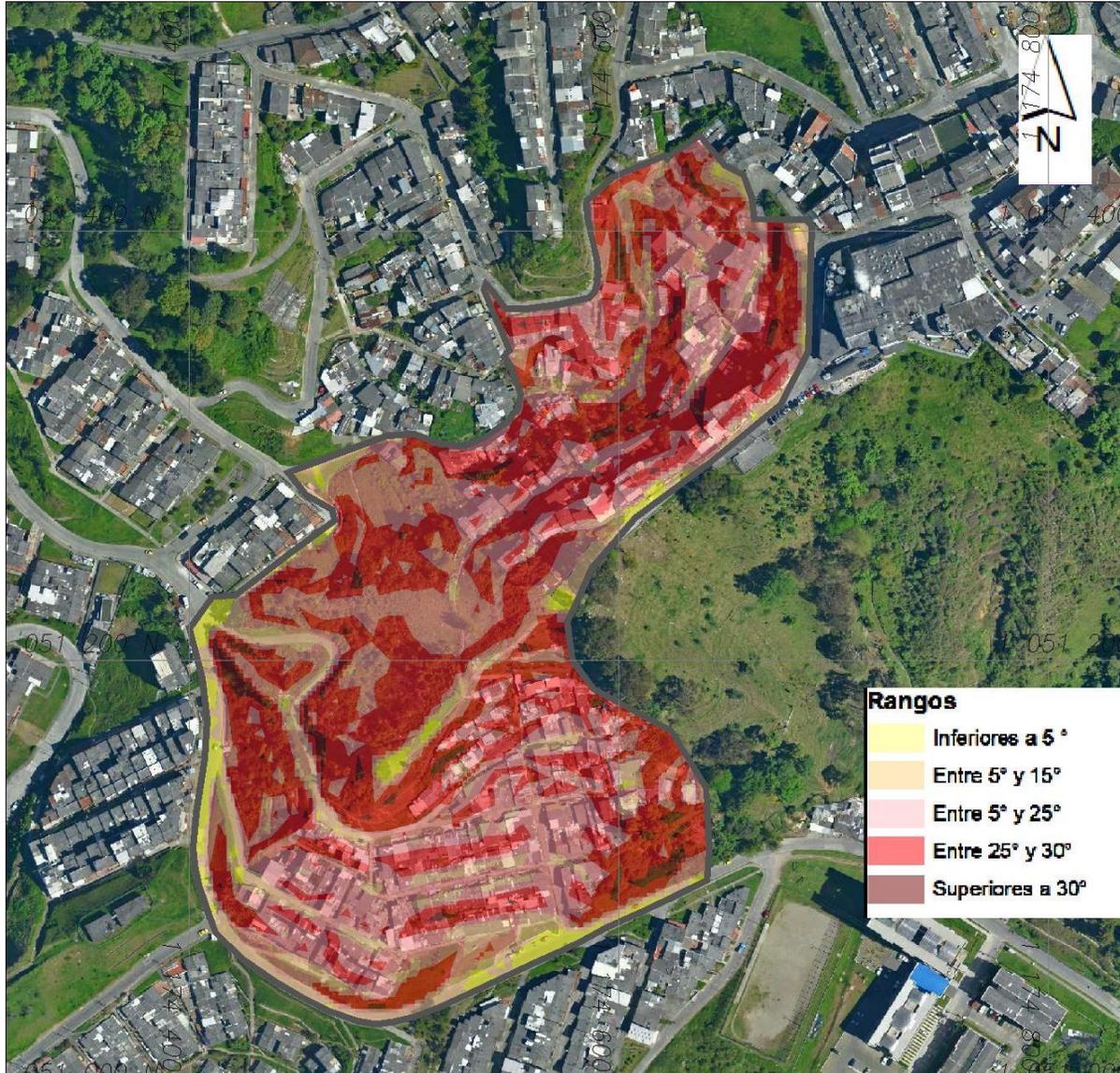


Figura 32. Mapa Morfométrico en el Área de estudio

6.7 COBERTURA VEGETAL

El análisis de la cobertura y uso del suelo de esta zona, desde el punto de vista ambiental se considera de gran importancia, si se tiene presente la existencia en el área de grandes restricciones que se presentan en estos suelos, que hace que se generen clasificaciones de tipo normativo y delimitación cartográfica de diferentes sectores clasificados como suelos de protección (laderas, retiros de cauces y áreas con tratamiento geotécnico), de manera adicional se presentan en el sector zonas definidas como de interés ambiental como es la asociada al domo tesorito y áreas con prácticas particulares que requieren ser tenidas en cuenta en el análisis, como son las escombreras o zonas de explotación de material de arrastre.

En este capítulo se realizará la clasificación de las coberturas de los suelos y los usos correspondientes a estas. Para efectuar este proceso se emplea material fotográfico existente del año 2016.

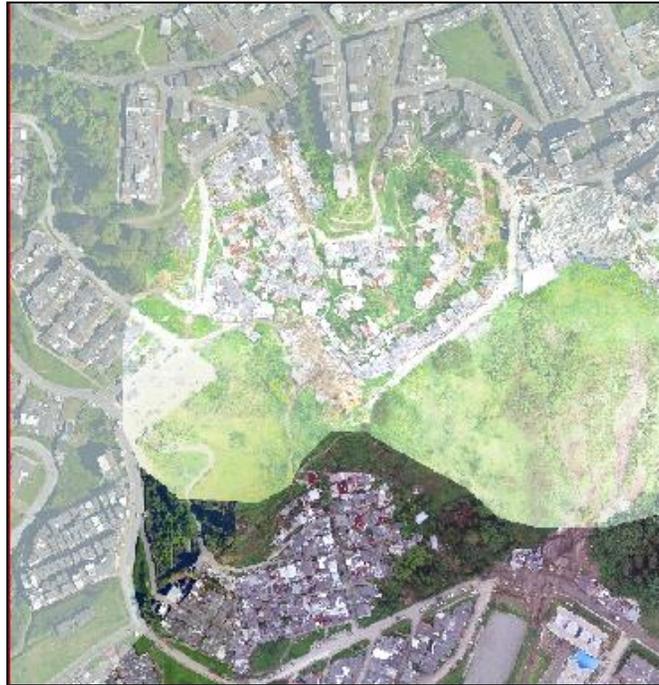


Figura 33. Fotografía del área para el año 2016.

6.7.1 COBERTURA DEL SUELO ACTUAL

A partir de los procesos efectuados se establecen las coberturas de los suelos presentes en área. La clasificación empleada para esta cobertura se busca asociar los diferentes rangos establecidos, a las diferentes restricciones que puedan tener los suelos, asociadas a los suelos de protección, áreas de interés ambiental y morfometría del área.

Tabla 3. Distribución de la cobertura del suelo en el área.

Cobertura	Área Has	Porcentaje de área
Ninguna	2,63	42%
Pastos	2,36	38%
Pastos arbolados	0,18	3%
Rastrojos	0,60	10%
Rastrojos altos	0,22	4%
Suelo expuesto	0,26	4%
TOTALES	6,25	100%

Las descripciones de estas clasificaciones de coberturas se presentan a continuación:

- **Ninguna.** Este tipo de cobertura hace relación principalmente las áreas urbanizadas, infraestructura vial, y otro tipo de infraestructura relacionada principalmente a diferentes tipos de servicios públicos generación de la fuente de este servicio público.



Figura 34. **Áreas sin cobertura, con uso residencial.**

- **Suelos expuestos.** Corresponden a zonas en las cuales actualmente no se desarrolla ninguna actividad en ellos, pero que evidencian procesos denudativos asociados a ciertas prácticas desarrolladas en ellos, a las deficiencias de los suelos o las características morfométricas del área.



Figura 35. **Suelo expuesto, parte del deslizamiento.**

- **Pastos.** Áreas en las que se presentan pastos, que sirven para diferentes actividades bien sea agrícolas, pastoriles o de protección.



Figura 36. **Pastos presentes, suelo de protección.**

- **Pastos arbolados.** Son áreas en las que se aprecia la existencia de pastos con alto deterioro de la cobertura vegetal por el inadecuado uso del suelo.



Figura 37. **Pastos arbolados, correspondientes a suelos de protección.**

- **Rastrojos.** Para el caso particular de este estudio y las características de las zonas es importante establecer una clasificación que evidencie el estado evolutivo de estos rastrojos hasta bosques.



Figura 38. **Rastrojos, correspondientes a suelos de protección.**

- **-Rastrojos altos.** Corresponde a zonas con terrenos en descanso con presencia de vegetación de baja altura y alta densidad, se relacionan con zonas de fuerte pendiente, asociadas a suelos de protección.

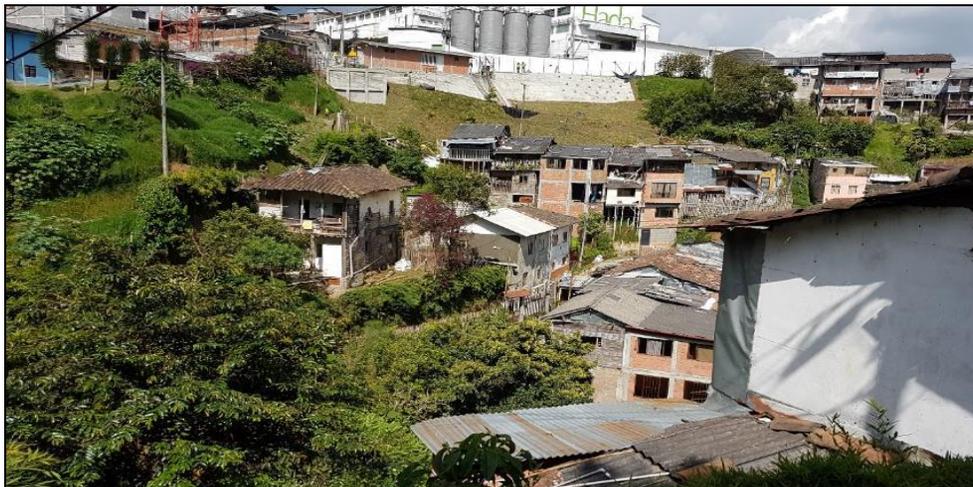
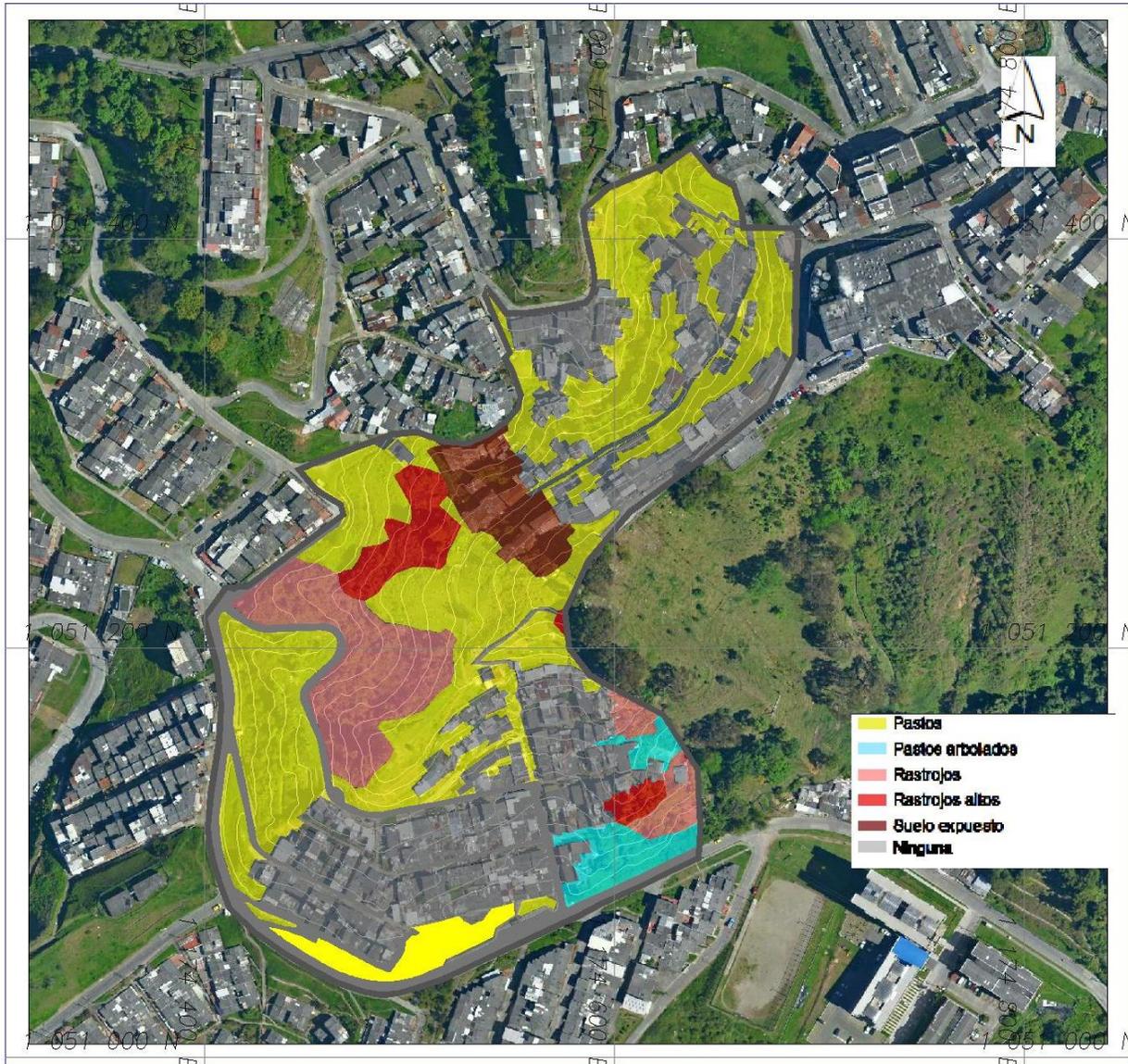


Figura 39. **Rastrojos altos, suelo de protección,**



6.8 USOS DEL SUELO

Construido el mapa de cobertura del suelo, se efectúa un análisis con aporte de verificación en campo y apoyo cartográfico que permite establecer los usos del suelo presentes en el área. La tabla presentada a continuación muestra los usos del suelo obtenidos para el área.

Uso del suelo	Área Has	Porcentaje de área
Deslizamiento activo	0,26	4%
Infraestructura vial	0,75	12%
Protección	3,14	50%
Residencial	1,88	30%
Zonas verdes	0,23	4%
Totales	6,25	100%

Tabla 4. Distribución del uso del suelo en el área.

- **Residencial.** Construcciones con destino residencial, barrio Bajo Persia



Figura 41. Barrio Bajo Persia, sector residencial.

- **Infraestructura vial.** Toda la infraestructura vial presente en el área.



Figura 42. **Infraestructura vial, sector Persia.**

- **Zona verde.** Son áreas presentes en los sectores urbanos o sobre la infraestructura vial, con presencia de pastos, que sirven como zonas verdes de protección o sostenibilidad ambiental.



Figura 43. **Zonas verdes, en el barrio Bajo Persia.**

- **Suelo de protección.** Áreas destinadas exclusivamente a la protección de los suelos, que, por las condiciones ambientales y restricciones normativas, deben ser incluidas en esta categoría.



Figura 44. **Suelo de protección, Ladera urbana San Luis.**

- **Deslizamiento activo.** Áreas ubicadas sobre la zona de influencia directa, al sitio donde ocurrió el movimiento de suelo el día 19 de abril de 2017.



Figura 45. **Sector del deslizamiento, suceso del 19 de abril de 2017.**

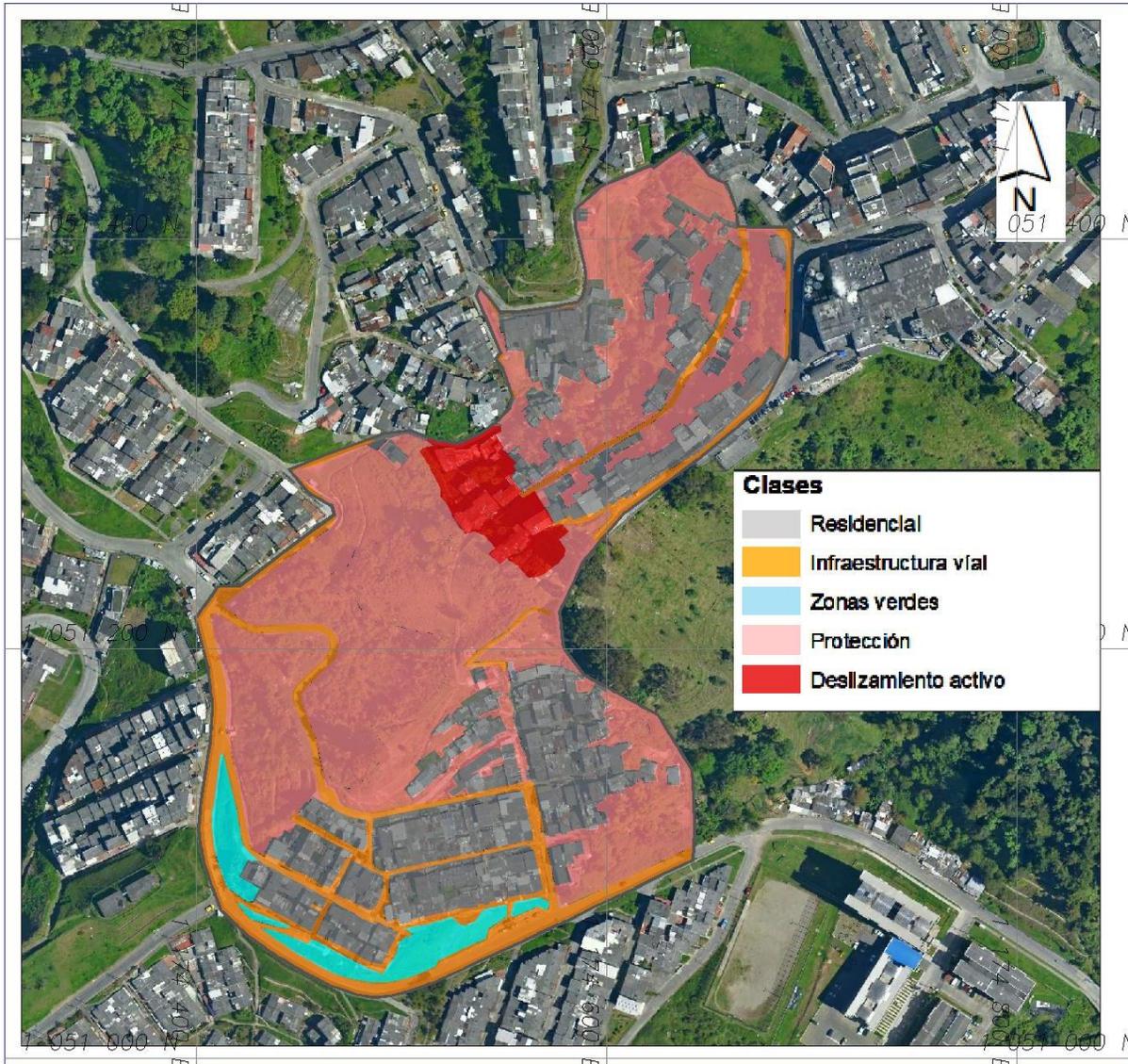


Figura 46. Mapa de usos del suelo.

6.9 PROCESOS MORFODINÁMICOS

6.9.1 EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA COBERTURA DEL SUELO

- **AÑO 1944**

Para el año 1944 se aprecian usos agresivos del suelo, con actividad agropecuaria clasificada como silvopastoril. Las franjas de protección son escasas y existen áreas con cercas vivas que dividen potreros y predios.

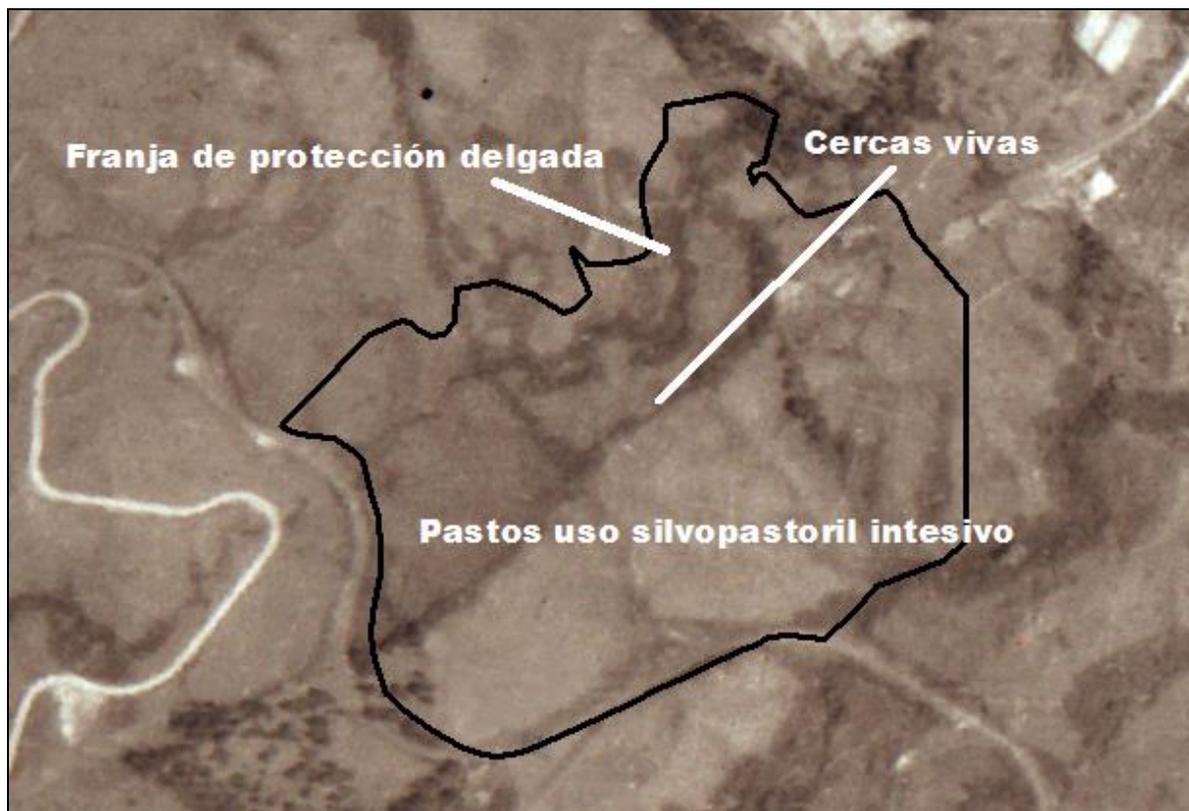


Figura 47. Cobertura y uso del suelo para el año 1944.

- **AÑO 1955**

El uso silvopastoril, continúa acentuado, pero si existe un fraccionamiento en su extensión, las cercas vivas se convierten en zonas boscosas y las franjas de protección de los drenajes se expanden. Hacia el sector norte del área aparece la expansión urbana, mostrando ya un tejido urbano estructurado. En el sector sur se acentúa la infraestructura vial por interconexión de Manizales con el municipio de Villamaría.

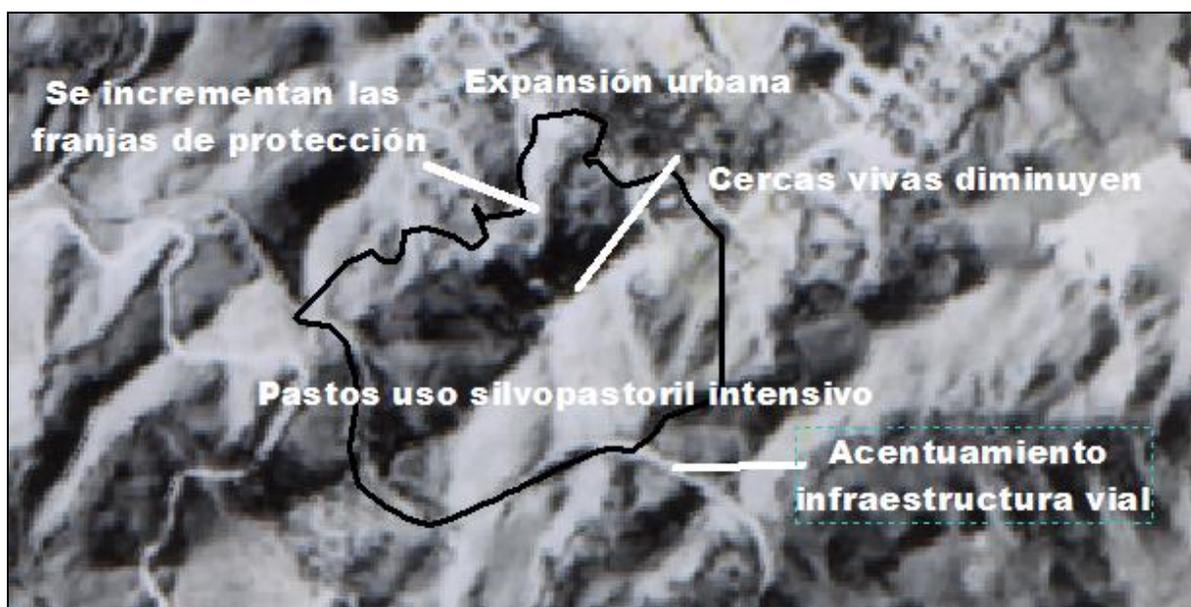


Figura 48. Coberturas del suelo para el año 1955.

- **AÑO 1969-1970**

Continúa la expansión urbana, esta incursiona en el área, partiendo desde las topografías altas en las cuales las cercas vivas se transforman en vías, las franjas de protección se transforman en rastrojos altos, pero a pesar de esto estas zonas son invadidas por construcciones dispersas. El uso silvopastoril se transforma en menos intensivo, al sur del área se acentúa aún más la infraestructura vial.

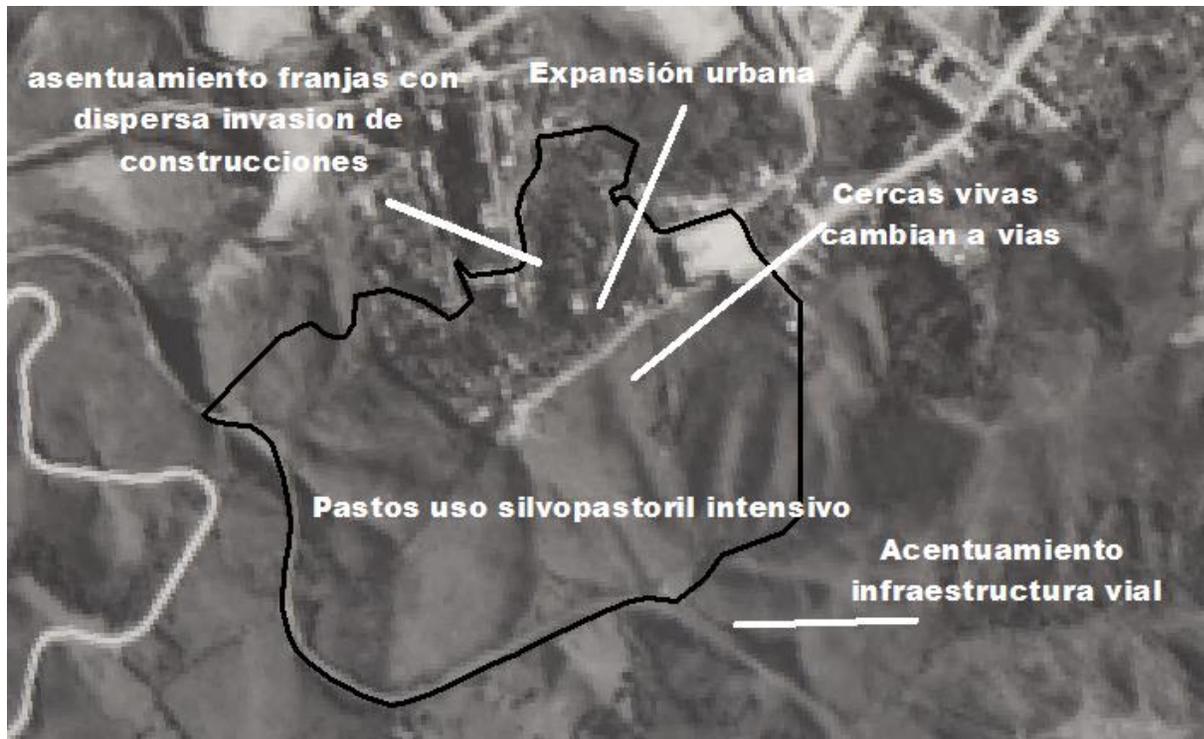
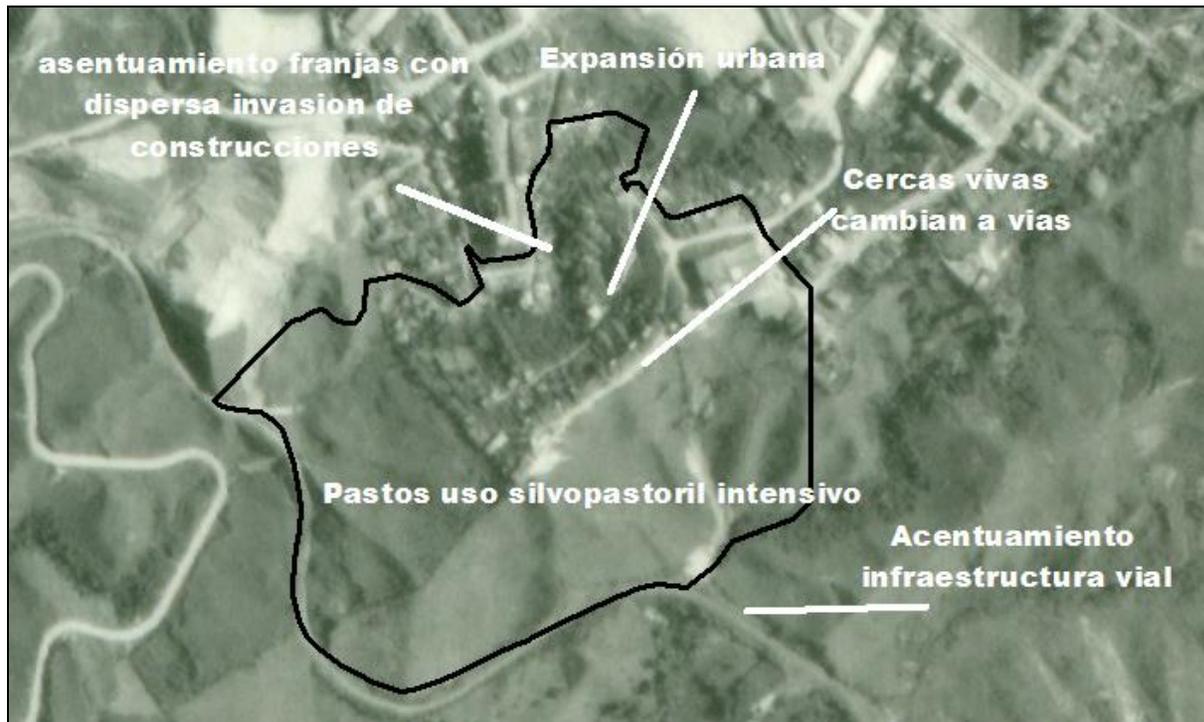


Figura 49. Cobertura del suelo periodo 1969-1970.

- **AÑO 1977-1979**

Aparecen focos de expansión urbana, con urbanizaciones al sur del área, ocurriendo un fraccionamiento del uso silvopastoril, convirtiéndose en áreas fraccionadas en zonas de alta pendientes.

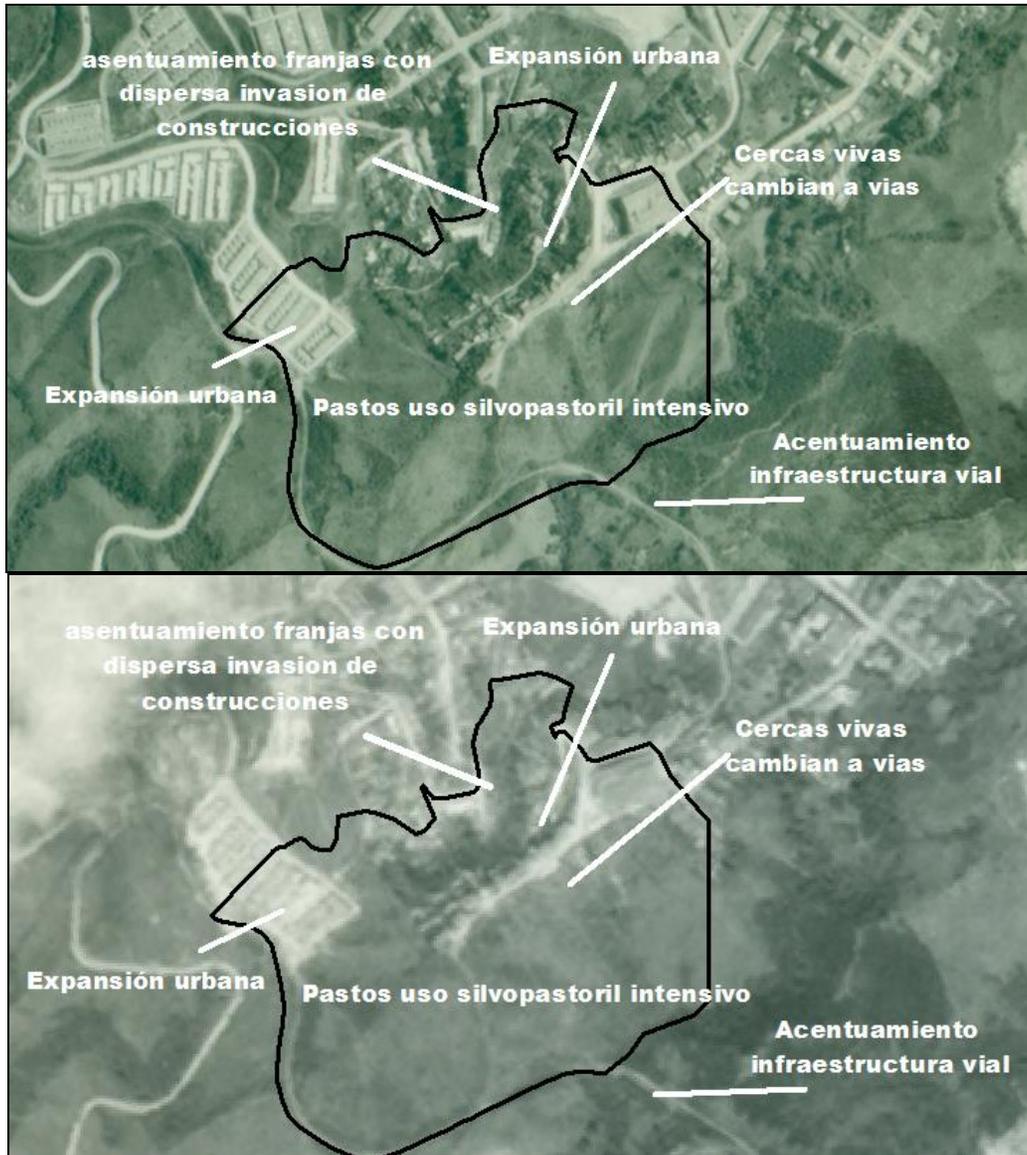


Figura 50. Cobertura del suelo periodo 1977-1979.

- **AÑO 1984-1987-1990**

Continúa el crecimiento de la expansión urbana, incursionan aún más en el sector sur y al noroccidente.

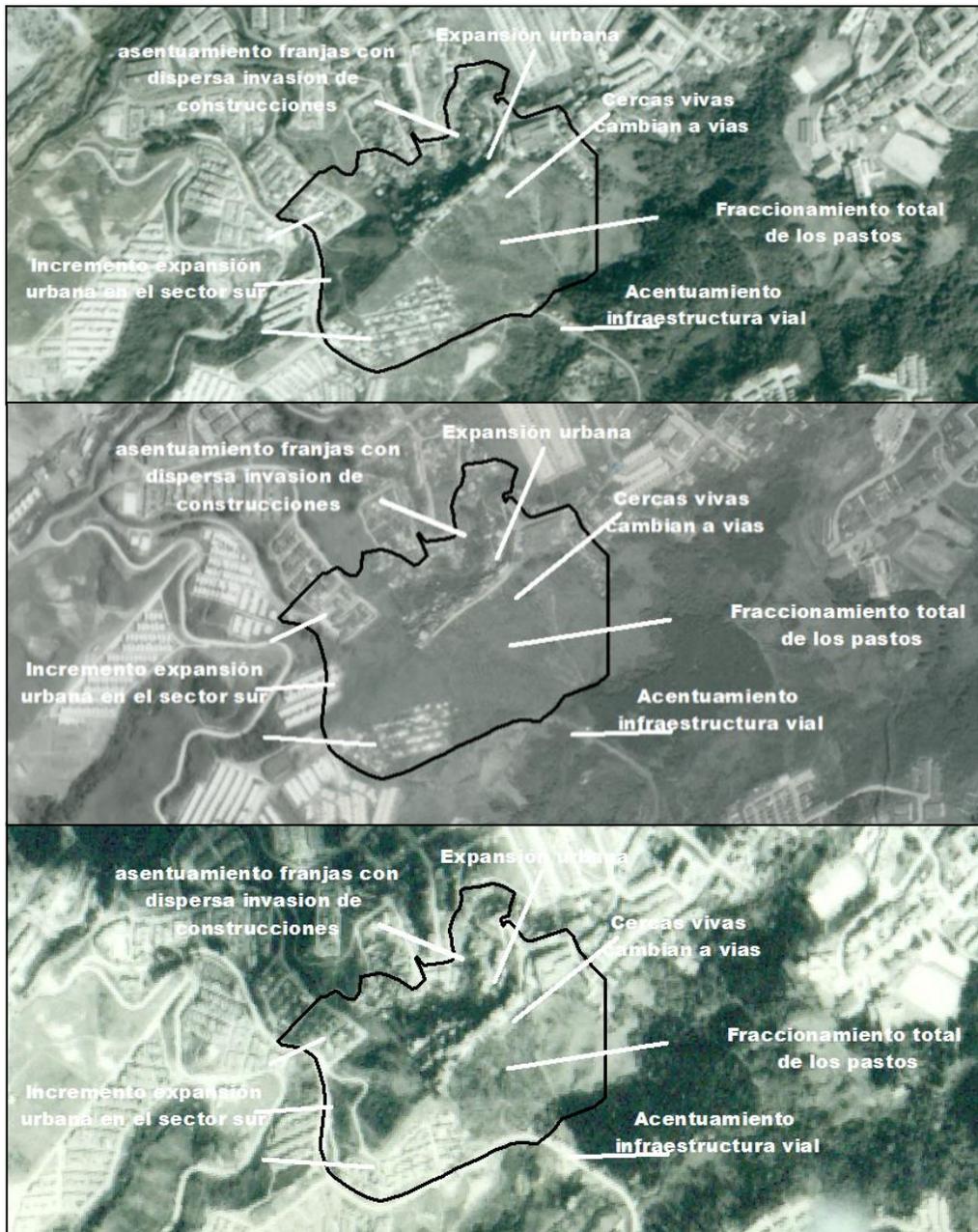


Figura 51. Cobertura del suelo periodo 1984-1987-1990.

- **AÑO 2002-2003**

Aparecen muchas más invasiones de construcciones en el sector occidental y se conforma el tejido urbano actual de la zona.

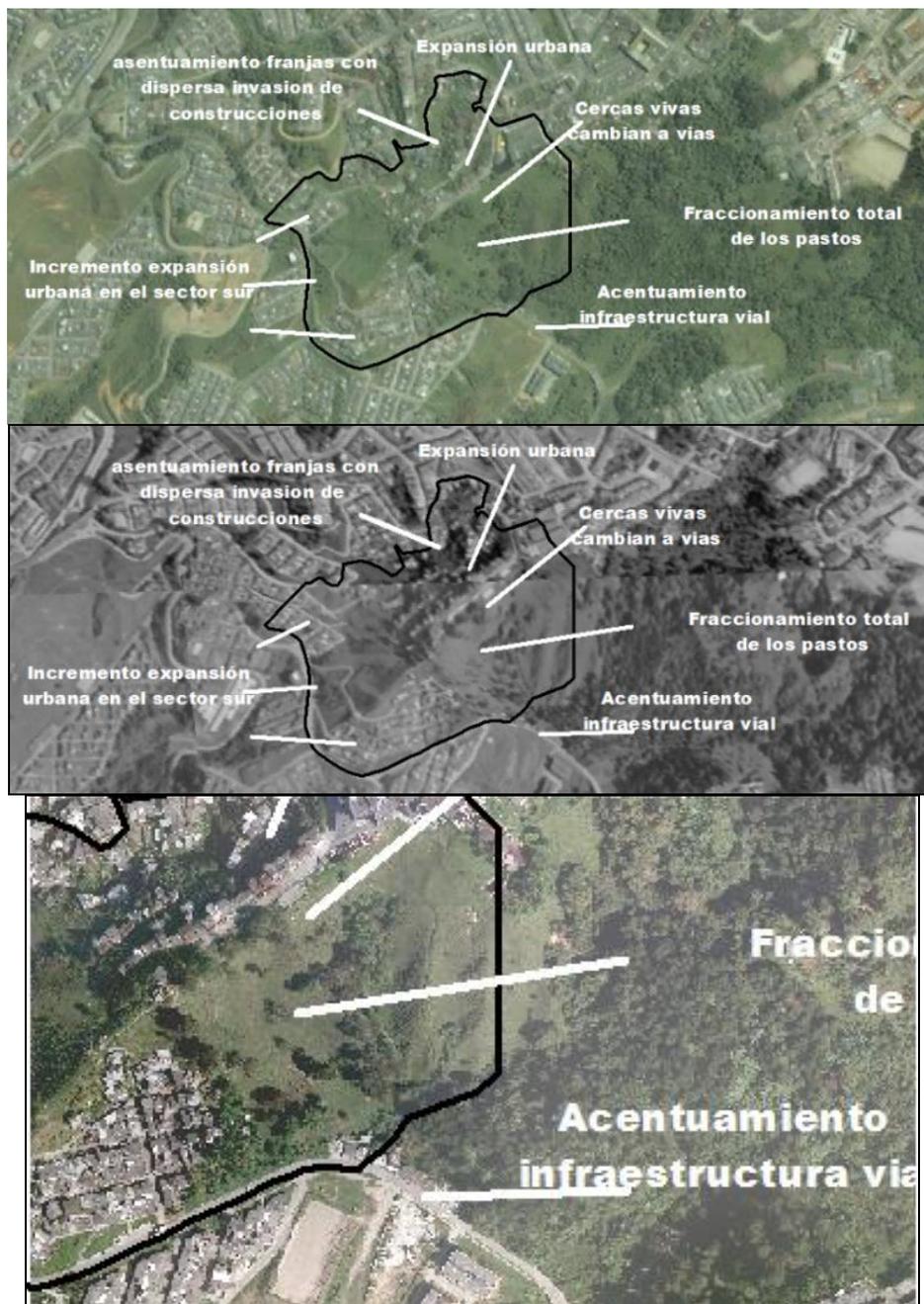


Figura 52. Cobertura del suelo periodo 2002-2003.

- **AÑO 2016**

En esta imagen se aprecia más evidente donde están asentados los focos de urbanización al sur, norte y occidente del área.

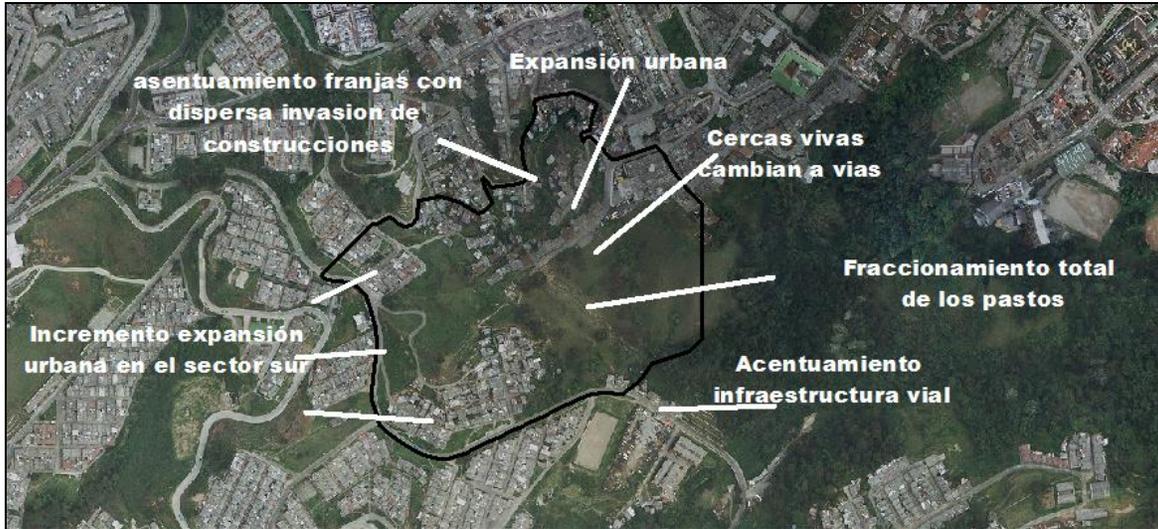


Figura 53. Cobertura del suelo periodo 2016.

6.10 ZONIFICACIÓN DE LA APTITUD DE USOS DEL SUELO

Definidos los mapas de coberturas y el de usos del suelo, se construye el mapa de vocación de uso del suelo, este mapa es asimilable a un mapa de aptitud o clase agrológica; se define con este término, porque de manera adicional se incorpora unos parámetros, que si bien parte de elementos ambientales de igual forma involucra un marco normativo que restringe el uso de estos, como son las diferentes áreas de interés ambiental y los suelos de protección.

Aptitud de usos	Área Has	Porcentaje de área
Expansión urbana.	1,05	17%
Expansión urbana con restricciones geotécnicas.	3,10	49%
Forestal protector.	2,18	34%
TOTAL	6,34	100%

Tabla 5. Aptitud del uso del suelo.

- **Expansión urbana.** Corresponden a las zonas con características morfométricas óptimas (planas) y que no presentan restricciones de tipo ambiental o normativo que no permita desarrollar proyectos de expansión urbana.



Figura 54. **Aptitud Agrícola residencial sector centro del área.**

- **Expansión urbana con restricciones.** Son áreas que, si bien no poseen restricciones de carácter normativo ni ambiental, presentan condiciones morfométricas (actuales), o eventos que de manera indirecta las han afectado, por las cuales se puede tener impedimentos para desarrollar proyectos de expansión urbana.



Figura 55. **Agrícola con restricciones sector norte del área.**

- **Forestal protector.** Áreas que, por sus condiciones ambientales, por el actual marco normativo vigente en el POT y eventos naturales ocurridos, les impiden realizar actividades diferentes a la protección de los suelos del área, con prácticas de reforestación del área.



Figura 56. **Aptitud forestal protector sector oriental del área.**



Figura 57. Mapa de aptitudes de usos del suelo.

6.11 DEFINICIÓN DE CONFLICTOS DE USOS DEL SUELO

Efectuando el cruce de los mapas obtenidos; cobertura del suelo, uso del suelo y aptitud de uso de suelo; se definen las zonas que presentan conflictos:

- **Áreas sin conflicto.** Corresponden a las zonas que no tienen ningún conflicto de usos bien sea asociado a restricciones de tipo ambiental o normativo vigente para el área.



Figura 58. Sector sin conflicto de uso del suelo sector centro norte del área.

- **Áreas con conflictos.** Son aquellas zonas que presentan algún conflicto bien sea de tipo ambiental, normativo o de condiciones actuales de pendiente que impidan desarrollar la práctica agrícola, pecuario o de expansión urbana que se efectúa actualmente en ella.



Figura 59. Áreas con conflictos de uso del suelo al centro del área.

Conflicto	Área Has	Porcentaje de área
Con conflicto	0,78	12%
Sin conflicto	5,55	88%
TOTALES	6,33	100,00%

Tabla 6. Conflicto de uso del suelo.



Figura 60. Conflictos de usos para el año 2016.

7 GEOLOGÍA LOCAL

En este capítulo se realizará la caracterización geológica de cada uno de los puntos más críticos localizados dentro del área de estudio objeto del proyecto, definidos en el capítulo 4 de este documento.

7.1 SITIO 0



Figura 61. **Panorámica del Sitio 0 (Cero).**

7.1.1 GEOLOGÍA

7.1.1.1 ESTRATIGRAFÍA

En el área de estudio el flujo de escombros aflora de manera clara en todo el talud objeto de estudio, en especial en el sector suroccidental, en donde se aprecian bloques frescos de andesitas de color gris, embebidos en una matriz de color habana.

<p>Calle 62. No. 23-61 Edificio Torre Plaza 62 Of. 904 Tel. 8813561 fax. 8813437. e-mail: quasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIOS GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDRÁULICO Y MICROZONIFICACIÓN DEL RESGO POR DESLIZAMIENTO Y DISEÑOS DE LAS OBRAS DE ESTABILIDAD PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO EN EL BARRIO PERSIA. MUNICIPIO DE MANIZALES</p>	<p>Página 107</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------

Los bloques de andesita poseen diámetros de hasta 1 metro, y poseen formas angulosas y de baja esfericidad. También se tienen los bloques de roca altamente meteorizada, con coloraciones habana, morada, gris y ocre, envueltos en matriz arcillosa de color café.



Figura 62. Aspecto de los bloques de andesita que conforman el flujo de escombros de la Formación Casabianca, en el sector suroccidental del área de estudio. Un detalle de un bloque de andesita de la Formación Casabianca.



Figura 63. Otro detalle del flujo de escombros de la Formación Casabianca, en donde se aprecian aún los bloques de roca embebidos en matriz arcillosa.



Figura 64. Es evidente el grado de meteorización que presentan los clastos del flujo de escombros que conforman la unidad geológica de la zona del sitio denominado Cero.

7.1.1.2 FORMACIONES SUPERFICIALES

Las formaciones superficiales que consituyen el area de estudio corresponden a depósitos de caída piroclástica producto de la actividad volcanica del Complejo Ruíz-Tolima Cerro Bravo. Los depósitos de caída piroclástica, se componen de capas centimétricas de ceniza de color café y lapilli de color amarillo, los cuales suprayacen el depósito de flujo de escombros de la Formación Casabianca; en la zona se presentan cenizas de color amarilla con un espesor inferior a 1.0 metro, cubiertas por suelos negros y cubriendo el depósito de flujo de escombros de la Formación Casabianca.



Figura 65. **Se tienen cenizas volcánicas como la formación superficial que conforma la zona.**



Figura 66. Los depósitos de caída piroclástica se encuentran cubiertos por suelos de color negro y cubren el depósito de flujo de escombros de la Formación Casabianca.

7.1.1.3 GEOMORFOLOGÍA

La geofoma sobre la cual se localiza la zona de estudio se relaciona con un ladera de fuerte inclinación, afectada por procesos erosivos de caminos de ganado y denudativos de movimientos en masa; y constituida por el flujo de escombros de la Formación Casabianca.



Figura 67. La geofoma sobre la que se localiza la zona de estudio corresponde a una ladera de fuerte inclinación.

7.1.1.4 MORFOMETRIA

En la zona de estudio se tienen las siguientes categorías de pendientes del terreno.

- **Zonas con pendientes menores o iguales a 10° de inclinación.** Las zonas bajo esta categoría se localizan sobre el sector norte y nororiente del área, ocupando una pequeña franja con respecto al área de estudio.



Figura 68. Sobre la parte alta de la zona de estudio, sector norte y nororiente de éste, se tienen zonas de mínima pendiente (menores a 10° de inclinación).

- **Zonas con pendientes mayores o iguales a 30° de inclinación.** Es el rango de pendiente de mayor predominio en la zona, siendo la fuerte pendiente una de las principales causas de inestabilidad de la misma.



Figura 69. La fuerte inclinación predominante en la zona (mayor a 30°), es una de las principales causas de la inestabilidad.

7.1.1.5 PROCESOS EROSIVOS Y DENUDATIVOS

En la zona de encuentra afectada por procesos erosivos de caminos de ganado y denudativos de deslizamientos y cicatrices.

Deslizamientos. Se presenta sobre el sector occidental del area, zona en la cual se tiene un movimiento en masa que afectó la parte alta de la ladera y genera amenaza sobre las viviendas localizadas en la base de esta, el movimiento se describe la siguiente manera:

1. Tipo: Deslizamiento.

2. Subtipo: Traslacional o planar.

3. Actividad: Primera ruptura.

4. Material: Suelos, cenizas volcánicas y depósito de flujo de escombros.

5. Talud: Natural.

6. Grietas: En la corona del talud.

7. Escarpe: Principal.



Figura 70. Panorámica del deslizamiento que se presenta en el Sitio 0 (Cero).

8. Cuerpo: Existente.

9. Superficie de ruptura: Única.

10. Efectos: Terrenos y vía peatonal.

11. Morfometría:

Amplitud: Entre 12.0 metros.

Longitud: Entre 8.0 metros.

Profundidad: menor a 1.5 metros.

Pendiente: Superior a 30° de inclinación.

12. Causas:

12.1. Característica del material. Los materiales que conforman la zona de estudio, cenizas volcánicas y depósito de flujo de escombros, favorecen la ocurrencia de fenómenos de movimientos en masa, dado que los primeros son altamente porosos y permeables, lo que permite la saturación de los mismos; y los segundos, dado su alto grado de meteorización a arcillas, forman una capa impermeable sobre la cual se deslizan los depósitos de caída piroclástica.

12.2. Alta pendiente. La alta pendiente predominante en el área, favorece el desplazamiento de los materiales en función de la gravedad.

12.3. Ausencia de obras para el manejo de las aguas de escorrentía y de infiltración. No existen obras para el manejo de las aguas de escorrentía en la cara del talud, lo que permite que las aguas lluvias y de escorrentía se infiltren y saturen los materiales que conforman la ladera, incrementando la presión de poros y la posibilidad deslizarse. Tampoco existen obras de drenaje de la ladera, tales como drenes subhorizontales que evacúen las aguas infiltradas.

12.4. Ausencia de obras de contención. No existe en la zona obras de contención en la base del talud.

13. Elemento detonante: Saturación por lluvias.

- **Caminos de ganado.** Se ubican sobre el sector oriental del área, siendo el producto del uso pecuario en zonas de fuerte inclinación.
- **Cicatrices.** Se tiene sobre el sector oriental, siendo la evidencia de la ocurrencia de antiguos movimientos en masa sobre el área.

En la siguiente figura se indica la zona afectada por cicatrices y caminos de ganado.



Figura 71. **Detalle del sector oriental del área de estudio donde se indica con las flechas de color blanco las superficies de caminos de ganado y en rojo la cicatriz de deslizamiento.**

7.1.1.6 COBERTURA VEGETAL

En la zona de estudio solo se tiene una sola cobertura vegetal, la cual corresponde a pastos.

7.1.2 AMENAZAS NATURALES

En la zona se tienen una alta amenaza por movimientos en masa, derivada de la fuerte inclinación de la geoforma de ladera, la existencia de formaciones superficiales que favorecen la infiltración de las aguas lluvias y de escorrentia, la acción de los procesos erosivos y denudativos sobre la ladera, y principalmente, por la ocurrencia frecuente de fuertes y prolongadas precipitaciones.

7.1.3 VULNERABILIDAD

A lo largo de la ladera no se tienen elementos expuestos ante la ocurrencia de un movimientos en masa, pero en la base de esta si se tienen varias viviendas, que pueden resultar seriamente afectadas ante un movimeintos en masa.



Figura 72. La vulnerabilidad en el área se relaciona con las viviendas existentes en la base de la ladera.

7.2 SITIO 1



Figura 73. Panorámica de la parte baja del sitio 1 (Uno).



Figura 74. Panorámica de la parte alta del sitio 1 (Uno).

7.2.1 GEOLOGÍA

7.2.1.1 ESTRATIGRAFÍA

En el área de estudio el flujo de escombros aflora a lo largo y ancho del talud, en el cual se observan los bloques tanto frescos como meteorizados de andesitas de color gris, embebidos en una matriz de color café claro. Los bloques de andesita poseen diámetros de hasta 1.0 metro, y poseen formas angulosas y de baja esfericidad. También se tienen los bloques de roca altamente meteorizadas, con coloraciones habana, morada, gris y ocre, envueltos en matriz arcillosa de color café.



Figura 75. **Detalle de la Formación Casabianca en la base del talud objeto de estudio, en donde se tienen bloques de altamente meteorizados embebidos en matriz arcillosa de color habano.**



Figura 76. Otro aspecto de la roca los bloques de la Formación Casabianca en la base del talud.



Figura 77. También se tienen bloques frescos de andesitas de hasta 1 metro de diámetro en la base del talud.



Figura 78. **Aspecto del depósito de flujo de escombros de la Formación Casabianca hacia la corona del talud de interés, zona en la cual el alto grado de meteorización de esta unidad es evidente ante la variedad de colores.**



Figura 79. **Un detalle del flujo de escombros de la Formación Casabianca en la parte alta de la ladera.**

7.2.1.2 FORMACIONES SUPERFICIALES

Las formaciones superficiales que constituyen la zona de estudio se relaciona con depositos de caida piroclastica y deposito de flujo de escombros. Los depositos de caida piroclastica se localizan hacia la corona de la ladera, y corresponden a ceniza volcanicas, las cuales en la zona poseen un espesor inferior a 1 metro, son de color amarillo y de tamaño fino; mientras que el deposito de flujo de escombros alfora desde el primer cuarto de la longitud de la ladera y hasta la base de la misma; el deposito hacia la corona luce altamente meteorizado, lo que dificulta la identificacion de sus clastos; mientras que hacia su base se identifican con facilidad los clastos de andesitas en tamaños de hasta 1 metro de diamentro.

7.2.1.3 GEOMORFOLOGIA

En el area de estudio solo se tiene una geoforma, la cual corresponde a una ladera de fuerte inclinacion (pendiente mayor a 30°), constituida principalmente por depósitos meteorizados de flujo de escombros, y con evidente afectacion de procesos denudativos de movimientos en masa.



Figura 80. El Sitio 1 se ubica sobre una geoforma de ladera de fuerte inclinación.

7.2.1.4 MORFOMETRIA

En la zona de estudio se tiene un solo rango de pendiente, el cual corresponde a zona con pendientes mayores o iguales a 30°.



Figura 81. Vista desde la base de la ladera y hacia la parte alta de la misma, donde se aprecia el alto grado de inclinación de la ladera.



Figura 82. **Detalle de la parte media de la ladera, donde se aprecia el alto grado de inclinación.**

7.2.1.5 PROCESOS EROSIVOS Y DENUDATIVOS

En la zona de estudio se presentan dos procesos denudativos relacionados con movimientos en masa tipo deslizamientos, los cuales se caracterizan de la siguiente manera.

- 1. Tipo:** Deslizamiento.
- 2. Subtipo:** Traslacional o planar.
- 3. Actividad:** Primera ruptura.
- 4. Material:** Suelos, cenizas volcánicas, y depósito de flujo de escombros.
- 5. Talud:** Natural.
- 6. Grietas:** En la corona del talud.
- 7. Escarpe:** Principal.
- 8. Cuerpo:** Existente.

9. Superficie de ruptura: Única.

10. Efectos: Terrenos y viviendas.



Figura 83. Viviendas afectadas por los movimientos en masa del día 19 de abril de 2017.



Figura 84. Otras de las viviendas afectadas por el deslizamiento en el Sitio 1.

11. Morfometría:

Deslizamiento parte alta de la ladera:

Amplitud: 40.0 metros.

Longitud: 80.0 metros.

Profundidad: menor a 3.0 metros.

Pendiente: Superior a 30° de inclinación.



Figura 85. Panorámica del movimiento en masa que afecta la parte media y alta de la ladera.

Deslizamiento parte media y baja de la ladera:

Amplitud: 10.0 metros.

Longitud: 18.0 metros.

Profundidad: menor a 2.0 metros.

Pendiente: Superior a 30° de inclinación.



Figura 86. Panorámica del deslizamiento que afectó la parte media y baja de la ladera.

12. Causas:

12.1. Característica del material. Los materiales que conforma la zona de estudio, cenizas volcánicas y depósito de flujo de escombros, favorecen la ocurrencia de fenómenos de movimientos en masa, dado que los primeros son altamente porosos y permeables, lo que permite la saturación de los mismos; y los segundos, dado su alto grado de meteorización a arcillas, forman una capa impermeable sobre la cual se deslizan los depósitos de caída piroclástica.

12.2. Alta pendiente. La alta pendiente predominante en el área, favorece el desplazamiento de los materiales en función de la gravedad.

12.3. Ausencia de obras para el manejo de las aguas de escorrentía y de infiltración. No existen obras para el manejo de las aguas de escorrentía en la cara del talud, lo que permite que las aguas lluvias y de escorrentía se infiltren y saturen los materiales que conforman la ladera, incrementando la presión de poros y la posibilidad deslizarse. Tampoco existen obras de drenaje de la ladera.

12.4. Ausencia de obras de contención. Aunque la zona existen obras de contención, estas resultaron insuficientes para el control de los movimientos en masa que afectaron la zona el pasado 19 de abril.

13. Elemento detonante: Saturación por lluvias.

7.2.1.6 COBERTURA VEGETAL

La cobertura vegetal de la zona corresponde a pastos mezclados con rastrojos, desde la parte media a alta se tiene la roca expuesta (depósito de flujo de escombros).



Figura 87. Hacia la parte baja y media de la ladera se tiene cobertura vegetal de pastos.



Figura 88. Aspecto de la parte media de la ladera, donde se tiene cobertura vegetal de pastos.



Figura 89. Hacia la parte alta de la ladera se tiene el depósito de flujo de escombros expuesto.

7.2.2 AMENAZAS NATURALES

En la zona se tienen una alta amenaza por movimientos en masa, derivada de la fuerte inclinación de la geofoma de ladera, la existencia de formaciones superficiales que favorecen la infiltración de las aguas lluvias y de escorrentia, la acción de los procesos erosivos y denudativos sobre la ladera, y principalmente, por la ocurrencia frecuente de fuertes y prolongadas precipitaciones.

7.2.3 VULNERABILIDAD

Los elementos expuestos ante la ocurrencia de un movimientos en masa corresponden a viviendas ubicadas en la corona, costado norte y parte baja de la ladera.



Figura 90. **Viviendas ubicadas en la parte baja de la ladera hacen parte de los elementos expuestos ante la ocurrencia de movimientos en masa.**



Figura 91. **Viviendas ubicadas en el sector norte de la zona de interés también hacen parte de zonas vulnerables en el Sitio 1.**

7.3 SITIO 2



Figura 92. **Panorámica del Sitio 2 (Dos).**

7.3.1 GEOLOGÍA

7.3.1.1 ESTRATIGRAFÍA

En el área de estudio el flujo de escombros se extiende en toda la zona, exhibiendo una coloración en general habana, con clastos de tamaño centimétrico de variadas formas y colores, embebidos en matriz arcillosa.



Figura 93. **En el Sitio 2, la unidad geológica corresponde al depósito de flujo de escombros de la Formación Casabianca.**

7.3.1.2 FORMACIONES SUPERFICIALES

Las formaciones superficiales que se tienen en el área de interés se relacionan con suelos de color negro, de espesor cercano a los 50 centímetros, los cuales cubren el depósito de flujo de escombros.



Figura 94. Suelos de color negro conforman la formación superficial en el área del Sitio 2.

7.3.1.3 GEOMORFOLOGIA.

La geoforma sobre la cual se localiza el Sitio 2, se relaciona con una geoforma de ladera, caracterizada por su fuerte inclinación, y constituida por un depósito de flujo de escombros, y afectada por fenómenos de movimientos en masa.



Figura 95. La zona se localiza sobre una geofoma de ladera de fuerte pendiente.

7.3.1.4 MORFOMETRIA

En el area de estudio se tiene un solo rango de pendiente, el cual corresponde a zonas con inclinaciones mayores o iguales a 30°.



Figura 96. La ladera del Sitio 2 posee una inclinación mayor o igual a 30°.

7.3.1.5 PROCESOS EROSIVOS Y DENUDATIVOS

El Sitio 2, se encuentra afectado por un proceso denudativo de movimiento en masa, tipo deslizamiento, que se caracteriza de la siguiente manera:

1. **Tipo:** Deslizamiento.
2. **Subtipo:** Traslacional o planar.
3. **Actividad:** Reactivación.
4. **Material:** Suelos.
5. **Talud:** Natural.
6. **Grietas:** No se presentan.
7. **Escarpe:** Principal.
8. **Cuerpo:** Existente.
9. **Superficie de ruptura:** Única.
10. **Efectos:** Terrenos y viviendas.

11. Morfometría:

Amplitud: 7.0 metros.

Longitud: 10.0 metros.

Profundidad: menor a 1.0 metro.

Pendiente: Superior a 30° de inclinación.



Figura 97. En el Sitio 2 se tienen un movimiento en masa que solo involucra suelos de poco espesor, pero que genera riesgos sobre las viviendas localizadas en la base de la ladera.

12. Causas:

12.1. Característica del material. Los materiales sobre los cuales se localizan los suelos (cenizas volcánicas y depósito de flujo de escombros), favorecen la ocurrencia de fenómenos de movimientos en masa, dado que los primeros son altamente porosos y permeables, lo que permite la saturación de los mismos; y los segundos, dado su alto grado de meteorización a arcillas, forman una capa impermeable sobre la cual se deslizan los depósitos de caída piroclástica.

12.2. Alta pendiente. La alta pendiente predominante en el área, favorece el desplazamiento de los materiales en función de la gravedad.

12.3. Ausencia de obras para el manejo de las aguas de escorrentía y de infiltración. No existen obras para el manejo de las aguas de escorrentía en la cara del talud, lo que permite que las aguas lluvias y de escorrentía se infiltren y saturen los materiales que conforman la ladera, incrementando la presión de poros y la posibilidad deslizarse. Tampoco existen obras de drenaje de la ladera, tales como drenes subhorizontales que evacúen las aguas infiltradas.

12.4. Ausencia de obras de contención. Aunque la zona existen obras de contención, estas resultaron insuficientes para el control de los movimientos en masa que afectaron la zona el pasado 19 de abril.

13. Elemento detonante: Saturación por lluvias.

7.3.1.6 COBERTURA VEGETAL

La cobertura vegetal que constituye la zona de estudio se relaciona con pastos y rastrojos.



Figura 98. Pastos y rastrojos constituyen la cobertura vegetal del Sitio 2.

7.3.2 AMENAZAS NATURALES

La amenaza en el area de estudio del sitio 2, esta dada por la fuerte inclinacion de la ladera, la presencia de un movimiento en masa, así como tambien por el tipo de material que la conforma (suelos y depósitos), todo esto sumado a las frecuentes y prolongadas precipitaciones que se presentan en la zona en las temporadas de lluvias y la ausencia de obras de control de las aguas de escorrentia y obras de contencion.

7.3.3 VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad en el area esta dada por la existencia de varias viviendas localizadas tanto en la corona de la ladera como en su base, varias de estas con deficientes sistemas constructivos.



Figura 99. Varias viviendas ubicadas en la base de la ladera hacen parte de los elementos expuestos ante la ocurrencia de un movimiento en masa.



Figura 100. Algunas viviendas presentan sistemas constructivos deficientes que incrementan su vulnerabilidad frente a la ocurrencia de un movimiento en masa.



Figura 101. Es notable en las viviendas de la base de la ladera, la ausencia de canales y bajantes para el manejo de las aguas de las cubiertas, condiciones que permite la saturación de los suelos, y la acción erosiva de las aguas de escorrentía.

7.4 SITIO 3



Figura 102. **Panorámica del Sitio 3.**

7.4.1 GEOLOGÍA

7.4.1.1 ESTRATIGRAFIA

En el área de estudio el flujo de escombros se presenta altamente meteorizado, alcanzándose a observar la silueta de los clastos que lo constituyen con tonalidades gris, blanca, habana y café principalmente, en matriz arcillosa de color predominantemente morado.



Figura 103. **El depósito de flujo de escombros de la Formación Casabianca se presenta muy alterado en el área del Sitio 3. Apenas se alcanzan a apreciar los clastos que lo constituyen.**

7.4.1.2 FORMACIONES SUPERFICIALES

Las formaciones superficiales en el Sitio 3 se asocian a suelos y depósitos de caída piroclástica que cubren el depósito meteorizado de flujo de escombros.

7.4.1.3 GEOMORFOLOGÍA

En la zona se tiene una sola unidad geomorfológica, la cual corresponde a una ladera caracterizada por su fuerte pendiente y estar constituida por el depósito de flujo de escombros de la Formación Casabianca.



Figura 104. Panorámica de la geofoma de ladera sobre la cual se ubica el Sitio 3.



Figura 105. Otro aspecto de la geofabrica de ladera en el Sitio 3.

7.4.1.4 MORFOMETRIA

En la zona se tienen dos rangos de pendientes:

- **Zonas con pendientes mayores a 10° y menores a 30° de inclinación.** Este rango de pendiente se localiza sobre el sector oriental del area, en la corona de la ladera, ocupando zonas relativamente pequeñas.
- **Zonas con pendientes mayores a 30° de inclinación.** Las zonas bajo este rango de pendiente ocupan la mayor parte del area, destacando que en esta zona se ubican los patios interiores de las viviendas. La fuerte pendiente asociada a este rango de inclinación es una de las principales causas de la inestabilidad.



Figura 106. **Vista del sector norte de la zona, donde se tienen inclinaciones mayores a 30°.**



Figura 107. **Zonas con inclinaciones mayores a 30° sobre el sector central del área.**

7.4.1.5 PROCESOS EROSIVOS Y DENUDATIVOS

En el area de estudio, Sitio 3, se tienen dos movimientos en masa que se clasifican de la siguiente manera:

1. **Tipo:** Deslizamiento.
2. **Subtipo:** Traslacional o planar.
3. **Actividad:** Reactivación.
4. **Material:** Depósito de flujo de escombros.
5. **Talud:** Natural.
6. **Grietas:** No se presentan.
7. **Escarpe:** Principal.
8. **Cuerpo:** No existe.
9. **Superficie de ruptura:** Única.
10. **Efectos:** Terrenos y viviendas.
11. **Morfometría:**
 - Movimiento en masa sector norte:**
 - Amplitud:** 10.0 metros.
 - Longitud:** 7.0 metros.
 - Profundidad:** menor a 1.0 metro.
 - Pendiente:** Superior a 30° de inclinación.
 - Movimiento en masa sector sur:**
 - Amplitud:** 5.0 metros.
 - Longitud:** 7.0 metros.
 - Profundidad:** menor a 1.0 metro.
 - Pendiente:** Superior a 30° de inclinación

12. Causas:

12.1. Característica del material. El alto grado de meteorización de los materiales que conforman la ladera, favorecen su inestabilidad.

12.2. Alta pendiente. La alta pendiente predominante en el área, favorece el desplazamiento de los materiales en función de la gravedad.

12.3. Deficiente sistema de obras para el manejo de las aguas de escorrentía y de infiltración. Aunque existen obras para el manejo de las aguas de escorrentía y de infiltración, estas han sido insuficientes para evacuar el volumen de agua generado por la precipitación del 19 de abril de 2017.



Figura 108. **Detalle de los daños provocados por el movimiento en masa del sector norte que afectó una de las viviendas localizada en la base de la ladera.**



Figura 109. Panorámica de la zona donde se presentó el movimiento en masa en el sector sur del Sitio 3.



Figura 110. Detalle de la zona afectada por el deslizamiento en la zona sur del Sitio 3.

12.4. Ausencia de obras de contención. Aunque la zona existen obras de contención, estas han resultado insuficientes para el control de los movimientos en masa que afectaron la zona el pasado 19 de abril.

13. Elemento detonante: Saturación por lluvias.

7.4.1.6 COBERTURA VEGETAL

La cobertura vegetal en el area de estudio se relaciona con pastos, guadua y rastrojos. Los pastos se presentan principalmente sobre el sector centro norte, la guadua sobre el sector central y los rastrojos en el sur, como se muestra en las siguientes figuras:



Figura 111. **Detalle de la cobertura vegetal de pastos en el sector norte.**



Figura 112. **Cobertura vegetal de guadua y arbustos en el sector central del área.**



Figura 113. Cobertura vegetal de rastrojos en el sector sur de la zona del Sitio 3.

7.4.2 AMENAZAS NATURALES

La amenaza en la zona esta estrechamente relacionada con la fuerte inclinacion que presenta la ladera, asi como tambien con el alto grado de meteorizacion del deposito de flujo de escombros perteneciente a la Formacion Manizales, y en especial con las fuertes y prolongadas precipitaciones que frecuentemente se presentan sobre la zona.

7.4.3 VULNERABILIDAD

Los elementos expuestos en el area ante la ocurrencia de un fenómeno de movimientos en masa que se puede presentar sobre la ladera, corresponde a la viviendas localizadas en la corona y base de la misma, ademas de los habitantes de estas y toda persona que se ubique en uno de esos sitios al momento de que se presente el fenómeno.



Figura 114. Se muestran viviendas localizadas en la corona y base de la ladera, las cuales pueden resultar afectadas ante la ocurrencia de un movimiento en masa.



Figura 115. Sector sur del Sitio 3, zona de alta vulnerabilidad por la ubicación de viviendas en la corona y base de la ladera.



Figura 116. **Viviendas localizadas en la base de la ladera.**



Figura 117. **Otro ángulo de vista de las viviendas ubicadas en la base de la ladera del Sitio 3.**

7.5 SITIO 4



Figura 118. Panorámica del Sitio 4.

7.5.1 GEOLOGÍA

7.5.1.1 ESTRATIGRAFÍA

En algunos sectores se encuentra intercalada con niveles de ceniza y lapilli, bien a pobremente sorteados. El espesor es muy variable y depende del sitio de observación, sobrepasando normalmente los 50 m de potencia.

En el área de estudio el flujo de escombros se presenta altamente meteorizado, en el cual se alcanzan a observar clastos de color gris, con variedad de formas y tamaños de hasta decímetros de diámetros en mariza arcillosa de color rojo, gris y café.



Figura 119. **Detalle del flujo de escombros de la Formación Casabianca en el sitio 4.**



Figura 120. **El alto grado de meteorización del depósito de flujo de escombros de la Formación Casabianca le confiere una coloración rojiza y textura arcillosa.**



Figura 121. Otro aspecto del depósito de flujo de escombros en el área del Sitio 4, en el cual presentan coloración gris clara a habana.

7.5.1.2 FORMACIONES SUPERFICIALES

Las formaciones superficiales que constituyen el Sitio 4, se asocian con depósitos de caída piroclástica y depósito de flujo de escombros. Las cenizas son de color amarillo y café, se presentan en capas centimétricas y cubren al flujo en la parte alta del área en la geoforma de cima, en el resto de zona esta ha sido erosionada, apareciendo el flujo de escombros como formación superficial.

7.5.1.3 GEOMORFOLOGÍA

Las geoformas sobre las cuales se ubica el sitio 4 se relacionan a cima y ladera. La cima se localiza en lo alto de la zona, y esta consotuida por depositos de caida pircoclastica; la ladera constituye el area restante y se caracateriza por presentar una inclinación mayor a 30°, y está compuesta por el deposito de flujo de escombros, y afectada por varios fenómenos de movimientos en masa.



Figura 122. Panorámica del sitio 6, donde se indican las geoformas que lo constituyen.

7.5.1.4 MORFOMETRIA

En la zona de interes, se tienen dos rangos de pendientes.

- **Zonas con pendientes menores a 10° de inclinacion.** Esta categoria de pendiente se relaciona con la geoforma de cima, en el sector central del area.



Figura 123. En lo alto de la zona 4, se tienen zonas con inclinaciones menores a 10°, geoforma de cima.

- **Zonas con pendientes mayores o iguales a 30° de inclinación.** Las zonas bajo esta categoría de pendientes se asocian con la geoforma de ladera, en el area restante del area.



Figura 124. Se tienen pendientes mayores o iguales a 30°, en el geoforma de ladera.



Figura 125. Taludes con inclinaciones mayores a 30° en el sector suroccidental del área.



Figura 126. **Detalle de zonas con inclinaciones mayores o iguales a 30°, donde la pendiente es un factor desequilibrante en la estabilidad de la ladera.**

7.5.1.5 PROCESOS EROSIVOS Y DENUDATIVOS

Se presentan tres movimientos en masa en el Sitio 4, caracterizados de la siguiente manera:

- 1. Tipo:** Deslizamiento.
- 2. Subtipo:** Traslacional o planar.
- 3. Actividad:** Reactivación.
- 4. Material:** Depósito de flujo de escombros y cenizas volcánicas.
- 5. Talud:** Natural.
- 6. Grietas:** No se presentan.
- 7. Escarpe:** Principal.
- 8. Cuerpo:** Existente

9. Superficie de ruptura: Única.

10. Efectos: Terrenos y viviendas.

11. Morfometría:

Movimiento en masa sector occidental:

Amplitud: 6.0 metros.

Longitud: 2.5 metros.

Profundidad: menor a 1.0 metro.

Pendiente: Superior a 30° de inclinación.



Figura 127. Detalle del movimiento en masa en el sector occidental del Sitio 4.

Movimientos (2) en masa sector centro oriental:

Amplitud: 20.0 metros.

Longitud: 10.0 metros.

Profundidad: menor a 1.0 metro.

Pendiente: Superior a 30° de inclinación



Figura 128. Detalle del movimiento en masa en el sector central del área.

12. Causas:

12.1. Característica del material. El alto grado de meteorización de los materiales que conforman la ladera, favorecen su inestabilidad.

12.2. Alta pendiente. La alta pendiente predominante en el área, favorece el desplazamiento de los materiales en función de la gravedad.

12.3. Deficiente sistema de obras para el manejo de las aguas de escorrentía y de infiltración. Aunque existen obras para el manejo de las aguas de escorrentía y de infiltración, estas fueron insuficientes para evacuar el volumen de agua generado por la precipitación del 19 de abril de 2017.

12.4. Ausencia de obras de contención. Aunque la zona existen obras de contención, éstas han resultado insuficientes para el control de los movimientos en masa que afectaron la zona el pasado 19 de abril.

13. Elemento detonante: Saturación por lluvias.

7.5.1.6 COBERTURA VEGETAL

La cobertura vegetal en el Sitio 4, corresponde a pastos y rastrojos.



Figura 129. En el sector occidental predomina la cobertura vegetal de pastos.



Figura 130. Hacia el sector central y oriental se tienen pastos y rastrojos.

7.5.2 AMENAZAS NATURALES

En la zona del Sitio 4, la amenaza natural esta dada por la fuerte inclinación de la geofoma de ladera, la existencia de depositos inconsolidados y permeables como los de caida pircolastica, el alto grado de meteorizacion del deposito de fluijo de escombros, y las fuertes y prolongadsa precipitaciones que se dan con frecuencia sobre el área.

7.5.3 VULNERABILIDAD

Los elementos expuestos en la zona del Sitio 4, corresponden a varias viviendas que se localizan sobre la geofoma de ladera.



Figura 131. **Existe una alta vulnerabilidad en el Sitio 4, representada por la existencia de varias viviendas en la geofoma de ladera que posee fuerte inclinación.**



Figura 132. Otro ángulo de vista de la zona vulnerable en el Sitio 4.

7.6 SITIO 5



Figura 133. Panorámica del Sitio 5.

7.6.1 GEOLOGÍA

7.6.1.1 ESTRATIGRAFÍA

En el área de estudio el flujo de escombros se presenta altamente meteorizado, presentando un color rojizo, cuyos clastos difícilmente se alcanzan a apreciar.



Figura 134. Aspecto del depósito de flujo de escombros en el área del Sitio 5, en el cual su alto grado de meteorización es la principal característica.

7.6.1.2 FORMACIONES SUPERFICIALES

Las formaciones superficiales que conforman el área, se relacionan corresponden a cenizas volcánicas y depósito de flujo de escombros; las cenizas se ubican hacia la parte alta de la zona cubriendo el flujo de escombros, y este último se aprecia en la geomorfología de ladera, en donde los procesos erosivos han erosionado la capa piroclástica.

7.6.1.3 GEOMORFOLOGÍA

En el Sitio 5, se tiene una geomorfología de ladera, caracterizada por la fuerte inclinación y conformada por el depósito de flujo de escombros.



Figura 135. La geomorfología en el área del sitio 5 es una ladera de fuerte inclinación.

7.6.1.4 MORFOMETRIA

En la zona se tienen los siguientes rangos de pendientes:

- **Zonas con pendientes menores a 10° de inclinación.** Las zonas bajo este rango se ubican hacia el sector norte del area, parte alta de la geoforma de ladera.
- **Zonas con mayores o iguales a 30° de inclinación.** Se tienen zonas con pendientes mayores o iguales a 30° en el sector sur y noroccidental del área.



Figura 136. **Aspecto de la zona con pendientes mayores o iguales a 30° de inclinación.**

7.6.1.5 PROCESOS EROSIVOS Y DENUDATIVOS.

En la zona del Sitio 5, se tienen procesos denudativos de deslizamientos y cicatrices de deslizamiento.

El movimiento en masa se caracteriza de la siguiente manera:

1. **Tipo:** Deslizamiento.
2. **Subtipo:** Traslacional o planar.
3. **Actividad:** Reactivación.
4. **Material:** Deposito de flujo de escombros.
5. **Talud:** Natural.
6. **Grietas:** No se presentan.
7. **Escarpe:** Principal.
8. **Cuerpo:** Existente.
9. **Superficie de ruptura:** Única.
10. **Efectos:** Terrenos.

11. Morfometría:

Amplitud: 6.0 metros.

Longitud: 2.5 metros.

Profundidad: menor a 1.0 metro.

Pendiente: Superior a 30° de inclinación.



Figura 137. Detalle del movimiento en masa que se presenta en la parte baja del Sitio 5.

12. Causas:

12.1. Característica del material. El alto grado de meteorización de los materiales que conforman la ladera, favorecen su inestabilidad.

12.2. Alta pendiente. La alta pendiente predominante en el área, favorece el desplazamiento de los materiales en función de la gravedad.

12.3. Deficiente sistema de obras para el manejo de las aguas de escorrentía y de infiltración. En la ladera no existen obras para el manejo de las aguas de escorrentía.

12.4. Ausencia de obras de contención. No existen obras de contención para prevenir la ocurrencia de movimientos en masa.

13. Elemento detonante: Saturación por lluvias.

Cicatrices. Se tienen fenómenos de cicatrices sobre la parte media de la ladera, que denotan la ocurrencia de recientes movimientos de masa.



Figura 138. **Panorámica de las cicatrices de deslizamientos que se presentan en el Sitio 5.**

7.6.1.6 COBERTURA VEGETAL

En la zona de interés, la cobertura vegetal está representada por pastos, trompetos y palmas.



Figura 139. Los pastos es la cobertura vegetal de mayor predominio en la zona.



Figura 140. Además de los pastos se tiene trompetos y varias palmas como cobertura vegetal en el Sitio 5.

7.6.2 AMENAZAS NATURALES

En el Sitio 5 la amenaza natural esta dada por la fuerte inclinacion de la geoforma de ladera y el alto grado de meteorizacion del depostio de flujo de escombros.

7.6.3 VULNERABILIDAD

En la zona no existen elementos expuestos ante la potencial ocurrencia de un movimiento en masa.

7.7 SITIO 6



Figura 141. Panorámica del Sitio 6.

7.7.1 GEOLOGÍA

7.7.1.1 ESTRATIGRAFIA

La zona de estudio se encuentra conformada por una sola unidad, la cual corresponde a un depósito de flujo de escombros denominado Formación Casabianca, el cual está constituido por clastos de rocas ígneas embebidas en una matriz arcillosa. Se aplica este nombre para definir una secuencia de sedimentos volcanogénicos derivados, en concepto Naranjo y Borrero (1990), del eje volcánico Ruiz-Cerro Bravo y depositados sobre los flancos este y oeste de la Cordillera Central. La primera mención de este nombre se debe a Thouret 1982 (en Thouret, 1989). La mayor parte de la secuencia está conformada por gravas, pobremente sorteadas, clastos y matriz soportados, con cantos angulares y subangulares, predominantemente de composición andesítica, en menor proporción de basaltos andesíticos y dacitas, en menos del 5 % de rocas plutónicas y metamórficas.

<p>Calle 62. No. 23-61 Edificio Torre Plaza 62 Of. 904 Tel. 8813561 fax. 8813437. e-mail: quasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIOS GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDRÁULICO Y MICROZONIFICACIÓN DEL RESGO POR DESLIZAMIENTO Y DISEÑOS DE LAS OBRAS DE ESTABILIDAD PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO EN EL BARRIO PERSIA. MUNICIPIO DE MANIZALES</p>	<p>Página 173</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------

Los clastos de andesitas y dacitas principalmente, con formas angulosas y de baja esfericidad, con tamaños hasta de metros de diámetro, se presentan generalmente meteorizados, lo que da origen a coloraciones ocres, granates, rosadas y moradas; el color de la matriz varía desde amarillo a naranja. En algunos sectores se encuentra intercalada con niveles de ceniza y lapilli, bien a pobremente sorteados. El espesor es muy variable y depende del sitio de observación, sobrepasando normalmente los 50 m de potencia.

En el área de estudio el flujo de escombros se presenta altamente meteorizado, de color rojizo, cuyos clastos difícilmente se alcanzan a apreciar.



Figura 142. **El depósito de flujo de escombros que conforma la geología del Sitio 6, se presenta altamente meteorizado.**

7.7.1.2 FORMACIONES SUPERFICIALES

Las formaciones superficiales en la zona de estudio corresponden al depósito de flujo de escombros y a depósitos antròpicos. Sobre la parte media de la ladera se tiene el depósito de flujo de escombros y sobre la parte alta y baja de la misma, depósitos antròpicos, derivados de la adecuación de los terrenos vecinos para la construcción de vías peatonales y viviendas.



Figura 143. En la base de la ladera se tienen depósitos antròpicos.



Figura 144. Detalle de los depósitos antròpicos en la parte alta del Sitio 6.

7.7.1.3 GEOMORFOLOGIA

Unidades geomorfológicas. En la zona del Sitio 6, se tiene una geoforma de ladera, caracterizada por su fuerte inclinación, y estar constituida por el depósito de flujo de escombros de la Formación Casabianca.



Figura 145. Panorámica de la geoforma de ladera sobre la que se localiza el Sitio 6.

Morfometría. En el área de estudio del Sitio 6 se tienen tres rangos de pendiente.

- **Zonas con pendientes menores o iguales a 10° de inclinación.** Este rango de pendiente se localiza sobre el extremo occidental del área, parte alta de la ladera en lo que respecta a la zona de estudio. .
- **Zonas con pendientes mayores a 10° y menores a 30° de inclinación.** Las zonas bajo esta categoría se localizan en el extremo oriental del área, hacia la base de la ladera.

- **Zonas con pendientes mayores o iguales a 30° de inclinación.** Este rango se localiza sobre el sector central de área, parte media de la geoforma de ladera.

7.7.1.4 PROCESOS EROSIVOS Y DENUDATIVOS

En la zona del Sitio 6, no se presentan ningún tipo de proceso erosivo ni de tipo denudativo de importancia.

7.7.1.5 COBERTURA VEGETAL

En la zona de estudio del Sitio 6, la cobertura vegetal consiste de una mezcla de pastos y rastrojos.



Figura 146. **La cobertura vegetal del Sitio 6, corresponde a una mezcla de pastos y rastrojos.**

7.7.2 AMENAZAS NATURALES

La amenaza en la zona del Sitio 6, se define por la fuerte inclinación que presenta la mayor parte del área de la ladera (pendientes mayor a 30°), además del alto grado de meteorización del depósito de flujo de escombros que constituye la misma, todo sumado a las fuertes y prolongadas precipitaciones que se dan sobre la zona en temporada de lluvias. No existen en la ladera, obras para el manejo de las aguas de escorrentía, así como tampoco obras de contención para controlar la ocurrencia de potenciales fenómenos de movimientos en masa.

7.7.3 VULNERABILIDAD

En la ladera donde se ubica el Sitio 6, no existen elementos expuestos que resulten afectados en caso de ocurrencia de un fenómeno de movimiento en masa. Sobre la parte inferior de la ladera, por fuera de la zona 6, existen viviendas que pueden llegar a ser alcanzadas por un movimiento en masa originado en la zona; también se podría producir el taponamiento de una canal abierto en conduce las aguas de escorrentía que proceden de la parte alta del barrio Persia.

7.8 SITIO 7



Figura 147. **Panorámica del Sitio 7.**

7.8.1 GEOLOGÍA

7.8.1.1 ESTRATIGRAFÍA

La zona de estudio se encuentra conformada por una sola unidad, la cual corresponde a un depósito de flujo de escombros denominado Formación Casabianca, el cual está constituido por clastos de rocas ígneas embebidas en una matriz arcillosa. Se aplica este nombre para definir una secuencia de sedimentos volcanogénicos derivados, en concepto Naranjo y Borrero (1990), del eje volcánico Ruiz-Cerro Bravo y depositados sobre los flancos este y oeste de la Cordillera Central. La primera mención de este nombre se debe a Thouret 1982 (en Thouret, 1989). La mayor parte de la secuencia está conformada por gravas, pobremente sorteadas, clastos y matriz soportados, con cantos angulares y subangulares, predominantemente de composición andesítica, en menor proporción de basaltos andesíticos y dacitas, en menos del 5 % de rocas plutónicas y metamórficas.

<p>Calle 62. No. 23-61 Edificio Torre Plaza 62 Of. 904 Tel. 8813561 fax. 8813437. e-mail: quasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIOS GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDRÁULICO Y MICROZONIFICACIÓN DEL RESGO POR DESLIZAMIENTO Y DISEÑOS DE LAS OBRAS DE ESTABILIDAD PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO EN EL BARRIO PERSIA. MUNICIPIO DE MANIZALES</p>	<p>Página 179</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------

Los clastos de andesitas y dacitas principalmente, con formas angulosas y de baja esfericidad, con tamaños hasta de metros de diámetro, se presentan generalmente meteorizados, lo que da origen a coloraciones ocres, granates, rosadas y moradas; el color de la matriz varía desde amarillo a naranja. En algunos sectores se encuentra intercalada con niveles de ceniza y lapilli, bien a pobremente sorteados. El espesor es muy variable y depende del sitio de observación, sobrepasando normalmente los 50.0 m de potencia

En el área de estudio el flujo de escombros se extiende en toda la zona, exhibiendo una coloración en general habana, con clastos de tamaño centimétrico de variadas formas y colores, embebidos en matriz arcillosa.



Figura 148. **Detalle del flujo de escombros de la Formación Casabianca en el área del Sitio 7.**

7.8.1.2 FORMACIONES SUPERFICIALES

Las formaciones superficiales que se tienen en el área de interés se relacionan con suelos de color negro, de espesor cercano a los 50.0 centímetros, los cuales cubren el depósito de flujo de escombros.



Figura 149. Suelos de color negro conforman la formación superficial en el área del Sitio 7.

7.8.1.3 GEOMORFOLOGÍA.

La geoforma sobre la cual se localiza el Sitio 7, se relaciona con una geoforma de ladera, caracterizada por su fuerte inclinación, y constituida por un depósito de flujo de escombros, y afectada por fenómenos de movimientos en masa.



Figura 150. La zona se localiza sobre una geoforma de ladera de fuerte pendiente.

7.8.1.4 MORFOMETRIA

En el area de estudio se tiene un solo rango de pendientes, el cual corresponde a zonas con inclinaciones mayorse o iguales a 30°.



Figura 151. La ladera del Sitio 7 posee una inclinación mayor o igual a 30°.

7.8.1.5 PROCESOS EROSIVOS Y DENUDATIVOS

El Sitio 7, se encuentra afectado por un proceso denudativo de movimiento en masa, tipo deslizamiento, que se caracteriza de la siguiente manera:

1. **Tipo:** Deslizamiento.
2. **Subtipo:** Traslacional o planar.
3. **Actividad:** Reactivación.
4. **Material:** Suelos.
5. **Talud:** Natural.
6. **Grietas:** No se presentan.
7. **Escarpe:** Principal.
8. **Cuerpo:** Existente.
9. **Superficie de ruptura:** Única.
10. **Efectos:** Terrenos y viviendas.
11. **Morfometría:**

- Amplitud:** 10.0 metros.
- Longitud:** 20.0 metros.
- Profundidad:** menor a 2.0 metros.
- Pendiente:** Superior a 30° de inclinación.



Figura 152. En el Sitio 7 se tiene un movimiento en masa que genero considerables a daños en las viviendas localizadas en la parte baja de la ladera. La línea roja marca el deslizamiento

12. Causas:

12.1. Característica del material. Los materiales sobre los cuales se localizan los suelos (cenizas volcánicas y depósito de flujo de escombros), favorecen la ocurrencia de fenómenos de movimientos en masa, dado que los primeros son altamente porosos y permeables, lo que permite la saturación de los mismos; y los segundos, dado su alto grado de meteorización a arcillas, forman una capa impermeable sobre la cual se deslizan los depósitos de caída piroclástica.

12.2. Alta pendiente. La alta pendiente predominante en el área, mayor a 30° de inclinación, favorece el desplazamiento de los materiales en función de la gravedad.

12.3. Ausencia de obras para el manejo de las aguas de escorrentía y de infiltración. No existen obras para el manejo de las aguas de escorrentía en la cara del talud, lo que permite que las aguas lluvias y de escorrentía se infiltren y saturen los materiales que conforman la ladera, incrementando la presión de poros y la posibilidad deslizarse. Tampoco existen obras de drenaje de la ladera, tales como drenes subhorizontales que evacúen las aguas infiltradas.

12.4. Ausencia de obras de contención. Aunque en la zona existen obras de contención, estas resultaron insuficientes para el control de los movimientos en masa que afectaron la zona el pasado 19 de abril.

13. Elemento detonante: Saturación por lluvias.

7.8.1.6 COBERTURA VEGETAL

La cobertura vegetal que constituye la zona de estudio se relaciona con pastos y rastrojos.



Figura 153. La cobertura vegetal en el Sitio 7 se asocia con rastrojos



Figura 154. Otro aspecto de la cobertura vegetal de rastrojos en la parte baja de la ladera del Sitio 7.

7.8.2 AMENAZAS NATURALES

En la zona la amenaza esta dada principalmente por la alta pendiente que presenta la geoforma de ladera, la existencia de un movimiento en masa tipo deslizamiento, el alto grado de meteorización del depósito de flujos de escombros, la existencia de una delgada capa de suelo que facilmente se desliza sobre material arcilloso (deposito de flujo de escombros meteorizado) y finalmente las fuertes y prolongadas precipitaciones que se presentan en temporadas de lluvias sobre esta zona.

7.8.3 VULNERABILIDAD

En el area del Sitio 7, no se tiene nngun tipo de elemento expuesto frente a la ocurrencia de un movimiento en masa, pero hacia la base de la ladera, por fuera de la zona definida como Sitio 7, se tienen varias viviendas que podrían resultar afectadas por la masa desplazada. Del mismo modo hacia la corona de la ladera existe una vía (calle 49 C) y viviendas que tambien pueden ser afectadas ante la ocurrencia de un fenómeno como el indicado.

7.9 SITIO 8



Figura 155. **Panorámica del sector suroccidental del Sitio 8.**



Figura 156. **Panorámica del sector suroriental del Sitio 8.**

7.9.1 GEOLOGÍA

7.9.1.1 ESTRATIGRAFÍA

La zona de estudio se encuentra conformada por una sola unidad, la cual corresponde a un depósito de flujo de escombros denominado Formación Casabianca, el cual está constituido por clastos de rocas ígneas embebidas en una matriz arcillosa. Se aplica este nombre para definir una secuencia de sedimentos volcanogénicos derivados, en concepto Naranjo y Borrero (1990), del eje volcánico Ruiz-Cerro Bravo y depositados sobre los flancos este y oeste de la Cordillera Central. La primera mención de este nombre se debe a Thouret 1982 (en Thouret, 1989). La mayor parte de la secuencia está conformada por gravas, pobremente sorteadas, clastos y matriz soportados, con cantos angulares y subangulares, predominantemente de composición andesítica, en menor proporción de basaltos andesíticos y dacitas, en menos del 5 % de rocas plutónicas y metamórficas. Los clastos de andesitas y dacitas principalmente, con formas angulosas y de baja esfericidad, con tamaños hasta de metros de diámetro, se presentan generalmente meteorizados, lo que da origen a coloraciones ocres, granates, rosadas y moradas; el color de la matriz varía desde amarillo a naranja. En algunos sectores se encuentra intercalada con niveles de ceniza y lapilli, bien a pobremente sorteados. El espesor es muy variable y depende del sitio de observación, sobrepasando normalmente los 50.0 m de potencia.

En el área de estudio el flujo de escombros se presenta altamente meteorizado, con coloraciones rojizas y amarillas, en el cual apenas se insinúan los clastos que lo conforman, con tamaños variables de hasta decímetros de diámetro, formas angulosas y baja esfericidad.



Figura 157. En el Sitio 8, sobre su parte media se aprecia el flujo de escombros de la Formación Casabianca altamente meteorizado.

7.9.1.2 FORMACIONES SUPERFICIALES

En la zona de estudio la formaciones superficiales se relacionan con depósitos de caída piroclástica, depósito de flujo de escombros y depósitos antrópicos.

Los depósitos de caída piroclástica se localizan hacia la parte alta de la ladera, cubriendo las demas unidades, y corresponden a cenizas volcanicas de color café y amarillo, en capas de hasta 1.50 metros de espesor.



Figura 158. **Detalle de las cenizas volcánicas en el Sitio 8.**

El depósito de flujo de escombros se localiza sobre la parte media y baja de la geoforma siendo la principal formación del área y sobre la cual se depositan los depósitos volcánicos y los antrópicos.



Figura 159. **Fotografía que permite apreciar el depósito de flujo de escombros en afloramiento sobre la parte media de ladera, en la que se destaca el alto grado de meteorización del flujo, presentando una textura arcillosa.**



Se tienen depósitos antrópicos sobre el sector sur del área en límites con la ruta 30, en la base de la ladera, zona en la cual se han depositado materiales sobrantes de las excavación y construcción de dicha vía. El deposito corresponde a fragmentos de rocas de variados tamaños y formas, en matriz de arena gruesa.



Figura 160. Detalle de los depósitos antrópicos en el sector sur del área, resultantes de los sobrantes de la construcción de la ruta 30.

7.9.1.3 GEOMORFOLOGÍA

En el área de estudio la unidad geomorfológica corresponde a una ladera, caracterizada por su fuerte inclinación y constituida por depósitos de flujo de escombros de la Formación Casabianca.



Figura 161. Panorámica de la geoforma de ladera en donde se ubica el Sitio 8.



Figura 162. Panorámica del sector sur del área, donde se aprecia parte de la geoforma de ladera, caracterizada por su fuerte inclinación.

7.9.1.4 MORFOMETRIA

En el area de estudio se tienen tres rangos de pendientes, los cuales se describen a continuacion.

- **Zonas con pendientes mayores a 10° y menores a 30° de inclinacion.** Esta categoria de pendiente se ubica sobre el sector nororiental del area, parte alta de la ladera.



Figura 163. **Fotografía de zonas con pendientes entre 10 y 30° de inclinación.**

- **Zonas con pendientes mayores o iguales a 30° de inclinacion.** Este rango de pendiente es el de mayor predominio en la zona del Sitio 8, ocupando todo el sector sur, el centro y parte del norte del area.



Figura 164. Detalle de zonas con pendientes mayores a 30° de inclinación.

7.9.1.5 PROCESOS EROSIVOS Y DENUDATIVOS

En el area del Sitio 8, solo se tienen procesos erosivos, los cuales corresponden a caminos de ganado, localizados sobre el sector oriental del area, en funcion del uso pecuario en zonas de alta pendiente. Los caminos de ganado pueden evolucionar a procesos denudativos que generan inestabilidad en la ladera.



Figura 165. Se presentan fenómenos de caminos de ganado en zonas de alta pendiente en el sector nororiental del Sitio 8.



Figura 166. Zona afectada por procesos erosivos de caminos de ganado, en la cual ya se empieza a apreciar una pérdida de suelo, que la puede convertir lentamente a movimiento en masa.

7.9.1.6 COBERTURA VEGETAL

En el area de estudio se tienen coberturas vegetales relacionadas con pastos, rastrojos y bosques.



Figura 167. **Mezcla de bosques y rastrojos en el sector oriental del área.**



Figura 168. **Cobertura de bosque en el sector central, zona alta de la geoforma de ladera.**



Figura 169. Cobertura de pastos y rastrojos en el sector suroccidental de la zona.

7.9.2 AMENAZAS NATURALES

En el sitio 8 se tiene una amenaza por movimientos en masa definida por la alta pendiente de la geoforma de ladera, el alto grado de meteorización de los depositos de flujo de escombros de la Formacion Casabianca, y principalmente, por las fuertes y prolongadsa precipitaciones que con frecuencia se presentan durante las temporadas de lluvias.

7.9.3 VULNERABILIDAD

En la geoforma de la ladera donde se tiene el Sitio 8, los elementos expuestos que pueden resultar afectados por la ocurrencia de un fenómeno de movimiento en masa se relaciona con una vivienda localizada hacia el sector norte, en la parte alta de la ladera, de igual forma con la via denominada ruta 30, y varias viviendas vecinas a la zona de interes, ubicadas tambien al norte de la zona, pero por fuera de la misma.



Figura 170. La vulnerabilidad en la zona del Sitio 8 se relaciona a una vivienda ubicada sobre el sector norte de la ladera.



Figura 171. Ante la ocurrencia de un movimiento en masa en la ladera donde se localiza el Sitio 8, la vía ruta 30, así como sus usuarios entran hacer parte de los elementos expuesto ante el fenómeno.



Figura 172. También se tienen como parte de los elementos expuestos ante la potencial ocurrencia de un movimiento en masa varias viviendas localizadas hacia la corona de la ladera, así estén por fuera de la zona de estudio (Sitio 8).

8 GEOTECNIA

8.1 PROSPECCIÓN GEOTÉCNICA.

Se realizaron perforaciones manuales y semi-mecánicas en los sitios 0 (Cero) a 8 (Ocho). Una vez realizada la prospección Geotécnica en los diferentes sectores de la zona de estudio se puede determinar claramente el perfil característico. En el Anexo “**Registro de Perforaciones**” se presenta la descripción de cada sondeo. (Sitio 0: 7 sondeos; Sitio 1: 15 sondeos; Sitio 2: 12 sondeos; Sitio 3: 18 sondeos; Sitio 4: 15 sondeos; Sitio 5: 6 sondeos; Sitio 6: 10 sondeos; Sitio 7: 7 sondeos; Sitio 8: 11 sondeos).

8.1.1 DESCRIPCIÓN DE LAS PERFORACIONES SITIO 0.

- Desde el inicio de las perforaciones hasta los 2,40 metros de profundidad aproximadamente, se detecta un material de relleno de colores pardo, amarillo y negro. Estos depósitos corresponden a materiales de texturas limo arenosas de resistencia media y humedad normal.
- Superada las capas de relleno, se presentan los depósitos de caída piroclástica, formados por limos arenosos de resistencia media y humedad media, de color amarillo claro, rojizo y pardo claro. Su espesor varía desde los 2.0 m hasta los 9.0 m aproximadamente, presentándose los mayores espesores hacia las zonas donde la pendiente es más baja.

- Infrayaciendo los materiales anteriores se presentan los depósitos de suelos residuales correlacionables con la formación Casabianca, corresponde a limos arcillosos de alta plasticidad, de colores gris claro, amarillo claro y rojizo. Este material presenta espesores superiores a 20.0 m, su resistencia es media a alta y su humedad es media.

El nivel de las aguas freáticas no se detectó en las perforaciones.

8.1.2 DESCRIPCIÓN DE LAS PERFORACIONES SITIO 1.

- Desde el inicio de las perforaciones hasta los 4,0 metros de profundidad aproximadamente, se detecta un material de relleno. Estos depósitos corresponden a materiales de texturas limo arenosas de resistencia media y humedad normal.
- Infrayaciendo los materiales de lleno, se presentan los depósitos de suelos residuales correlacionables con la formación Casabianca, corresponde a limos arcillosos de alta plasticidad, de colores gris claro, amarillo claro, amarillo oscuro y rojizo. Este material presenta espesores superiores a 20.0 m, su resistencia es media a alta y su humedad es media.

El nivel de las aguas freáticas no se detectó en las perforaciones.

8.1.3 DESCRIPCIÓN DE LAS PERFORACIONES SITIO 2.

- Desde el inicio de las perforaciones hasta los 2,0 metros de profundidad aproximadamente, se detecta un material de relleno de colores amarillo claro y amarillo oscuro con presencia de escombros y algunas rocas. Estos depósitos corresponden a materiales de texturas limo arenosas de resistencia media y humedad media.
- Superada las capas de relleno, se presentan los depósitos de caída piroclástica, formados por limos arenosos de resistencia media y humedad media, de color amarillo claro, rojizo y pardo claro. Su espesor varía desde los 0.30 m hasta los 2.0 m aproximadamente, presentándose los mayores espesores hacia las zonas donde la pendiente es más baja.
- Infrayaciendo los materiales anteriores se presentan los depósitos de suelos residuales correlacionables con la formación Casabianca, corresponde a limos arcillosos de alta y baja plasticidad, de colores amarillo claro y oscuro. Este material presenta espesores superiores a 20.0 m, su resistencia es media a alta y su humedad es media.

El nivel de las aguas freáticas se detectó en las perforaciones a una profundidad de 2,0 m aproximadamente.

8.1.4 DESCRIPCIÓN DE LAS PERFORACIONES SITIO 3.

- Desde el inicio de las perforaciones hasta los 4,0 metros de profundidad aproximadamente, se detecta un material de relleno de colores amarillo claro, amarillo oscuro y gris amarillento. Estos depósitos corresponden a materiales de texturas limo arenosas de resistencia media y humedad media.
- Infrayaciendo los materiales anteriores se presentan los depósitos de suelos residuales correlacionables con la formación Casabianca, corresponde a limos arcillosos de alta y baja plasticidad, de colores amarillo claro y oscuro. Este material presenta espesores superiores a 20.0 m, su resistencia es media a alta y su humedad es media.

El nivel de las aguas freáticas no se detectó en las perforaciones

8.1.5 DESCRIPCIÓN DE LAS PERFORACIONES SITIO 4.

- Desde el inicio de las perforaciones hasta los 3,0 metros de profundidad aproximadamente, se detecta un material de relleno de colores amarillo oscuro, gris con amarillo, amarillo claro y amarillo con rojizo. Estos depósitos corresponden a materiales de texturas limo arenosas de resistencia media y humedad media.
- Superada las capas de relleno, se presentan los depósitos de caída piroclástica, formados por limos arenosos de resistencia media y humedad media, de color amarillo claro, amarillo oscuro y amarillo encendido. Su espesor varía desde los 1.40 m hasta los 5.0 m aproximadamente.

- Infrayaciendo los materiales anteriores se presentan los depósitos de suelos residuales correlacionables con la formación Casabianca, corresponde a limos arcillosos de alta y baja plasticidad, de colores amarillo con gris, amarillo oscuro, amarillo claro y rojizo. Este material presenta espesores superiores a 20.0 m, su resistencia es media a alta y su humedad es media.

El nivel de las aguas freáticas no se detectó en las perforaciones.

8.1.6 DESCRIPCIÓN DE LAS PERFORACIONES SITIO 5.

- Desde el inicio de las perforaciones hasta los 2,80 metros de profundidad aproximadamente, se detecta un material de relleno de colores amarillo oscuro. Estos depósitos corresponden a materiales de texturas limo arenosas de resistencia media a baja y humedad media.
- Infrayaciendo los materiales anteriores se presentan los depósitos de suelos residuales correlacionables con la formación Casabianca, corresponde a limos arcillosos de alta y baja plasticidad, de colores gris claro, rojizo, amarillo encendido, amarillo claro, amarillo oscuro. Este material presenta espesores superiores a 20.0 m, su resistencia es media a alta y su humedad es media.

El nivel de las aguas freáticas no se detectó en las perforaciones.

8.1.7 DESCRIPCIÓN DE LAS PERFORACIONES SITIO 6.

- Desde el inicio de las perforaciones hasta los 2.30 metros de profundidad aproximadamente, se detecta un material de relleno de colores pardo amarillento, amarillo oscuro y pardo claro con presencia de escombros y algunas rocas. Estos depósitos corresponden a materiales de texturas limo arenosas de resistencia media y humedad media.
- Infrayaciendo los materiales anteriores se presentan los depósitos de suelos residuales correlacionables con la formación Casabianca, corresponde a limos arcillosos de alta y baja plasticidad, de colores amarillo pardo claro, amarillo oscuro, rojizo y gris verdoso. Este material presenta espesores superiores a 20.0 m, su resistencia es media a alta y su humedad es media.

El nivel de las aguas freáticas se detectó en las perforaciones a una profundidad de 2.30 m, aproximadamente.

8.1.8 DESCRIPCIÓN DE LAS PERFORACIONES SITIO 7.

- Desde el inicio de las perforaciones hasta los 3,30 metros de profundidad aproximadamente, se detecta un material de relleno de colores amarillo oscuro, pardo oscuro y amarillo claro. Estos depósitos corresponden a materiales de texturas limo arenosas de resistencia media y humedad media.

- Superada las capas de relleno, se presentan los depósitos de caída piroclástica, formados por limos arenosos de resistencia media y humedad media, de colores pardos claros, pardos oscuros, amarillo oscuro y amarillo claro. Su espesor varía desde los 0.7 m hasta los 4.0 m aproximadamente.
- Infrayaciendo los materiales anteriores se presentan los depósitos de suelos residuales correlacionables con la formación Casabianca, corresponde a limos arcillosos de alta y baja plasticidad, de colores amarillo claro, amarillo oscuro, pardo oscuro. Este material presenta espesores superiores a 20.0 m, su resistencia es media a alta y su humedad es media.

El nivel de las aguas freáticas no se detectó en las perforaciones.

8.1.9 DESCRIPCIÓN DE LAS PERFORACIONES SITIO 8.

- Desde el inicio de las perforaciones hasta los 4.0 metros de profundidad aproximadamente, se detecta un material de relleno de colores pardo oscuro, gris claro, negro, pardo claro, pardo amarillento y rojizo. Estos depósitos corresponden a materiales de texturas limo arenosas de resistencia media y humedad media.
- Superada las capas de relleno, se presentan los depósitos de caída piroclástica, formados por limos arenosos de resistencia media y humedad media, de colores gris claro, pardo amarillento, pardo oscuro, amarillo claro. Su espesor varía desde los 0.8 m hasta los 5.3 m aproximadamente.



- Infrayaciendo los materiales anteriores se presentan los depósitos de suelos residuales correlacionables con la formación Casabianca, corresponde a limos arcillosos de alta y baja plasticidad, de colores amarillo claro, gris amarillento, amarillo oscuro, pardo oscuro y rojizo claro. Este material presenta espesores superiores a 20.0 m, su resistencia es media a alta y su humedad es media.

El nivel de las aguas freáticas se detectó en las perforaciones a una profundidad promedio de 3.8 m aproximadamente.

8.2 PERFIL TÍPICO DEL SUELO

8.2.1 PERFIL TÍPICO SITIO 0

Capa de relleno limo arenoso, de color amarillo, pardo y negro; su espesor va hasta aproximadamente los 2.40 m, presenta una resistencia media y una humedad normal.

Depósito de caída piroclástica, espesor variable entre 2.0 m y 9.0 m, presenta un color amarillo claro, rojizo y pardo claro, de textura limo arenosa, presenta una resistencia media y una humedad media.

Depósito de suelo residual de la formación Casabianca, presenta una coloración gris claro, amarillo claro y rojizo, de textura limo arcillosa, posee una resistencia media a alta y una humedad media, con espesores de hasta 20.0 m.



Figura 173. **Perfil estratigráfico característico Sitio 0.**

8.2.2 PERFIL TÍPICO SITIO 1

Capa de relleno limo arenoso, de color amarillo, pardo y negro; su espesor va hasta aproximadamente los 4.0 m, presenta una resistencia media y una humedad normal.

Depósito de suelo residual de la formación Casabianca, presenta una coloración gris claro, amarillo claro y oscuro, y color rojizo, de textura limo arcillosa, posee una resistencia media a alta y una humedad media, con espesores de hasta 20.0 m.



Figura 174. **Perfil estratigráfico característico Sitio 1.**

8.2.3 PERFIL TÍPICO SITIO 2

Capa de relleno limo arenoso, de color amarillo claro y oscuro con presencia de escombros y material rocoso; su espesor va hasta aproximadamente los 2.0 m, presenta una resistencia media y una humedad media.

Depósito de caída piroclástica, espesor variable entre 0.3 m y 2.0 m, presenta un color amarillo claro, rojizo y pardo claro, de textura limo arenosa, presenta una resistencia media y una humedad media.

Depósito de suelo residual de la formación Casabianca, presenta una coloración amarillo claro y oscuro, de textura limo arcillosa, posee una resistencia media a alta y una humedad media, con espesores de hasta 20.0 m.



Figura 175. **Perfil estratigráfico característico Sitio 2.**

8.2.4 PERFIL TÍPICO SITIO 3

Capa de relleno limo arenoso, de amarillo claro y oscuro, y gris amarillento; su espesor va hasta aproximadamente los 4.0 m, presenta una resistencia media y una humedad media.

Depósito de suelo residual de la formación Casabianca, presenta una coloración gris claro, amarillo claro y rojizo, de textura limo arcillosa, posee una resistencia media a alta y una humedad media, con espesores de hasta 20.0 m.



Figura 176. **Perfil estratigráfico característico Sitio 3.**

8.2.5 PERFIL TÍPICO SITIO 4

Capa de relleno limo arenoso, de color amarillo oscuro, claro, rojizo y grisáceo; su espesor va hasta aproximadamente los 3.0 m, presenta una resistencia media y una humedad media.

Depósito de caída piroclástica, espesor variable entre 1.40 m y 5.0 m, presenta un color amarillo claro, oscuro y de tonalidad encendida, de textura limo arenosa, presenta una resistencia media y una humedad media.

Depósito de suelo residual de la formación Casabianca, presenta una coloración amarillo oscuro, claro, rojizo y grisáceo, de textura limo arcillosa, posee una resistencia media a alta y una humedad media, con espesores de hasta 20.0 m.



Figura 177. **Perfil estratigráfico característico Sitio 4.**

8.2.6 PERFIL TÍPICO SITIO 5

Capa de relleno limo arenoso, de color amarillo oscuro; su espesor va hasta aproximadamente los 2.80 m, presenta una resistencia media a baja y una humedad media.

Depósito de suelo residual de la formación Casabianca, presenta una coloración gris claro, rojizo, amarillo claro, oscuro y encendido, de textura limo arcillosa, posee una resistencia media a alta y una humedad media, con espesores de hasta 20.0 m.



Figura 178. **Perfil estratigráfico característico Sitio 5.**

8.2.7 PERFIL TÍPICO SITIO 6

Capa de relleno limo arenoso, de color pardo claro y amarillento, y amarillo oscuro con presencia de escombros; su espesor va hasta aproximadamente los 2.30 m, presenta una resistencia media y una humedad media.

Depósito de suelo residual de la formación Casabianca, presenta una coloración amarillo pardo claro, amarillo oscuro, rojizo y gris verdoso, de textura limo arcillosa, posee una resistencia media a alta y una humedad media, con espesores de hasta 20.0 m.



Figura 179. **Perfil estratigráfico característico Sitio 6.**

8.2.8 PERFIL TÍPICO SITIO 7

Capa de relleno limo arenoso, de color amarillo oscuro y claro, y pardo oscuro; su espesor va hasta aproximadamente los 3.30 m, presenta una resistencia media y una humedad media.

Depósito de caída piroclástica, espesor variable entre 0.7 m y 4.0 m, presenta un color pardo y amarillo, ambos con tonalidades claras y oscuras; de textura limo arenosa, presenta una resistencia media y una humedad media.

Depósito de suelo residual de la formación Casabianca, presenta una coloración amarillo claro y oscuro, y pardo oscuro; de textura limo arcillosa, posee una resistencia media a alta y una humedad media, con espesores de hasta 20.0 m.



Figura 180. **Perfil estratigráfico característico Sitio 7.**

8.2.9 PERFIL TÍPICO SITIO 8

Capa de relleno limo arenoso, de color pardo claro, oscuro y amarillento, gris claro, negro y rojizo; su espesor va hasta aproximadamente los 4.0 m, presenta una resistencia media y una humedad media.

Depósito de caída piroclástica, espesor variable entre 0.8 m y 5.3 m, presenta un color gris claro, amarillo claro y pardo amarillento y oscuro; de textura limo arenosa, presenta una resistencia media y una humedad media.

Depósito de suelo residual de la formación Casabianca, presenta una coloración amarillo claro y oscuro, gris amarillento, pardo oscuro y rojizo claro; de textura limo arcillosa, posee una resistencia media a alta y una humedad media, con espesores de hasta 20.0 m.



Figura 181. **Perfil estratigráfico característico Sitio 8.**

8.3 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS MATERIALES.

De las perforaciones se extrajeron muestras en tubos de pared delgada y bolsa de los estratos significativos para ser ensayadas en laboratorio. Los ensayos realizados fueron:

Propiedades físicas:

Humedad Natural

Peso Unitario:

- Húmedo
- Seco

Clasificación:

- Granulometría por lavado (pasante Tamiz # 200)
- Límites de Atterberg

Propiedades Mecánicas:

- Resistencia a la Compresión Inconfinada

A continuación se hace una descripción de cada uno de los valores de las propiedades encontrados en los depósitos de suelos a lo largo de los diferentes puntos analizadas. En el Anexo **“Ensayos de laboratorio”** se presentan los resultados de los ensayos de las muestras tomadas en campo. Estas muestras se tomaron de algunos puntos de interés geotécnico con el fin de conocer las propiedades geotécnicas a lo largo del fenómeno de remoción en masa.

8.3.1 SITIO 0

8.3.1.1 DEPÓSITOS DE RELLENO SITIO 0

8.3.1.1.1 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 de Casagrande. Por tal motivo es necesaria la determinación de los Límites de Atterberg y la realización de Granulometrías por Lavado.

- Los depósitos de relleno 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).
- El color predominante en los materiales de relleno, es el pardo, amarillo y negro.
- La humedad natural promedio es de 52.53% para los depósitos de relleno.

8.3.1.1.2 Límite líquido:

Las muestras ensayadas presentan un valor promedio de 65.68% para los suelos de relleno.

8.3.1.1.3 Índice de plasticidad:

Presenta valores promedio de 25.15% para los limos de alta plasticidad que conforman los llenos.

8.3.1.1.4 Pesos unitarios:

Para los materiales de lleno, el peso unitario húmedo promedio es de 1.683 ton/m³, para pesos unitarios secos el valor promedio es de 1.123 ton/m³.

8.3.1.1.5 Resistencia a la compresión inconfiada:

El valor promedio de la resistencia a la compresión inconfiada es de 9.80 ton/m² para los materiales de lleno.

8.3.1.1.6 Angulo de fricción:

De acuerdo a los ensayos de corte directo en condiciones U.U., para los materiales de lleno, su valor promedio es de 21.34°; por medio de correlaciones con el índice de plasticidad, se tiene un valor promedio de 30.02°.

8.3.1.1.7 Cohesión:

El valor obtenido a partir del ensayo de corte directo presenta un valor promedio de 1.50 ton/m². Por medio de correlaciones con la resistencia a la compresión inconfiada se tiene un valor promedio de 4.90 Ton/m².

Tabla 7. Propiedades mecánicas. Depósitos de Relleno. Sitio 0.

Sondeo	Profundidad	Tipo	PUH (Ton/m ³)	PUS (Ton/m ³)	Qu (Ton/m ²)	W (%)	c (Ton/m ²)	Ángulo fricción (e)	LI (%)	Lp (%)	Ip (%)	Tamiz 200 (%)	USCS
S1-SH1	-2,00	RELLENO	1,729			63,90	1,50	21,34	75,30	47,90	27,40	83,30	MH
S2-SH1	-1,00	RELLENO	1,623	1,05	8,4	54,70			71,10	43,20	27,90	87,70	MH
S2-SH3	-9,50	RELLENO	1,747	1,165	16,0	50,00			66,60	36,60	30,00	85,50	MH
S7-SH1	-2,00	RELLENO	1,633	1,154	5,0	41,50			49,70	34,40	15,30	61,10	ML
PROMEDIO			1,683	1,123	9,8	52,525	1,50	21,34	65,68	40,53	25,15	79,40	MH
MÁXIMO			1,747	1,165	16,0	63,90	1,50	21,34	75,30	47,90	30,00	87,70	
MÍNIMO			1,623	1,050	5,0	41,50	1,50	21,34	49,70	34,40	15,30	61,10	

8.3.1.2 DEPÓSITOS DE CAÍDA PIROCLÁSTICA SITIO 0

8.3.1.2.1 Clasificación de suelos:

- Los suelos de caída piroclástica de esta zona presentan una textura limo arenosa, lo que hace que se clasifican en la carta de Casagrande como limos de alta plasticidad (MH).
- Los colores predominantes en los materiales de caída piroclástica son el amarillo claro, rojizo y pardo claro.
- La humedad natural promedio es de 77.80% para los depósitos de caída piroclástica.

8.3.1.2.2 Límite líquido:

Las muestras ensayadas presentan un valor promedio de 97.10% para los depósitos de caída piroclástica.

8.3.1.2.3 Índice de plasticidad:

Presenta valores promedio de 42.64% para los limos de alta plasticidad que conforman las cenizas.

8.3.1.2.4 Pesos unitarios:

Para los depósitos de caída piroclástica, el peso unitario húmedo promedio es de 1.592 ton/m³, para pesos unitarios secos el valor promedio es de 0.693 Ton/m³.

8.3.1.2.5 Resistencia a la compresión inconfiada:

El valor promedio de la resistencia a la compresión inconfiada es de 8.50 Ton/m².

8.3.1.2.6 Angulo de fricción:

De acuerdo a los ensayos de corte directo en condiciones U.U., para los materiales de caída piroclástica, su valor promedio es de 22.81°. Por medio de correlaciones con el índice de plasticidad del material, se determina un valor promedio de 26.97°.

8.3.1.2.7 Cohesión:

El valor obtenido a partir del ensayo de corte directo presenta un valor promedio de 5.967 ton/m². Por medio de correlaciones con la resistencia a la compresión inconfiada se tiene un valor promedio de 4.25 Ton/m².

Tabla 8. Propiedades mecánicas. Depósitos de Caída Piroclástica. Sitio 0.

Sondeo	Profundidad	Tipo	PUH (Ton/m ³)	PUS (Ton/m ³)	Qu (Ton/m ²)	W (%)	c (Ton/m ²)	Ángulo fricción (°)	LI (%)	Lp (%)	Ip (%)	Tamiz 200 (%)	USCS
S1-SH2	-3,00	CENIZA	1,318	0,501	3,60	163,20	1,80		197,70	83,90	95,80	96,60	MH
S2-SH2	-4,00	CENIZA	1,732			61,00	6,20	20,26	73,50	39,90	33,60	93,60	MH
S3-SH1	-2,20	CENIZA	1,861			42,30	8,30	19,80	62,50	35,50	27,00	87,70	MH
S4-SH1	-2,50	CENIZA	1,513			48,60	3,40	28,37	60,00	39,50	20,50	60,30	MH
S5-SH1	-4,00	CENIZA	1,537	0,884	13,40	73,90	6,70		91,80	55,50	36,30	91,00	MH
PROMEDIO			1,592	0,693	8,500	77,800	5,280	22,810	97,100	50,860	42,640	85,840	MH
MAXIMO			1,861	0,884	13,400	163,200	8,300	28,370	197,700	83,900	95,800	96,600	
MINIMO			1,318	0,501	3,600	42,300	1,800	19,800	60,000	35,500	20,500	60,300	

8.3.1.3 DEPÓSITOS DE SUELO NATURAL SITIO 0

8.3.1.3.1 Clasificación de suelos:

- Los depósitos de suelo natural en la zona, presentan una textura limo arenosa, lo que hace que se clasifican en la carta de Casagrande como limos de alta plasticidad (MH).
- El color predominante en estos depósitos de suelo es el gris claro, amarillo claro y rojizo.
- La humedad natural promedio es de 44.63% para los depósitos de suelo natural.

8.3.1.3.2 Límite líquido:

Las muestras ensayadas presentan un valor promedio de 63.30% para los depósitos de suelo natural.

8.3.1.3.3 Índice de plasticidad:

Presenta valores promedio de 26.66% para los limos de alta plasticidad que conforman los suelos naturales.

8.3.1.3.4 Pesos unitarios:

Para los materiales naturales, el peso unitario húmedo promedio es de 1.758 ton/m³, para pesos unitarios secos el valor promedio es de 1.218 ton/m³.

8.3.1.3.5 Resistencia a la compresión inconfiada:

El valor promedio de la resistencia a la compresión inconfiada es de 13.64 ton/m² para los materiales naturales.

8.3.1.3.6 Angulo de fricción:

De acuerdo con las correlaciones con el índice plástico existentes en la literatura, se tiene un valor promedio de 29.83°.

8.3.1.3.7 Cohesión:

El valor promedio obtenido a partir de correlaciones existentes en la literatura con la resistencia a la compresión inconfiada es de 6.82 ton/m².

Tabla 9. Propiedades mecánicas. Depósitos de Suelo Residual. Sitio 0.

Sondeo	Profundidad	Tipo	PUH (Ton/m ³)	PUS (Ton/m ³)	Qu (Ton/m ²)	W (%)	c (Ton/m ²)	Ángulo fricción (°)
S1-SH3	-10,00	RESIDUAL	1,801	1,163	12,90	54,80	6,45	
S3-SH2	-8,00	RESIDUAL	1,837	1,351	12,70	36,00	6,35	
S4-SH2	-5,00	RESIDUAL	1,825	1,266	12,50	44,10	6,25	
S5-SH2	-7,00	RESIDUAL	1,791	1,312	23,30	36,50	11,65	
S6-SH1	-7,00	RESIDUAL	1,619	1,133	6,50	42,90	3,25	
S6-SH2	-10,00	RESIDUAL	1,722	1,148	16,20	50,00	8,10	
S7-SH2	-9,00	RESIDUAL	1,708	1,153	11,40	48,10	5,70	
PROMEDIO			1,758	1,218	13,643	44,629	6,821	
MAXIMO			1,837	1,351	23,300	54,800		
MINIMO			1,619	1,133	6,500	36,000		

8.3.2 SITIO 1

8.3.2.1 DEPÓSITOS DE RELLENO SITIO 1

8.3.2.1.1 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 de Casagrande. Por tal motivo es necesaria la determinación de los Límites de Atterberg y la realización de Granulometrías por Lavado.

- Los depósitos de relleno 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).
- El color predominante en los materiales de relleno, es el pardo, amarillo y negro.
- La humedad natural promedio es de 50.63% para los depósitos de relleno.

8.3.2.1.2 Límite líquido:

Las muestras ensayadas presentan un valor promedio de 67.03% para los suelos de relleno.

Calle 62. No. 23-61 Edificio Torre Plaza 62 Of. 904 Tel. 8813561 fax. 8813437. e-mail: quasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas	ESTUDIOS GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDRÁULICO Y MICROZONIFICACIÓN DEL RESGO POR DESLIZAMIENTO Y DISEÑOS DE LAS OBRAS DE ESTABILIDAD PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO EN LA MARGEN DERECHA DE LA QUEBRADA LAS CAMELIAS. MUNICIPIO DE MANIZALES	Página 228
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------

8.3.2.1.3 Índice de plasticidad:

Presenta valores promedio de 29.47% para los limos de alta plasticidad que conforman los llenos.

8.3.2.1.4 Pesos unitarios:

Para los materiales de lleno, el peso unitario húmedo promedio es de 1.767 ton/m³, para pesos unitarios secos el valor promedio es de 1.175 ton/m³.

8.3.2.1.5 Resistencia a la compresión inconfiada:

El valor promedio de la resistencia a la compresión inconfiada es de 10.20 ton/m² para los materiales de lleno.

8.3.2.1.6 Angulo de fricción:

De acuerdo a las correlaciones con el índice de plasticidad, se tiene un valor promedio de 29.25°.

8.3.2.1.7 Cohesión:

El valor obtenido a partir de correlaciones con la resistencia a la compresión inconfiada se tiene un valor promedio de 5.1 Ton/m².

Tabla 10. Propiedades mecánicas. Depósitos de Relleno. Sitio 1.

Sondeo	Profundidad	Tipo	PUH (Ton/m ³)	PUS (Ton/m ³)	Qu (Ton/m ²)	W (%)	c (Ton/m ²)	Ángulo fricción (°)	LI (%)	Lp (%)	Ip (%)	Tamiz 200 (%)	USCS
S5-SH1	-3,50	RELLENO	1,742	1,109	10,40	57,10			73,40	39,60	33,80	90,90	MH
S6-SH1	-3,80	RELLENO	1,751	1,174	11,90	49,20			68,00	37,00	31,00	94,40	MH
S16-SH1	-2,80	RELLENO	1,807	1,241	8,30	45,60			59,70	36,10	23,60	93,00	MH
PROMEDIO			1,767	1,175	10,200	50,633			67,033	37,567	29,467	92,767	MH
MAXIMO			1,807	1,241	11,900	57,100			73,400	39,600	33,800	94,400	
MINIMO			1,742	1,109	8,300	45,600			59,700	36,100	23,600	90,900	

8.3.2.2 DEPÓSITOS DE SUELO NATURAL SITIO 1

8.3.2.2.1 Clasificación de suelos:

- Los depósitos de suelo natural en la zona, presentan una textura limo arenosa, lo que hace que se clasifican en la carta de Casagrande como limos de alta plasticidad (MH).
- El color predominante en estos depósitos de suelo es el gris claro, amarillo claro, oscuro y rojizo.
- La humedad natural promedio es de 48.60% para los depósitos de suelo natural.

8.3.2.2.2 Límite líquido:

Las muestras ensayadas presentan un valor promedio de 66.57% para los depósitos de suelo natural.

8.3.2.2.3 Índice de plasticidad:

Presenta valores promedio de 28.08% para los limos de alta plasticidad que conforman los suelos naturales.

8.3.2.2.4 Pesos unitarios:

Para los materiales naturales, el peso unitario húmedo promedio es de 1.736 ton/m³, para pesos unitarios secos el valor promedio es de 1.180 ton/m³.

8.3.2.2.5 Resistencia a la compresión inconfiada:

El valor promedio de la resistencia a la compresión inconfiada es de 16.82 ton/m² para los materiales naturales.

8.3.2.2.6 Angulo de fricción:

De acuerdo a los ensayos de corte directo en condiciones U.U., para los materiales de caída piroclástica, su valor promedio es de 23.45°. Por medio de correlaciones con el índice plástico del material, se tiene un valor promedio de 29.44°.

8.3.2.2.7 Cohesión:

El valor obtenido a partir del ensayo de corte directo presenta un valor promedio de 4.03 ton/m². Por medio de correlaciones con la resistencia a la compresión inconfiada se tiene un valor promedio de 8.41 Ton/m².

Tabla 11. Propiedades mecánicas. Depósitos de Suelo Residual. Sitio 1.

Sondeo	Profundidad	Tipo	PUH (Ton/m ³)	PUS (Ton/m ³)	Qu (Ton/m ²)	W (%)	c (Ton/m ²)	Ángulo fricción (°)	LI (%)	Lp (%)	Ip (%)	Tamiz 200 (%)	USCS
S1-SH1	-3,50	RESIDUAL	1,731	1,186	37,80	46,00			74,60	42,20	32,40	84,30	MH
S2-SH1	-4,00	RESIDUAL	1,552			72,70	6,20	17,74	93,70	53,60	40,10	96,60	MH
S3-SH1	-3,80	RESIDUAL	1,745	1,132	10,90	54,20			70,70	38,80	31,90	94,00	MH
S4-SH1	-3,00	RESIDUAL	1,738	1,186	20,40	46,60			62,80	35,50	27,30	86,80	MH
S7-SH1	-3,70	RESIDUAL	1,661	1,13	18,20	47,00			68,00	42,90	25,10	92,20	MH
S8-SH1	-4,00	RESIDUAL	1,731	1,196	18,30	44,70			66,70	34,60	32,10	91,30	MH
S9-SH1	-3,80	RESIDUAL	1,728	1,175	13,30	47,10			69,50	38,20	31,30	88,80	MH
S10-SH1	-2,80	RESIDUAL	1,801	1,246	8,50	44,60			63,40	35,20	28,20	84,70	MH
S11-SH1	-2,80	RESIDUAL	1,854			34,00	3,00	31,80	42,80	31,60	11,20	53,90	ML
S12-SH1	-2,80	RESIDUAL	1,761			49,00	2,90	20,80	54,30	35,20	19,10	85,50	MH
S13-SH1	-2,40	RESIDUAL	1,768	1,186	12,00	49,00			63,50	36,60	26,90	86,60	MH
S14-SH1	-3,00	RESIDUAL	1,759	1,186	12,00	48,30			68,80	37,50	31,30	90,60	MH
PROMEDIO			1,736	1,180	16,822	48,600	4,033	23,447	66,567	38,492	28,075	86,275	MH
MAXIMO			1,854	1,246	37,800	72,700	6,200	31,800	93,700	53,600	40,100	96,600	
MINIMO			1,552	1,130	8,500	34,000	2,900	17,740	42,800	31,600	11,200	53,900	

8.3.3 SITIO 2

8.3.3.1 DEPÓSITOS DE SUELO NATURAL SITIO 2

8.3.3.1.1 Clasificación de suelos:

- Los depósitos de suelo natural en la zona, presentan una textura limo arenosa, lo que hace que se clasifican en la carta de Casagrande como limos de alta plasticidad (MH).
- El color predominante en estos depósitos de suelo es el amarillo claro y oscuro.
- La humedad natural promedio es de 50.11% para los depósitos de suelo natural.

8.3.3.1.2 Límite líquido:

Las muestras ensayadas presentan un valor promedio de 67.62% para los depósitos de suelo natural.

8.3.3.1.3 Índice de plasticidad:

Presenta valores promedio de 26.46% para los limos de alta plasticidad que conforman los suelos naturales.

8.3.3.1.4 Pesos unitarios:

Para los materiales naturales, el peso unitario húmedo promedio es de 1.584 ton/m³, para pesos unitarios secos el valor promedio es de 1.052 ton/m³.

8.3.3.1.5 Resistencia a la compresión inconfiada:

El valor promedio de la resistencia a la compresión inconfiada es de 13.96 ton/m² para los materiales naturales.

8.3.3.1.6 Angulo de fricción:

De acuerdo a los ensayos de corte directo en condiciones U.U., para los materiales naturales, su valor promedio es de 25.63°. Por medio de correlaciones con el índice plástico del material, se tiene un valor promedio de 29.83°.

8.3.3.1.7 Cohesión:

El valor obtenido a partir del ensayo de corte directo presenta un valor promedio de 6.0 ton/m². Por medio de correlaciones con la resistencia a la compresión inconfiada se tiene un valor promedio de 6.98 Ton/m².

Tabla 12. Propiedades mecánicas. Depósitos de Suelo Residual. Sitio 2.

Sondeo	Profundidad	Tipo	PUH (Ton/m ³)	PUS (Ton/m ³)	Qu (Ton/m ²)	W (%)	c (Ton/m ²)	Ángulo fricción (º)	LI (%)	Lp (%)	Ip (%)
S2-SH1	-3,50	RESIDUAL	1,785	1,190	17,90	50,00			72,80	40,10	32,80
S3-SH1	-3,00	RESIDUAL	1,580	1,012	11,80	56,10			65,90	39,00	27,00
S4-SH1	-3,00	RESIDUAL	1,619	1,055	12,40	53,50			78,70	47,70	31,10
S5-SH1	-2,50	RESIDUAL	1,528	0,966	15,50	58,10			79,90	49,00	31,00
S6-SH1	-3,00	RESIDUAL	1,469			50,00	4,80	24,70	73,70	39,90	33,80
S7-SH1	-2,80	RESIDUAL	1,613	1,058	13,30	52,50			66,40	39,90	26,50
S8-SH2	-3,00	RESIDUAL	1,545	1,142	12,10	35,30			46,80	33,90	12,90
S9-SH1	-3,60	RESIDUAL	1,620			37,10	7,20	26,56	45,90	33,60	12,30
S10-SH1	-3,00	RESIDUAL	1,488	0,947	16,90	57,10			74,30	45,60	28,80
S11-SH1	-4,30	RESIDUAL	1,589	1,049	11,80	51,40			71,80	43,40	28,40
PROMEDIO			1,584	1,052	13,963	50,110	6,000	25,630	67,620	41,210	26,460
MAXIMO			1,785	1,190	17,900	58,100	7,200	26,560	79,900	49,000	33,800
MINIMO			1,469	0,947	11,800	35,300	4,800	24,700	45,900	33,600	12,300

8.3.4 SITIO 3

8.3.4.1 DEPÓSITOS DE RELLENO SITIO 3

8.3.4.1.1 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 de Casagrande. Por tal motivo es necesaria la determinación de los Límites de Atterberg y la realización de Granulometrías por Lavado.

- Los depósitos de relleno 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).
- El color predominante en los materiales de relleno, es el amarillo claro, oscuro y grisáceo.
- La humedad natural promedio es de 40.98% para los depósitos de relleno.

8.3.4.1.2 Límite líquido:

Las muestras ensayadas presentan un valor promedio de 52.73% para los suelos de relleno.

8.3.4.1.3 Índice de plasticidad:

Presenta valores promedio de 18.05% para los limos de alta plasticidad que conforman los llenos.

8.3.4.1.4 Pesos unitarios:

Para los materiales de lleno, el peso unitario húmedo promedio es de 1.677 ton/m³, para pesos unitarios secos el valor promedio es de 1.191 ton/m³.

8.3.4.1.5 Resistencia a la compresión confinada:

El valor promedio de la resistencia a la compresión confinada es de 6.55 ton/m² para los materiales de lleno.

8.3.4.1.6 Angulo de fricción:

De acuerdo a las correlaciones con el índice de plasticidad, se tiene un valor promedio de 31.47°.

8.3.4.1.7 Cohesión:

El valor obtenido a partir de correlaciones con la resistencia a la compresión confinada se tiene un valor promedio de 3.28 Ton/m².

Tabla 13. Propiedades mecánicas. Depósitos de Relleno. Sitio 3.

Sondeo	Profundidad	Tipo	PUH (Ton/m ³)	PUS (Ton/m ³)	Qu (Ton/m ²)	W (%)	c (Ton/m ²)	Ángulo fricción (°)	LI (%)	Lp (%)	Ip (%)	Tamiz 200 (%)	USCS
S6-SH1	-2,60	RELLENO	1,660	1,150	5,60	44,40			57,80	38,70	19,10	59,60	MH
S7-SH1	-3,00	RELLENO	1,623	1,136	5,60	42,90			51,70	34,20	17,50	60,50	MH
S9-SH1	-2,00	RELLENO	1,621	1,164	4,90	39,30			48,70	32,60	16,10	63,30	MH
S13-SH1	-3,00	RELLENO	1,803	1,313	10,10	37,30			52,70	33,30	19,50	60,60	MH
PROMEDIO			1,677	1,191	6,550	40,975			52,725	34,700	18,050	61,000	MH
MAXIMO			1,803	1,313	10,100	44,400			57,800	38,700	19,500	63,300	
MINIMO			1,621	1,136	4,900	37,300			48,700	32,600	16,100	59,600	

8.3.4.2 DEPÓSITOS DE SUELO NATURAL SITIO 3

8.3.4.2.1 Clasificación de suelos:

- Los depósitos de suelo natural en la zona, presentan una textura limo arenosa, lo que hace que se clasifican en la carta de Casagrande como limos de alta plasticidad (MH).
- El color predominante en estos depósitos de suelo es el amarillo claro y oscuro.
- La humedad natural promedio es de 51.03% para los depósitos de suelo natural.

8.3.4.2.2 Límite líquido:

Las muestras ensayadas presentan un valor promedio de 66.93% para los depósitos de suelo natural.

8.3.4.2.3 Índice de plasticidad:

Presenta valores promedio de 25.94% para los limos de alta plasticidad que conforman los suelos naturales.

8.3.4.2.4 Pesos unitarios:

Para los materiales naturales, el peso unitario húmedo promedio es de 1.663 ton/m³, para pesos unitarios secos el valor promedio es de 1.106 ton/m³.

8.3.4.2.5 Resistencia a la compresión inconfiada:

El valor promedio de la resistencia a la compresión inconfiada es de 16.04 ton/m² para los materiales naturales.

8.3.4.2.6 Angulo de fricción:

De acuerdo a los ensayos de corte directo en condiciones U.U., para los materiales de caída piroclástica, su valor promedio es de 27.88°. Por medio de correlaciones con el índice plástico del material, se tiene un valor promedio de 30.02°.

8.3.4.2.7 Cohesión:

El valor obtenido a partir del ensayo de corte directo presenta un valor promedio de 5.90 ton/m². Por medio de correlaciones con la resistencia a la compresión inconfiada se tiene un valor promedio de 8.02 Ton/m².

Tabla 14. Propiedades mecánicas. Depósitos de Suelo Residual. Sitio 3.

Sondeo	Profundidad	Tipo	PUH (Ton/m ³)	PUS (Ton/m ³)	Qu (Ton/m ²)	W (%)	c (Ton/m ²)	Ángulo fricción (°)	LI (%)	Lp (%)	Ip (%)	Tamiz 200 (%)	USCS
S2-SH1	-1,50	RESIDUAL	1,848			51,70	3,90	28,77	64,80	39,40	25,50	74,90	MH
S3-SH1	-2,00	RESIDUAL	1,704	1,214	9,90	40,40			51,00	32,30	18,80	70,50	MH
S5-SH1	-2,50	RESIDUAL	1,642			63,40	7,90	26,99	74,60	48,20	26,50	87,70	MH
S8-SH2	-3,70	RESIDUAL	1,705	1,101	31,80	54,80			79,60	47,70	32,00	84,10	MH
S10-SH1	-2,50	RESIDUAL	1,700	1,144	22,80	48,60			70,10	39,90	30,20	88,80	MH
S11-SH1	-3,00	RESIDUAL	1,728	1,244	27,20	38,90			51,70	34,60	17,10	70,60	MH
S12-SH1	-2,50	RESIDUAL	1,539	0,913	16,00	68,60			89,40	53,00	36,50	86,60	MH
S14-SH1	-2,40	RESIDUAL	1,604	0,953	6,60	68,30			82,20	49,50	32,80	81,10	MH
S15-SH1	-4,50	RESIDUAL	1,517	1,080	11,00	40,40			59,20	36,30	22,90	74,40	MH
S16-SH1	-3,20	RESIDUAL	1,648	1,148	13,70	43,60			59,90	36,20	23,70	79,10	MH
S17-SH1	-4,00	RESIDUAL	1,654	1,160	5,40	42,60			53,70	34,40	19,30	68,80	MH
PROMEDIO			1,663	1,106	16,044	51,027	5,900	27,880	66,927	41,045	25,936	78,782	MH
MAXIMO			1,848	1,244	31,800	68,600	7,900	28,770	89,400	53,000	36,500	88,800	
MINIMO			1,517	0,913	5,400	38,900	3,900	26,990	51,000	32,300	17,100	68,800	

8.3.5 SITIO 4

8.3.5.1 DEPÓSITOS DE CAÍDA PIROCLÁSTICA SITIO 4

8.3.5.1.1 Clasificación de suelos:

- Los suelos de caída piroclástica de esta zona presentan una textura limo arenosa, lo que hace que se clasifican en la carta de Casagrande como limos de alta plasticidad (MH).
- Los colores predominantes en los materiales de caída piroclástica son el amarillo claro, oscuro y encendido.
- La humedad natural promedio es de 47.73% para los depósitos de caída piroclástica.

8.3.5.1.2 Límite líquido:

Las muestras ensayadas presentan un valor promedio de 64.20% para los depósitos de caída piroclástica.

8.3.5.1.3 Índice de plasticidad:

Presenta valores promedio de 25.43% para los limos de alta plasticidad que conforman las cenizas.

8.3.5.1.4 Pesos unitarios:

Para los depósitos de caída piroclástica, el peso unitario húmedo promedio es de 1.620 ton/m³, para pesos unitarios secos el valor promedio es de 1.073 Ton/m³.

8.3.5.1.5 Resistencia a la compresión inconfiada:

El valor promedio de la resistencia a la compresión inconfiada es de 8.85 Ton/m².

8.3.5.1.6 Angulo de fricción:

De acuerdo a los ensayos de corte directo en condiciones U.U., para los materiales de caída piroclástica, su valor promedio es de 32.62°. Por medio de correlaciones con el índice de plasticidad del material, se determina un valor promedio de 30.02°.

8.3.5.1.7 Cohesión:

El valor obtenido a partir del ensayo de corte directo presenta un valor promedio de 6.10 ton/m². Por medio de correlaciones con la resistencia a la compresión inconfiada se tiene un valor promedio de 4.43 Ton/m².

Tabla 15. Propiedades mecánicas. Depósitos de Caída Piroclástica. Sitio 4.

Sondeo	Profundidad	Tipo	PUH (Ton/m ³)	PUS (Ton/m ³)	Qu (Ton/m ²)	W (%)	c (Ton/m ²)	Ángulo fricción (°)	LI (%)	Lp (%)	Ip (%)	Tamiz 200 (%)	USCS
S4-SH1	-2,70	CENIZA	1,683			46,90	6,10	32,62	67,30	39,10	28,20	72,20	MH
S8-SH2	-3,40	CENIZA	1,622	1,096	10,70	48,00			64,30	39,50	24,80	70,60	MH
S10-SH1	-3,70	CENIZA	1,555	1,049	7,00	48,30			61,00	37,70	23,30	68,60	MH
PROMEDIO			1,620	1,073	8,850	47,733	6,100	32,620	64,200	38,767	25,433	70,467	MH
MAXIMO			1,683	1,096	10,700	48,300	6,100	32,620	67,300	39,500	28,200	72,200	
MINIMO			1,555	1,049	7,000	46,900	6,100	32,620	61,000	37,700	23,300	68,600	

8.3.5.2 DEPÓSITOS DE SUELO NATURAL SITIO 4

8.3.5.2.1 Clasificación de suelos:

- Los depósitos de suelo natural en la zona, presentan una textura limo arenosa, lo que hace que se clasifican en la carta de Casagrande como limos de alta y baja plasticidad (MH-ML).
- El color predominante en estos depósitos de suelo es el amarillo claro, oscuro, grisáceo y rojizo.
- La humedad natural promedio es de 41.07% para los depósitos de suelo natural.

8.3.5.2.2 Límite líquido:

Las muestras ensayadas presentan un valor promedio de 53.18% para los depósitos de suelo natural.

8.3.5.2.3 Índice de plasticidad:

Presenta valores promedio de 18.99% para los limos de alta plasticidad que conforman los suelos naturales.

8.3.5.2.4 Pesos unitarios:

Para los materiales naturales, el peso unitario húmedo promedio es de 1.768 ton/m³, para pesos unitarios secos el valor promedio es de 1.250 ton/m³.

8.3.5.2.5 Resistencia a la compresión inconfiada:

El valor promedio de la resistencia a la compresión inconfiada es de 11.44 ton/m² para los materiales naturales.

8.3.5.2.6 Angulo de fricción:

De acuerdo a los ensayos de corte directo en condiciones U.U., para los materiales naturales, su valor promedio es de 28.80°. Por medio de correlaciones con el índice plástico del material, se tiene un valor promedio de 31.47°.

8.3.5.2.7 Cohesión:

El valor obtenido a partir del ensayo de corte directo presenta un valor promedio de 4.1 ton/m². Por medio de correlaciones con la resistencia a la compresión inconfiada se tiene un valor promedio de 5.72 Ton/m².

Tabla 16. Propiedades mecánicas. Depósitos de Suelo Residual. Sitio 4.

Sondeo	Profundidad	Tipo	PUH (Ton/m ³)	PUS (Ton/m ³)	Qu (Ton/m ²)	W (%)	c (Ton/m ²)	Ángulo fricción (°)	LI (%)	Lp (%)	Ip (%)	Tamiz 200 (%)	USCS
S2-SH1	-5,50	RESIDUAL	1,667	1,097	9,60	51,90			64,30	37,40	26,90	82,10	MH
S3-SH1	-4,50	RESIDUAL	1,803			29,30	5,00	30,11	38,60	28,80	9,80	64,40	ML
S5-SH1	-5,00	RESIDUAL	1,762	1,196	11,20	47,40			65,20	38,00	27,20	79,60	MH
S6-SH1	-3,50	RESIDUAL	1,697			43,80	3,20	27,48	59,30	36,90	22,40	75,30	MH
S7-SH1	-3,50	RESIDUAL	1,828	1,345	16,70	35,90			48,60	32,00	16,60	62,20	ML
S9-SH1	-3,80	RESIDUAL	1,711	1,267	6,00	35,00			43,70	31,30	12,40	66,60	ML
S11-SH1	-4,00	RESIDUAL	1,840	1,275	8,10	44,30			53,70	35,50	18,20	61,50	MH
S13-SH1	-4,50	RESIDUAL	1,769	1,244	14,00	42,20			49,70	33,90	15,80	55,50	ML
S14-SH1	-4,00	RESIDUAL	1,794	1,371	16,00	30,90			41,70	29,30	12,40	51,60	ML
S15-SH1	-3,00	RESIDUAL	1,805	1,204	9,90	50,00			67,00	38,80	28,20	81,00	MH
PROMEDIO			1,768	1,250	11,438	41,070	4,100	28,795	53,180	34,190	18,990	67,980	MH-ML
MAXIMO			1,840	1,371	16,700	51,900	5,000	30,110	67,000	38,800	28,200	82,100	
MINIMO			1,667	1,097	6,000	29,300	3,200	27,480	38,600	28,800	9,800	51,600	

8.3.6 SITIO 5

8.3.6.1 DEPÓSITOS DE SUELO NATURAL SITIO 5

8.3.6.1.1 Clasificación de suelos:

- Los depósitos de suelo natural en la zona, presentan una textura limo arenosa, lo que hace que se clasifican en la carta de Casagrande como limos de alta plasticidad (MH).
- El color predominante en estos depósitos de suelo es el amarillo claro, oscuro y encendido, el gris claro y el rojizo.
- La humedad natural promedio es de 48.48% para los depósitos de suelo natural.

8.3.6.1.2 Límite líquido:

Las muestras ensayadas presentan un valor promedio de 66.30% para los depósitos de suelo natural.

8.3.6.1.3 Índice de plasticidad:

Presenta valores promedio de 31.22% para los limos de alta plasticidad que conforman los suelos naturales.

8.3.6.1.4 Pesos unitarios:

Para los materiales naturales, el peso unitario húmedo promedio es de 1.707 ton/m³, para pesos unitarios secos el valor promedio es de 1.155 ton/m³.

8.3.6.1.5 Resistencia a la compresión inconfiada:

El valor promedio de la resistencia a la compresión inconfiada es de 15.88 ton/m² para los materiales naturales.

8.3.6.1.6 Angulo de fricción:

De acuerdo a los ensayos de corte directo en condiciones U.U., para los materiales naturales, su valor promedio es de 21.88°. Por medio de correlaciones con el índice plástico del material, se tiene un valor promedio de 28.81°.

8.3.6.1.7 Cohesión:

El valor obtenido a partir del ensayo de corte directo presenta un valor promedio de 3.50 ton/m². Por medio de correlaciones con la resistencia a la compresión inconfiada se tiene un valor promedio de 7.94 Ton/m².

Tabla 17. Propiedades mecánicas. Depósitos de Suelo Residual. Sitio 5.

Sondeo	Profundidad	Tipo	PUH (Ton/m ³)	PUS (Ton/m ³)	Qu (Ton/m ²)	W (%)	c (Ton/m ²)	Ángulo fricción (°)	LI (%)	Lp (%)	Ip (%)	Tamiz 200 (%)	USCS
S2-SH1	-5,00	RESIDUAL	1,714	1,127	17,50	52,10			67,00	35,20	31,80	97,50	MH
S3-SH1	-4,00	RESIDUAL	1,709			51,20	3,50	21,80	71,00	38,80	32,20	96,60	MH
S4-SH1	-4,50	RESIDUAL	1,700	1,155	11,00	47,20			64,00	33,10	30,90	91,60	MH
S5-SH1	-5,00	RESIDUAL	1,711	1,185	15,80	44,40			63,20	33,30	29,90	90,10	MH
S6-SH1	-3,50	RESIDUAL	1,701	1,153	19,20	47,50			66,30	35,00	31,30	92,20	MH
PROMEDIO			1,707	1,155	15,875	48,480	3,500	21,800	66,300	35,080	31,220	93,600	MH
MAXIMO			1,714	1,185	19,200	52,100	3,500	21,800	71,000	38,800	32,200	97,500	
MINIMO			1,700	1,127	11,000	44,400	3,500	21,800	63,200	33,100	29,900	90,100	

8.3.7 SITIO 6

8.3.7.1 DEPÓSITOS DE SUELO NATURAL SITIO 6

8.3.7.1.1 Clasificación de suelos:

- Los depósitos de suelo natural en la zona, presentan una textura limo arenosa, lo que hace que se clasifican en la carta de Casagrande como limos de alta plasticidad (MH).
- El color predominante en estos depósitos de suelo es el amarillo oscuro y amarillo pardo claro, rojizo y gris verdoso.
- La humedad natural promedio es de 59.12% para los depósitos de suelo natural.

8.3.7.1.2 Límite líquido:

Las muestras ensayadas presentan un valor promedio de 78.32% para los depósitos de suelo natural.

8.3.7.1.3 Índice de plasticidad:

Presenta valores promedio de 33.66% para los limos de alta plasticidad que conforman los suelos naturales.

8.3.7.1.4 Pesos unitarios:

Para los materiales naturales, el peso unitario húmedo promedio es de 1.661 ton/m³, para pesos unitarios secos el valor promedio es de 1.055 ton/m³.

8.3.7.1.5 Resistencia a la compresión inconfiada:

El valor promedio de la resistencia a la compresión inconfiada es de 13.45 ton/m² para los materiales naturales.

8.3.7.1.6 Angulo de fricción:

De acuerdo a los ensayos de corte directo en condiciones U.U., para los materiales naturales, su valor promedio es de 18.78°. Por medio de correlaciones con el índice plástico del material, se tiene un valor promedio de 28.51°.

8.3.7.1.7 Cohesión:

El valor obtenido a partir del ensayo de corte directo presenta un valor promedio de 6.0 ton/m². Por medio de correlaciones con la resistencia a la compresión inconfiada se tiene un valor promedio de 6.73 Ton/m².

Tabla 18. Propiedades mecánicas. Depósitos de Suelo Residual. Sitio 6.

Sondeo	Profundidad	Tipo	PUH (Ton/m ³)	PUS (Ton/m ³)	Qu (Ton/m ²)	W (%)	c (Ton/m ²)	Ángulo fricción (°)	LI (%)	Lp (%)	Ip (%)	Tamiz 200 (%)	USCS
S3-SH1	-2,50	RESIDUAL	1,714	1,129	11,60	51,90			67,90	37,00	30,90	88,70	MH
S6-SH1	-2,50	RESIDUAL	1,706	1,055	14,90	61,80			80,00	45,50	34,50	89,90	MH
S8-SH1	-3,80	RESIDUAL	1,683			66,70	6,00	18,78	81,60	48,70	32,90	96,60	MH
S9-SH1	-4,00	RESIDUAL	1,617	0,984	11,90	64,40			84,60	49,90	34,70	94,00	MH
S10-SH1	-3,50	RESIDUAL	1,586	1,052	15,40	50,80			77,50	42,20	35,30	84,40	MH
PROMEDIO			1,661	1,055	13,450	59,120	6,000	18,780	78,320	44,660	33,660	90,720	MH
MÁXIMO			1,714	1,129	15,400	66,700	6,000	18,780	84,600	49,900	35,300	96,600	
MÍNIMO			1,586	0,984	11,600	50,800	6,000	18,780	67,900	37,000	30,900	84,400	

8.3.8 SITIO 7

8.3.8.1 DEPÓSITOS DE SUELO NATURAL SITIO 7

8.3.8.1.1 Clasificación de suelos:

- Los depósitos de suelo natural en la zona, presentan una textura limo arenosa, lo que hace que se clasifican en la carta de Casagrande como limos de alta plasticidad (MH).
- El color predominante en estos depósitos de suelo es el amarillo claro y oscuro, y el pardo oscuro.
- La humedad natural promedio es de 48.08% para los depósitos de suelo natural.

8.3.8.1.2 Límite líquido:

Las muestras ensayadas presentan un valor promedio de 64.90% para los depósitos de suelo natural.

8.3.8.1.3 Índice de plasticidad:

Presenta valores promedio de 27.15% para los limos de alta plasticidad que conforman los suelos naturales.

8.3.8.1.4 Pesos unitarios:

Para los materiales naturales, el peso unitario húmedo promedio es de 1.640 ton/m³, para pesos unitarios secos el valor promedio es de 1.145 ton/m³.

8.3.8.1.5 Resistencia a la compresión inconfiada:

El valor promedio de la resistencia a la compresión inconfiada es de 10.95 ton/m² para los materiales naturales.

8.3.8.1.6 Angulo de fricción:

De acuerdo a los ensayos de corte directo en condiciones U.U., para los materiales naturales, su valor promedio es de 26.23°. Por medio de correlaciones con el índice plástico del material, se tiene un valor promedio de 29.63°.

°.

8.3.8.1.7 Cohesión:

El valor obtenido a partir del ensayo de corte directo presenta un valor promedio de 4.0 ton/m². Por medio de correlaciones con la resistencia a la compresión inconfiada se tiene un valor promedio de 5.48 Ton/m².

Tabla 19. Propiedades mecánicas. Depósitos de Suelo Residual. Sitio 7.

Sondeo	Profundidad	Tipo	PUH (Ton/m ³)	PUS (Ton/m ³)	Qu (Ton/m ²)	W (%)	c (Ton/m ²)	Ángulo fricción (°)	LI (%)	Lp (%)	Ip (%)	Tamiz 200 (%)	USCS
S4-SH1	-3,00	RESIDUAL	1,644	1,121	10,20	46,70			63,70	36,20	27,50	82,90	MH
S5-SH1	-2,80	RESIDUAL	1,702	1,168	11,70	45,70			66,30	38,00	28,30	87,70	MH
S6-SH1	-3,00	RESIDUAL	1,643			47,10	5,90	25,40	68,60	37,90	30,70	90,20	MH
S7-SH1	-4,00	RESIDUAL	1,569			52,80	2,1	27,06	61,00	38,90	22,10	84,40	MH
PROMEDIO			1,640	1,145	10,950	48,075	4,000	26,230	64,900	37,750	27,150	86,300	MH
MAXIMO			1,702	1,168	11,700	52,800	5,900	27,060	68,600	38,900	30,700	90,200	
MINIMO			1,569	1,121	10,200	45,700	2,100	25,400	61,000	36,200	22,100	82,900	

8.3.9 SITIO 8

8.3.9.1 DEPÓSITOS DE RELLENO SITIO 8

8.3.9.1.1 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 de Casagrande. Por tal motivo es necesaria la determinación de los Límites de Atterberg y la realización de Granulometrías por Lavado.

- Los depósitos de relleno 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).
- El color predominante en los materiales de relleno es el pardo con tonalidades claras, oscuras y amarillentas; gris claro, negras y rojizas.
- La humedad natural promedio es de 43.75% para los depósitos de relleno.

8.3.9.1.2 Límite líquido:

Las muestras ensayadas presentan un valor promedio de 51.45% para los suelos de relleno.

8.3.9.1.3 Índice de plasticidad:

Presenta valores promedio de 15.15% para los limos de alta plasticidad que conforman los llenos.

8.3.9.1.4 Pesos unitarios:

Para los materiales de lleno, el peso unitario húmedo promedio es de 1.692 ton/m³, para pesos unitarios secos el valor promedio es de 1.179 ton/m³.

8.3.9.1.5 Resistencia a la compresión inconfiada:

El valor promedio de la resistencia a la compresión inconfiada es de 3.45 ton/m² para los materiales de lleno.

8.3.9.1.6 Angulo de fricción:

Por medio de correlaciones con el índice de plasticidad, se tiene un valor promedio de 32.12°.

8.3.9.1.7 Cohesión:

Por medio de correlaciones con la resistencia a la compresión inconfiada se tiene un valor promedio de 1.73 Ton/m².

Tabla 20. Propiedades mecánicas. Depósitos de Relleno. Sitio 8.

Sondeo	Profundidad	Tipo	PUH (Ton/m ³)	PUS (Ton/m ³)	Qu (Ton/m ²)	W (%)	c (Ton/m ²)	Ángulo fricción (°)	LI (%)	Lp (%)	lp (%)	Tamiz 200 (%)	USCS
S1-SH1	-2,0	RELLENO	1,695	1,136	1,900	49,2			52,9	39,3	13,6	74,3	MH
S4-SH1	-3,0	RELLENO	1,689	1,221	5,000	38,3			50,0	33,3	16,7	76,9	ML
PROMEDIO			1,692	1,179	3,450	43,750			51,450	36,300	15,150	75,600	MH
MÁXIMO			1,695	1,221	5,000	49,200			52,900	39,300	16,700	76,900	
MÍNIMO			1,689	1,136	1,900	38,300			50,000	33,300	13,600	74,300	

8.3.9.2 DEPÓSITOS DE CAÍDA PIROCLÁSTICA SITIO 8

8.3.9.2.1 Clasificación de suelos:

- Los suelos de caída piroclástica de esta zona presentan una textura limo arenosa, lo que hace que se clasifican en la carta de Casagrande como limos de alta plasticidad (MH).
- Los colores predominantes en los materiales de caída piroclástica son el gris claro, pardo amarillento y oscuro, amarillo claro.
- La humedad natural promedio es de 42.10% para los depósitos de caída piroclástica.

8.3.9.2.2 Límite líquido:

Las muestras ensayadas presentan un valor promedio de 49.70% para los depósitos de caída piroclástica.

8.3.9.2.3 Índice de plasticidad:

Presenta valores promedio de 13.63% para los limos de alta plasticidad que conforman las cenizas.

8.3.9.2.4 Pesos unitarios:

Para los depósitos de caída piroclástica, el peso unitario húmedo promedio es de 1.605 ton/m³, para pesos unitarios secos el valor promedio es de 1.133 Ton/m³.

8.3.9.2.5 Resistencia a la compresión inconfiada:

El valor promedio de la resistencia a la compresión inconfiada es de 4.80 Ton/m².

8.3.9.2.6 Angulo de fricción:

Por medio de correlaciones con el índice de plasticidad del material, se determina un valor promedio de 32.57°.

8.3.9.2.7 Cohesión:

Por medio de correlaciones con la resistencia a la compresión inconfiada se tiene un valor promedio de 2.40 Ton/m².

Tabla 21. Propiedades mecánicas. Depósitos de Caída Piroclástica. Sitio 8.

Sondeo	Profundidad	Tipo	PUH (Ton/m ³)	PUS (Ton/m ³)	Qu (Ton/m ²)	W (%)	c (Ton/m ²)	Ángulo fricción (°)	LI (%)	Lp (%)	Ip (%)	Tamiz 200 (%)	USCS
S10-SH1	-5,0	CENIZA	1,559	1,184	3,400	31,7			36,6	31,9	4,7	35,5	SM
S11-SH1	-6,0	CENIZA	1,650	1,082	6,200	52,5			62,8	40,3	22,6	77,7	MH
PROMEDIO			1,605	1,133	4,800	42,100			49,700	36,075	13,625	56,600	SM-MH
MAXIMO			1,650	1,184	6,200	52,500			62,800	40,250	22,550	77,700	
MINIMO			1,559	1,082	3,400	31,700			36,600	31,900	4,700	35,500	

8.3.9.3 DEPÓSITOS DE SUELO NATURAL SITIO 8

8.3.9.3.1 Clasificación de suelos:

- Los depósitos de suelo natural en la zona, presentan una textura limo arenosa, lo que hace que se clasifican en la carta de Casagrande como limos de alta plasticidad (MH).
- El color predominante en estos depósitos de suelo es el amarillo claro y oscuro, gris amarillento, pardo oscuro y rojizo claro.
- La humedad natural promedio es de 50.30% para los depósitos de suelo natural.

8.3.9.3.2 Límite líquido:

Las muestras ensayadas presentan un valor promedio de 60.0% para los depósitos de suelo natural.

8.3.9.3.3 Índice de plasticidad:

Presenta valores promedio de 22.35% para los limos de alta plasticidad que conforman los suelos naturales.

8.3.9.3.4 Pesos unitarios:

Para los materiales naturales, el peso unitario húmedo promedio es de 1.746 ton/m³, para pesos unitarios secos el valor promedio es de 1.164 ton/m³.

8.3.9.3.5 Resistencia a la compresión inconfiada:

El valor promedio de la resistencia a la compresión inconfiada es de 6.50 ton/m² para los materiales naturales.

8.3.9.3.6 Angulo de fricción:

De acuerdo con las correlaciones con el índice plástico existentes en la literatura, se tiene un valor promedio de 30.63°.

8.3.9.3.7 Cohesión:

El valor promedio obtenido a partir de correlaciones existentes en la literatura con la resistencia a la compresión inconfiada es de 3.25 ton/m².

Tabla 22. Propiedades mecánicas. Depósitos de Suelo Residual. Sitio 8.

Sondeo	Profundidad	Tipo	PUH (Ton/m ³)	PUS (Ton/m ³)	Qu (Ton/m ²)	W (%)	c (Ton/m ²)	Ángulo fricción (°)	LI (%)	Lp (%)	Ip (%)	Tamiz 200 (%)	USCS
S5-SH1	-4,5	RESIDUAL	1,802	1,135	5,600	58,8			67,7	37,8	29,9	84,4	MH
S6-SH1	-5,5	RESIDUAL	1,705	1,118	4,100	52,5			54,6	38,8	15,8	87,7	MH
S7-SH1	-3,0	RESIDUAL	1,729	1,239	9,800	39,6			57,7	36,4	21,4	84,4	MH
PROMEDIO			1,746	1,164	6,500	50,300			60,000	37,650	22,350	85,500	MH
MAXIMO			1,802	1,239	9,800	58,800			67,700	38,800	29,900	87,700	
MINIMO			1,705	1,118	4,100	39,600			54,600	36,350	15,800	84,400	



Figura 182. Sondeos realizados en el Sitio 0.



Figura 183. Sondeos realizados en el Sitio 1.



Figura 184. Sondeos realizados en el Sitio 2.



Figura 185. Sondeos realizados en el Sitio 3.



Figura 186. Sondeos realizados en el Sitio 4.



Figura 187. Sondeos realizados en el Sitio 5.



Figura 188. Sondeos realizados en el Sitio 6.

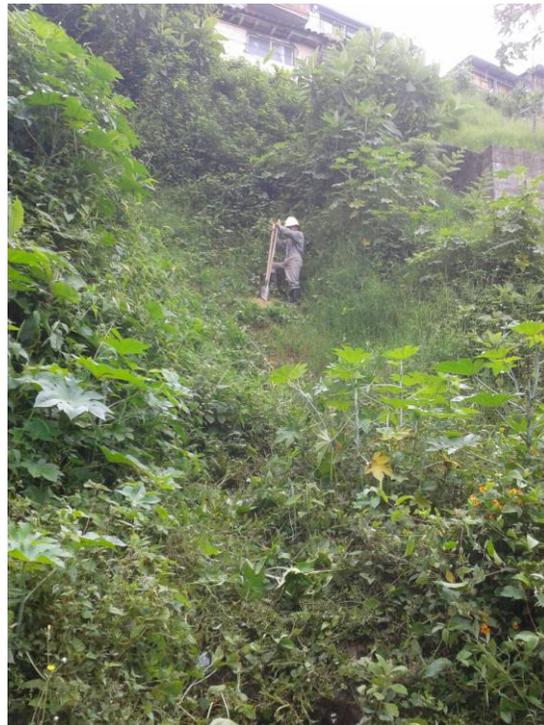


Figura 189. Sondeos realizados en el Sitio 7.



Figura 190. **Sondeos realizados en el Sitio 8.**

8.4 ENSAYOS GEOFÍSICOS

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.

La exploración consistió en la ejecución de líneas de Refracción Sísmica con medición de velocidad de onda compresional y 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:

<p>Calle 62. No. 23-61 Edificio Torre Plaza 62 Of. 904 Tel. 8813561 fax. 8813437. e-mail: quasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIOS GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDRÁULICO Y MICROZONIFICACIÓN DEL RESGO POR DESLIZAMIENTO Y DISEÑOS DE LAS OBRAS DE ESTABILIDAD PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO EN EL BARRIO PERSIA. MUNICIPIO DE MANIZALES</p>	<p>Página 271</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------

- 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.
- Establecer correlaciones geomecánicas con el número de golpes N del ensayo SPT.
- Conocer la clasificación sísmica del suelo.

8.4.1 EQUIPOS EMPLEADOS.

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

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.

Figura 191. **Equipo adquisición de datos sísmicos LRS 1.**



Figura 192. **Equipo adquisición de datos sísmicos LRS 3 y 4.**





Figura 193. **Equipo adquisición de datos sísmicos LRS 5.**



Figura 194. **Equipo adquisición de datos sísmicos LRS 6.**



Figura 195. **Equipo adquisición de datos sísmicos LRS 7.**



Figura 196. **Equipo adquisición de datos sísmicos LRS 8.**



Figura 197. **Equipo adquisición de datos sísmicos LRS 9.**

8.4.2 INTERPRETACIÓN SÍSMICA.

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 2012 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 cinco 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.

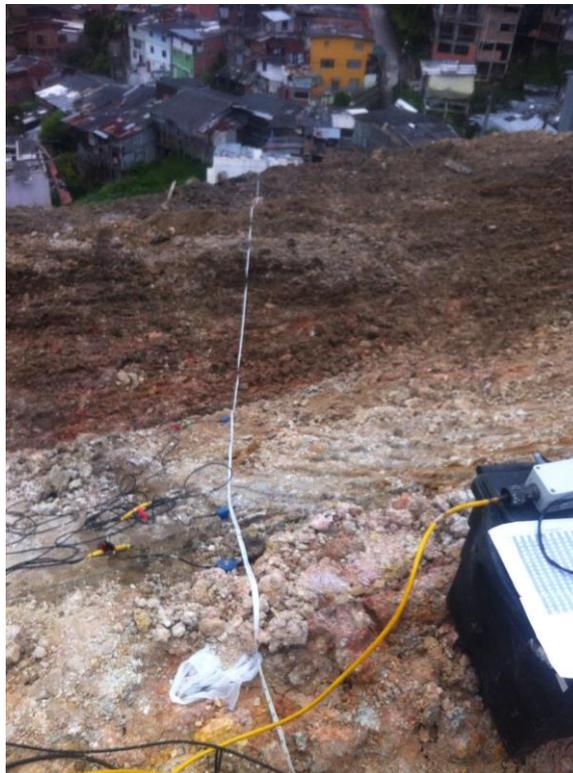


Figura 198. **Ensayo de refracción sísmica LRS 1**



Figura 199. **Ensayo de refracción sísmica LRS 3**



Figura 200. **Ensayo de refracción sísmica LRS 4**



Figura 201. **Ensayo de refracción sísmica LRS 5**



Figura 202. **Ensayo de refracción sísmica LRS 6**



Figura 203. **Ensayo de refracción sísmica LRS 7**



Figura 204. **Ensayo de refracción sísmica LRS 8**



Figura 205. **Ensayo de refracción sísmica LRS 9**

La longitud de la línea tiene una relación directa con la profundidad de investigación. 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 50 metros aproximadamente.

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.

8.4.3 INTERPRETACIÓN CON MODELO SIMPLIFICADO.

El modelo simplificado es un modelo sencillo, general, de dos a cuatro capas que muestra los conjuntos principales de capas del subsuelo, caracterizados por su velocidad compresional (P) y sus espesores. En este proyecto en particular la interpretación consiste en dos conjuntos de capas.

La interpretación general de toda la zona consiste en un modelo del subsuelo compuesto por dos conjunto principales de estratos de la siguiente manera:

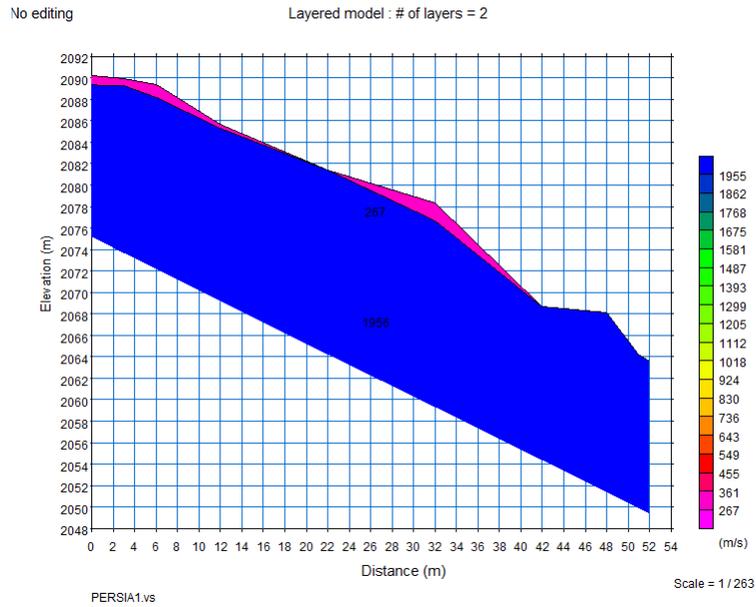


Figura 206. Perfil sísmico compuesto por la línea sísmica LRS-1.

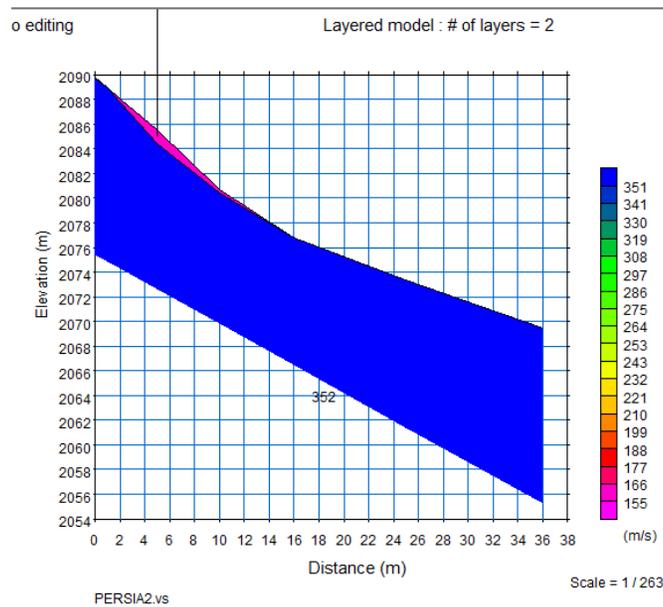


Figura 207. Perfil sísmico compuesto por la línea sísmica LRS-2.

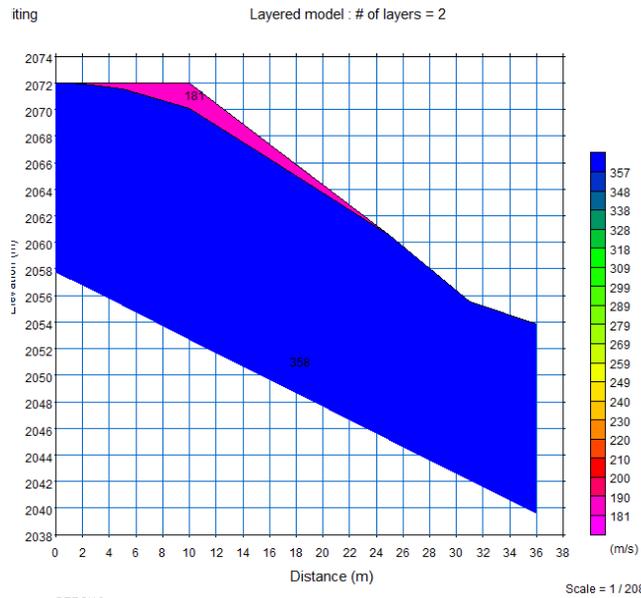


Figura 208. Perfil sísmico compuesto por la línea sísmica LRS-3.

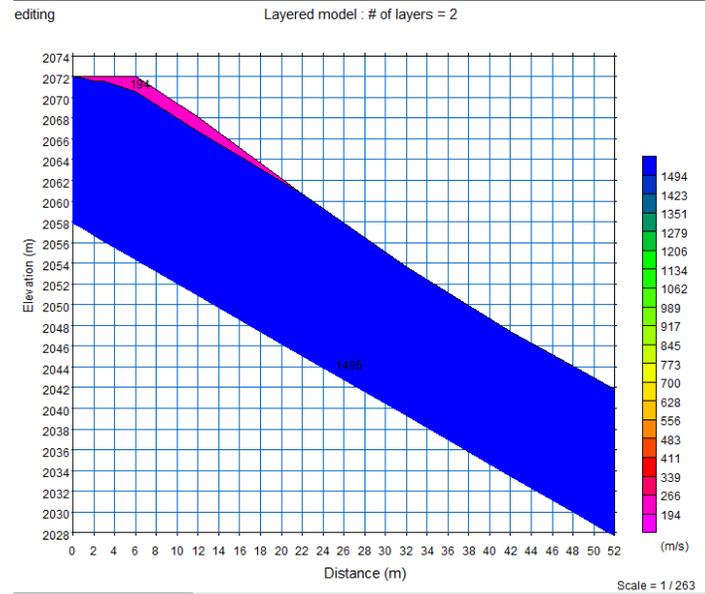


Figura 209. Perfil sísmico compuesto por la línea sísmica LRS-4.

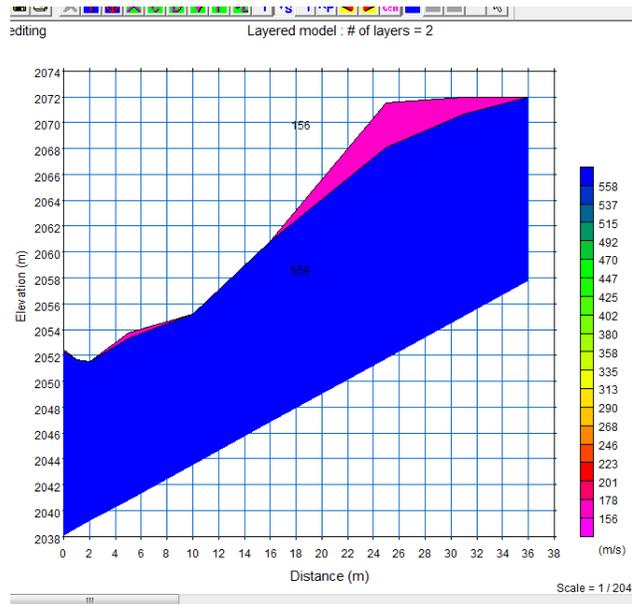


Figura 210. Perfil sísmico compuesto por la línea sísmica LRS-5.

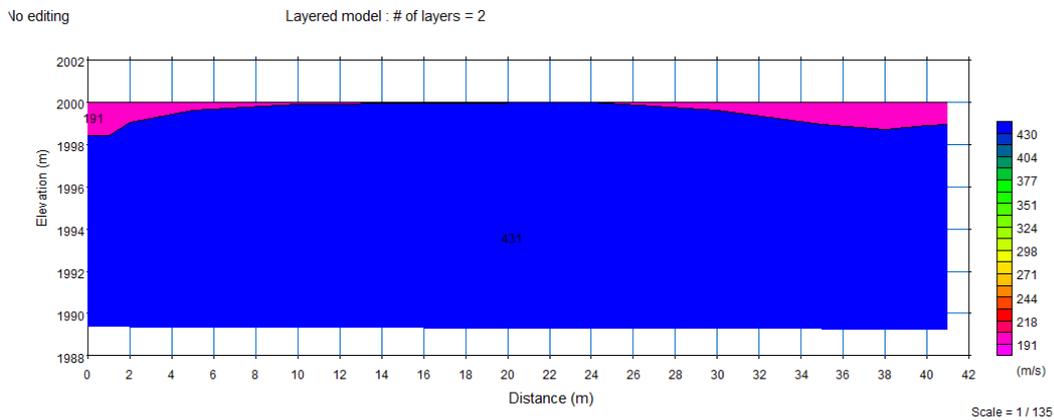


Figura 211. Perfil sísmico compuesto por la línea sísmica LRS-6.

No editing

Layered model : # of layers = 2

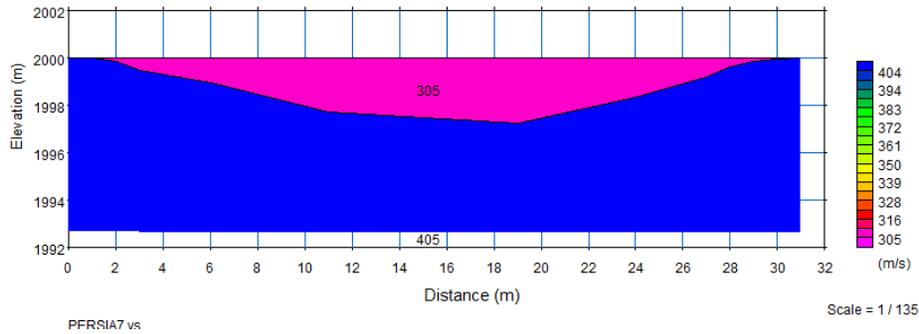


Figura 212. Perfil sísmico compuesto por la línea sísmica LRS-7.

editing

Layered model : # of layers = 2

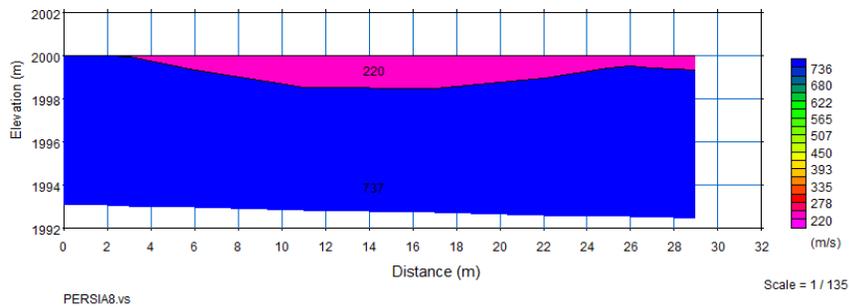


Figura 213. Perfil sísmico compuesto por la línea sísmica LRS-8.

lo editing

Layered model : # of layers = 2

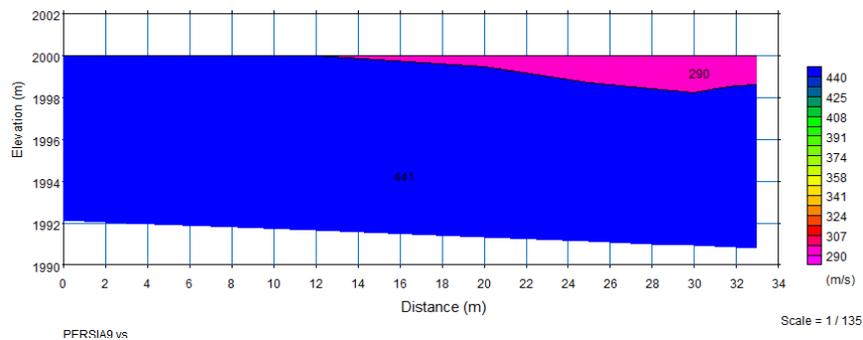


Figura 214. Perfil sísmico compuesto por la línea sísmica LRS-9.

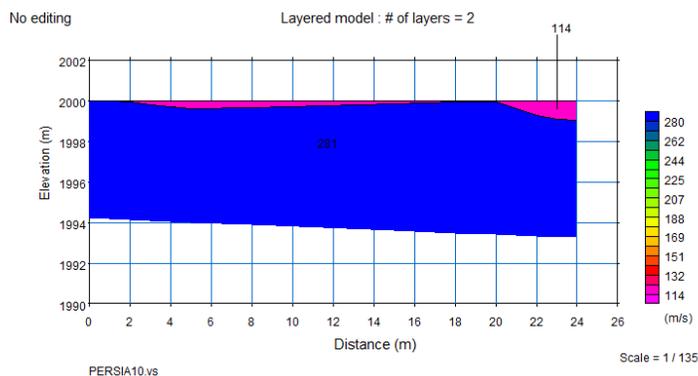


Figura 215. Perfil sísmico compuesto por la línea sísmica LRS-10.

Tabla 23. Cuadro de velocidades de la línea sísmica levantada en campo.

Perfil sísmico	Velocidad P (m/seg)	Velocidad P (m/seg)	μ	Velocidad S (m/seg)	Velocidad S (m/seg)
	Estrato 1	Estrato 2		Estrato 1	Estrato 2
LRS-1	257	1955	0.33	84.81	645.15
LRS-2	155	351	0.33	51.15	115.83
LRS-3	181	357	0.33	59.73	117.81
LRS-4	194	1494	0.33	64.02	493.02
LRS-5	156	558	0.33	51.48	184.14
LRS-6	191	430	0.33	63.03	141.90
LRS-7	305	404	0.33	100.65	133.32
LRS-8	220	736	0.33	72.6	242.88
LRS-9	290	440	0.33	95.70	145.20
LRS-10	114	280	0.33	37.62	92.40

8.4.4 INTERPRETACIÓN CON TOMOGRAFÍA SÍSMICA.

La interpretación con tomografía sísmica es un método de cálculo que permite modelar el subsuelo con elementos finitos reproduciendo las trayectorias de los frentes de onda desde y hacia cada punto de disparo y desde y hacia cada uno de los geófonos.

El resultado es un modelo detallado del subsuelo en 10 o más capas que muestran la variación de la velocidad compresional con la profundidad, muy útil en el caso de cimentaciones para definir el sustrato portante con base en el aumento de la velocidad compresional dentro de uno de los conjuntos que da el modelo simplificado.

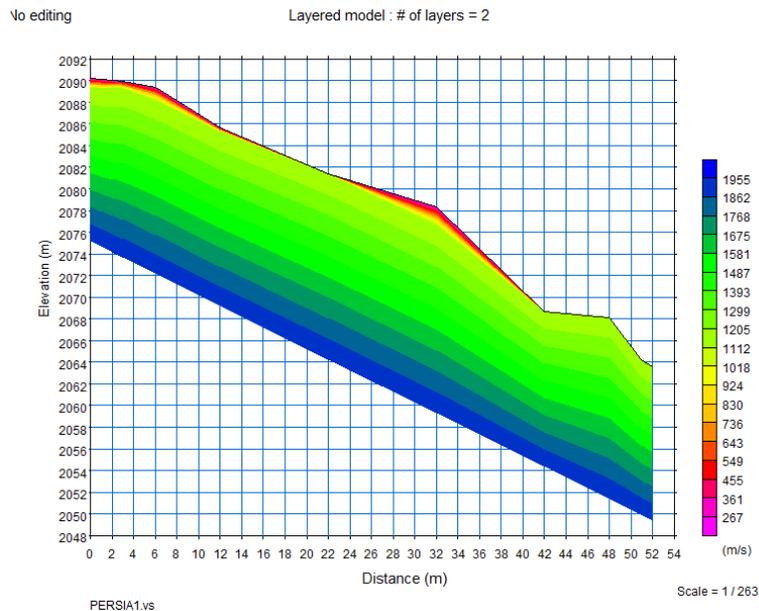


Figura 216. Tomografía sísmica compuesta por la línea sísmica LRS-1.

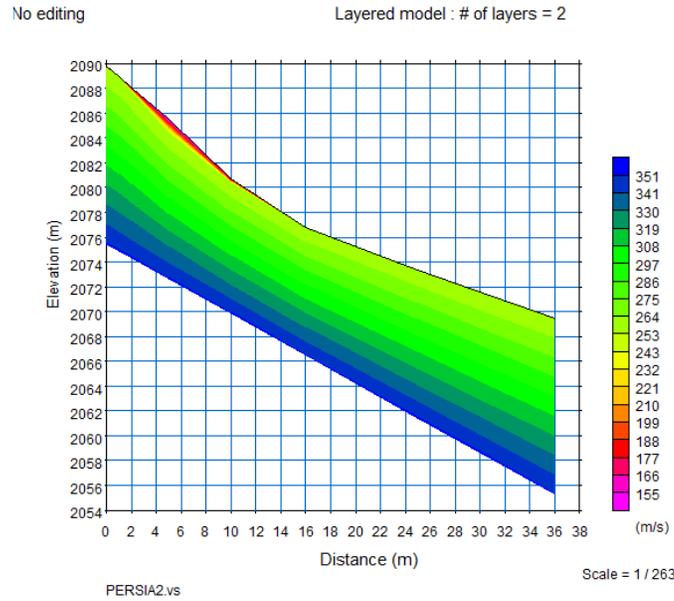


Figura 217. Tomografía sísmica compuesta por la línea sísmica LRS-2.

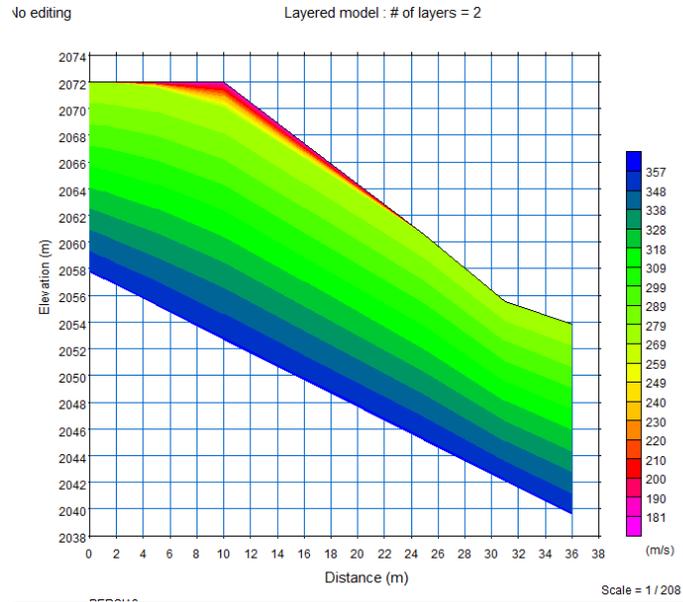


Figura 218. Tomografía sísmica compuesta por la línea sísmica LRS-3.

No editing

Layered model : # of layers = 2

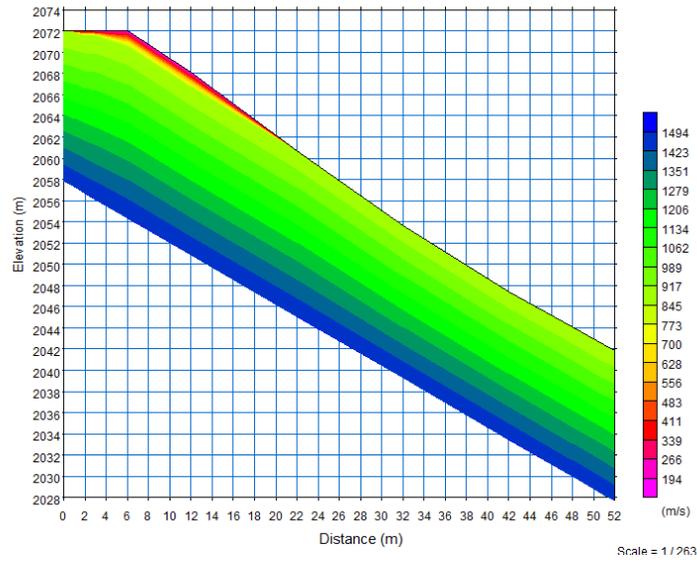


Figura 219. Tomografía sísmica compuesta por la línea sísmica LRS-4.

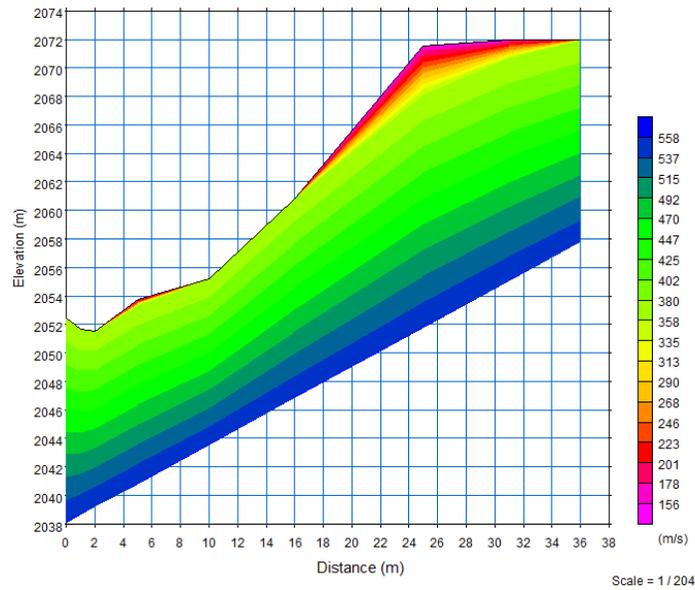


Figura 220. Tomografía sísmica compuesta por la línea sísmica LRS-5.

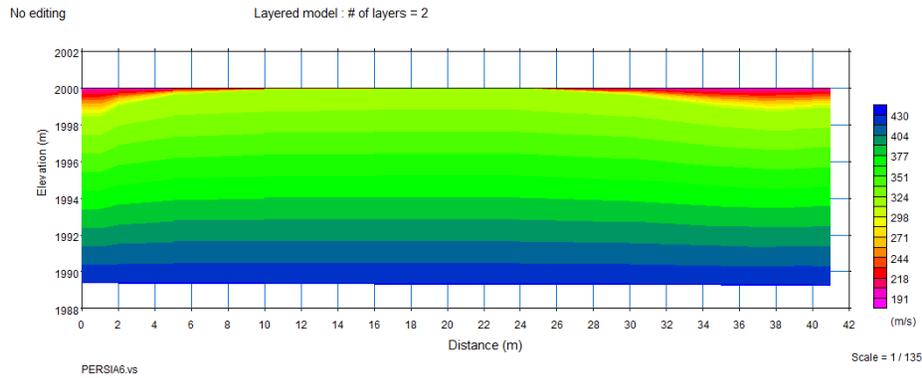


Figura 221. Tomografía sísmica compuesta por la línea sísmica LRS-6.

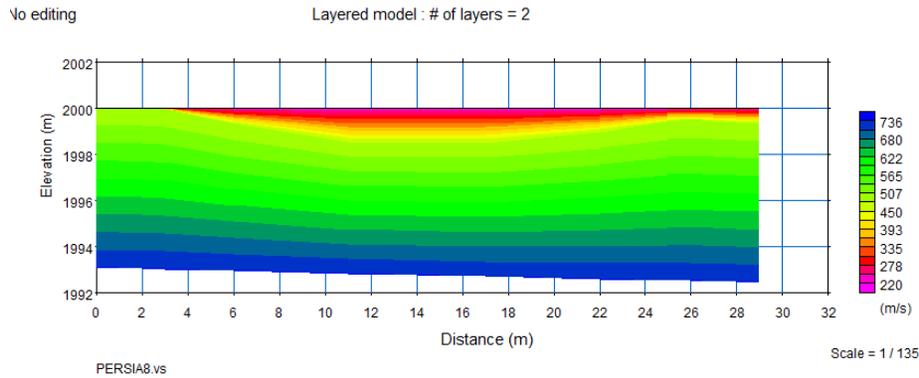


Figura 222. Tomografía sísmica compuesta por la línea sísmica LRS-7.

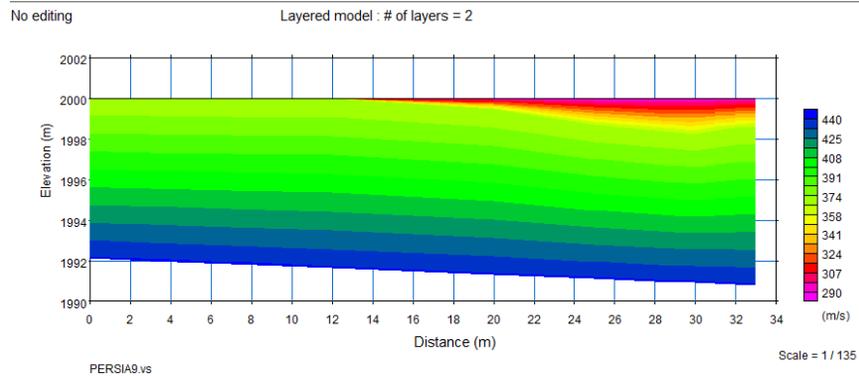


Figura 223. Tomografía sísmica compuesta por la línea sísmica LRS-8.

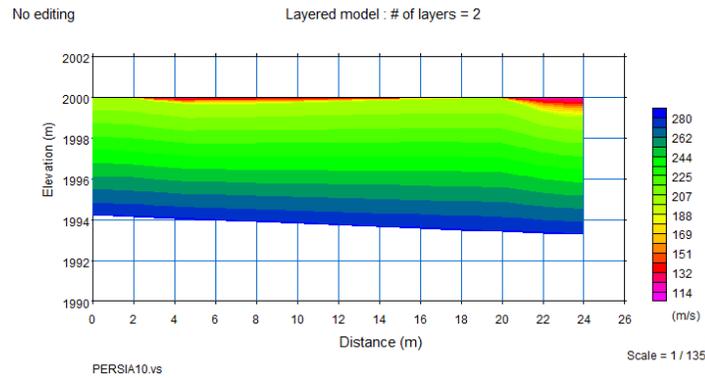


Figura 224. **Tomografía sísmica compuesta por la línea sísmica LRS-9**

Las figuras anteriores nos permiten identificar tres estratos en la zona de estudio, la primera comprende la gama de violetas y rojos, las cuales presentan velocidades de onda correlacionables con depósitos blandos superficiales, la segunda gama representada por una gama de colores verdes y amarillos, corresponde a velocidades compresionales correlacionables con los depósitos de consistencia media y el tercer estrato, representado por el color azul, presenta velocidades compresionales más altos fácilmente asociados con depósitos de suelo natural.

8.5 PERFIL DEL SUELO.

De acuerdo a 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 a la tabla A.2.4-1 y A.2.3-2.

8.5.1 DEFINICIÓN DE LA ZONA DE AMENAZA.

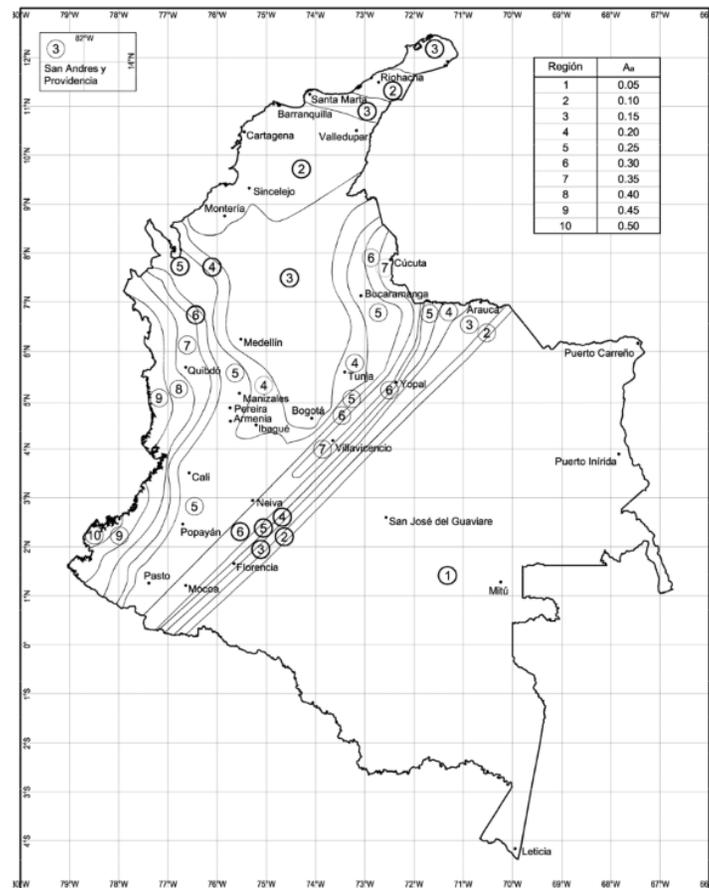


Figura 225. Mapa de valores de Aa

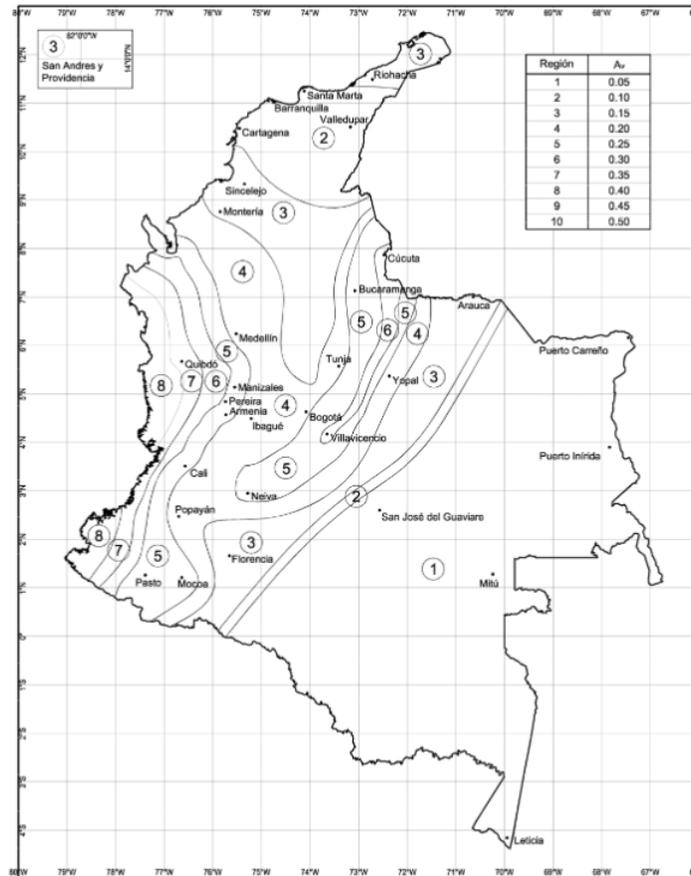


Figura 226. Mapa de valores de Av

Tabla 24. Valores de A_a y A_v para las ciudades del departamento de Caldas NSR-10.

Departamento de Caldas						
Municipio	Código Municipio	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica	A_e	A_d
Manizales	17001	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Aguadas	17013	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Anserma	17042	0.25	0.30	Alta	0.20	0.10
Aranzazu	17050	0.25	0.25	Alta	0.19	0.09
Belalcázar	17088	0.25	0.30	Alta	0.20	0.10
Chinchiná	17174	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Filadelfia	17272	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
La Dorada	17380	0.15	0.20	Intermedia	0.11	0.06
La Merced	17388	0.25	0.25	Alta	0.21	0.10
Manzanares	17433	0.20	0.20	Intermedia	0.20	0.10
Marmato	17442	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Marquetalia	17444	0.20	0.20	Intermedia	0.17	0.08
Marulanda	17446	0.20	0.25	Alta	0.18	0.09
Neira	17486	0.25	0.25	Alta	0.19	0.10
Norcasia	17495	0.15	0.20	Intermedia	0.15	0.07
Pácora	17513	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Palestina	17524	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Pensilvania	17541	0.20	0.20	Intermedia	0.18	0.09
Riosucio	17614	0.25	0.30	Alta	0.20	0.10
Risaralda	17616	0.25	0.30	Alta	0.20	0.10
Salamina	17653	0.25	0.25	Alta	0.18	0.09
Samaná	17662	0.20	0.20	Intermedia	0.19	0.09
San José	17665	0.25	0.30	Alta	0.20	0.10
Supía	17777	0.15	0.30	Alta	0.20	0.10
Victoria	17867	0.25	0.20	Alta	0.13	0.06
Villamaría	17873	0.25	0.25	Alta	0.18	0.09
Viterbo	17877	0.25	0.30	Alta	0.23	0.10

Para Manizales y sus sectores aledaños, se tiene una zona de amenaza sísmica **intermedia**.

$A_a=0.25$

$A_v=0.25$

8.5.2 DEFINICIÓN DEL TIPO PERFIL DEL SUELO.

Tabla 25. 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	$1500 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 360$ m/s
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\bar{N} \geq 50$, o $\bar{s}_u \geq 100$ kPa (≈ 1 kgf/cm ²)
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 180$ m/s
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > \bar{N} \geq 15$, o $100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{s}_u \geq 50 \text{ kPa} (\approx 0.5 \text{ kgf/cm}^2)$
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$180 \text{ m/s} > \bar{v}_s$
	perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $50 \text{ kPa} (\approx 0.50 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{s}_u$
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 E para los materiales superficiales (llenos y cenizas) y un perfil tipo C y D para los depósitos de suelo residual, por lo tanto el Coeficiente de amplificación F_a y F_v del suelo para la zona de períodos cortos del espectro es de:

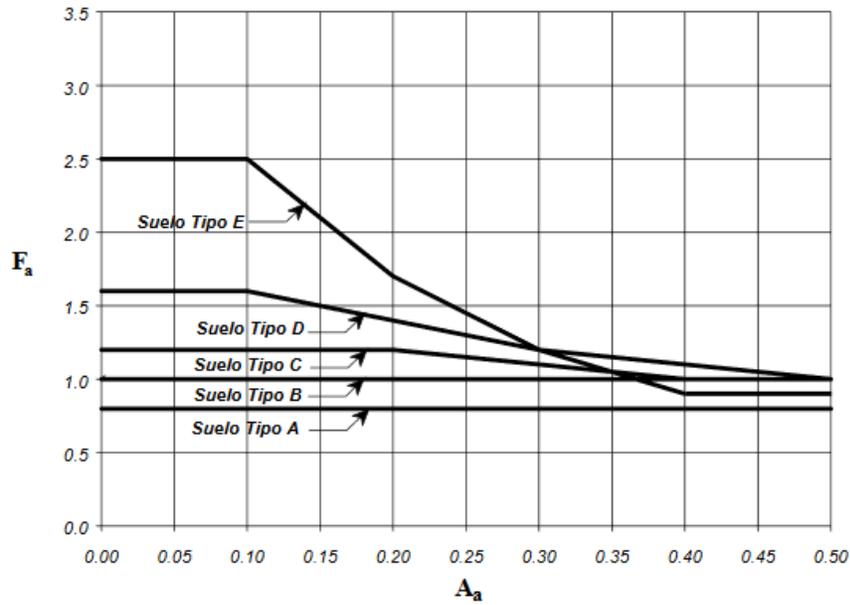


Figura 227. Coeficiente de amplificación F_a

Fuente: NSR – 10

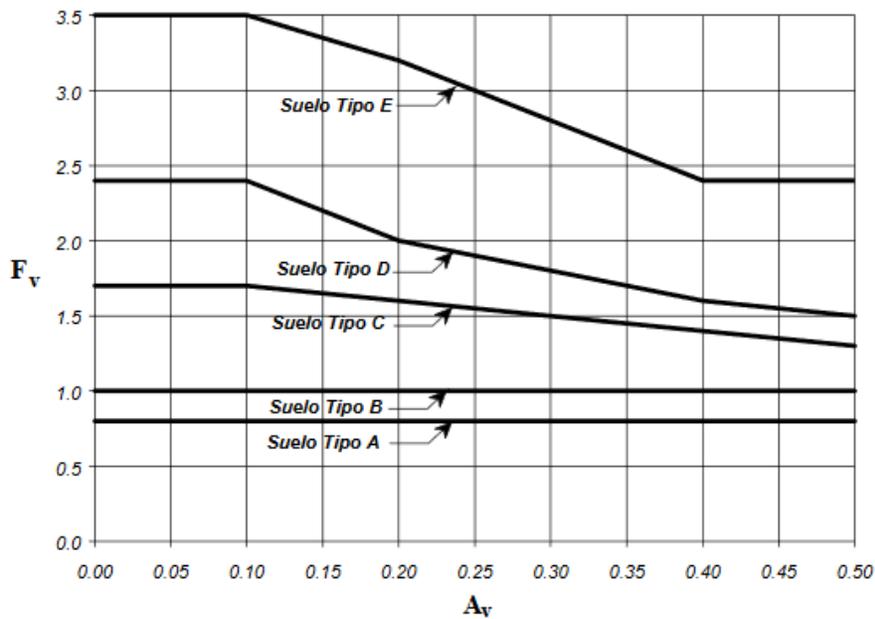


Figura 228. Coeficiente de amplificación F_v

Fuente: NSR – 10

Tabla 26. Coeficientes de amplificación Fa y Fv.

COEFICIENTE	Llenos y cenizas	Suelos residuales	
		C	D
Perfil del suelo	E	C	D
Fa	1.45	1.20	1.30
Fv	3.00	1.55	1.90

9 CLIMA.

Manizales presenta un clima subtropical húmedo, con temperaturas que varían entre 12° C y 24° C, con un promedio de 17° C; con temperatura uniforme en el transcurso del año, debido a su localización tropical ecuatorial.

La precipitación está alrededor de 2000 mm por año y muestra una distribución bimodal, con dos períodos de lluvias principales durante los meses de Abril – Mayo y Octubre – Noviembre; el clima húmedo es predominante en la región, lo que permite que los materiales mantengan una relativa humedad favoreciendo los procesos hidrogravitacionales.

Según la clasificación de zonas de vida de Holdridge que utiliza elementos climáticos como la biotemperatura media anual, la precipitación total anual, la altitud se define para el área de estudio solo una formación vegetal la de Bosque muy Húmedo Premontano (bmh-PM) el cual se ubica dentro de los siguientes rangos climáticos.

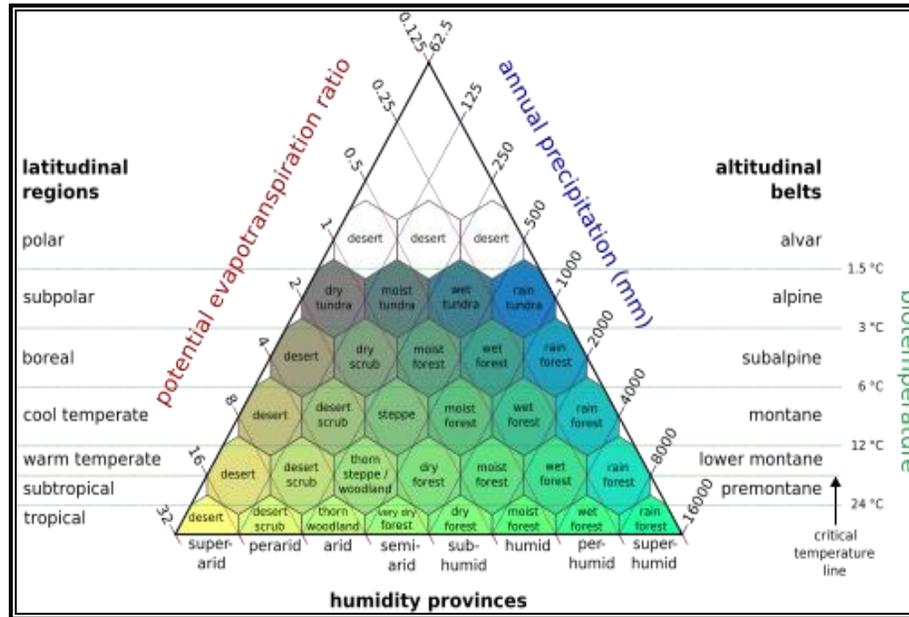


Figura 229. Cuadro de clasificación de L.R, Holdridge, 1.987.

Tabla 27. Zonas de vida

Selva Muy Húmeda Montana Baja (smh-MB)	Rangos
Temperatura media anual	18 ° C
Precipitación anual	2000 mm/año
Altitud	2000 – 3000 msnm

9.1 PRECIPITACIÓN

El municipio de Manizales cuenta con una importante red de estaciones meteorológicas o climáticas que permiten cuantificar diferentes eventos. Estas estaciones se encuentran a cargo del “Instituto de estudios ambientales” de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, en la cual por medio de su página de internet se puede obtener la información recolectada.

Adicionalmente otras entidades como la Federación Nacional de Cafeteros en Colombia y el IDEAM, cuentan con estaciones en la ciudad. Las más cercanas al sitio objeto de estudio son: Estación Hospital de Caldas y Estación Quebrada Palogrande – Ruta 30.

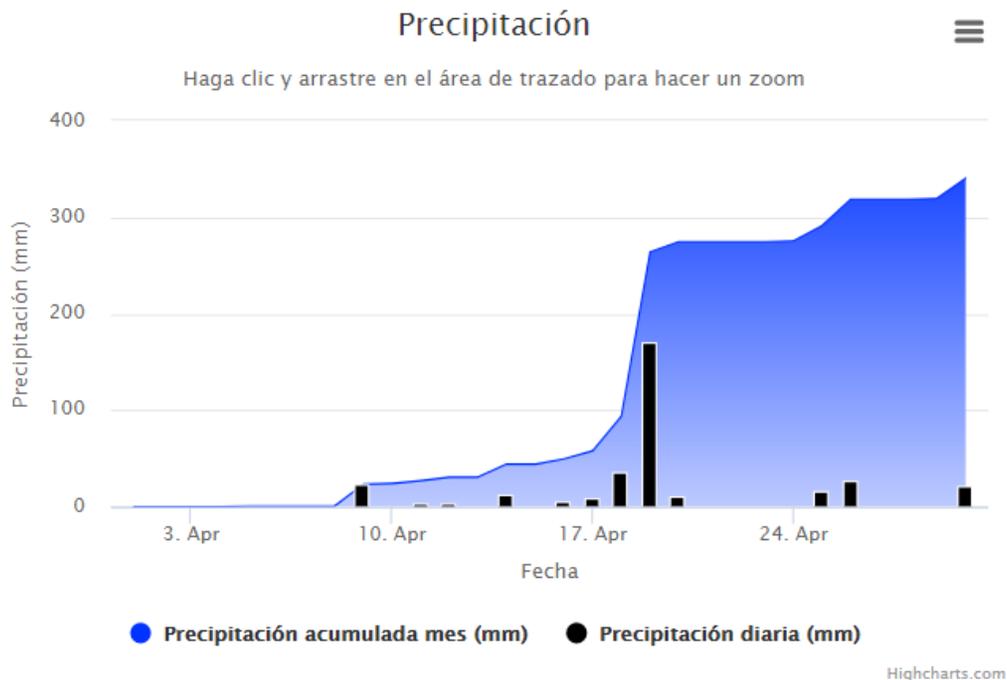
Tabla 28. Estaciones IDEA cercanas a la zona objeto de estudio

Estación	Clase de estación	Latitud	Longitud
HOSPITAL DE CALDAS	Meteorológica	5° 3' 46.6" N	75° 30' 2.1" W
QUEBRADA PALOGRANDE – RUTA 30	Hidrometeorológica	5° 3' 30.58" N	75° 30' 15.07" W

9.1.1 ESTACIÓN METEOROLÓGICA HOSPITAL DE CALDAS

Para la Estación Meteorológica Hospital de Caldas, el régimen de precipitación presenta una distribución bimodal a lo largo del año. El periodo lluvioso se extiende durante los meses de Enero a Junio y Octubre a Diciembre, mientras la época de estiaje ocurre en un periodo de tiempo desde el mes de Julio hasta el mes de Septiembre.

Para el mes de abril de 2017, la precipitación acumulada fue de 340.4 mm y varía entre un mínimo de 0.0 mm y un máximo de 170.2 mm.



Precipitación acumulada mes: 340.4 mm
Precipitación diaria máxima mes: 170.2 mm

Figura 230. Registro de precipitación Estación de Caldas.

Fuente: IDEA Manizales.

Para la fecha enfoque de este proyecto (19 de Abril de 2017), se presentaron fuertes lluvias que se extendieron durante varias horas, y donde se acumularon más de 170 mm de precipitación, como se muestra en la siguiente figura.



Figura 231. **Rgistro de precipitación 19/04/17. Estación Hospital de Caldas.**

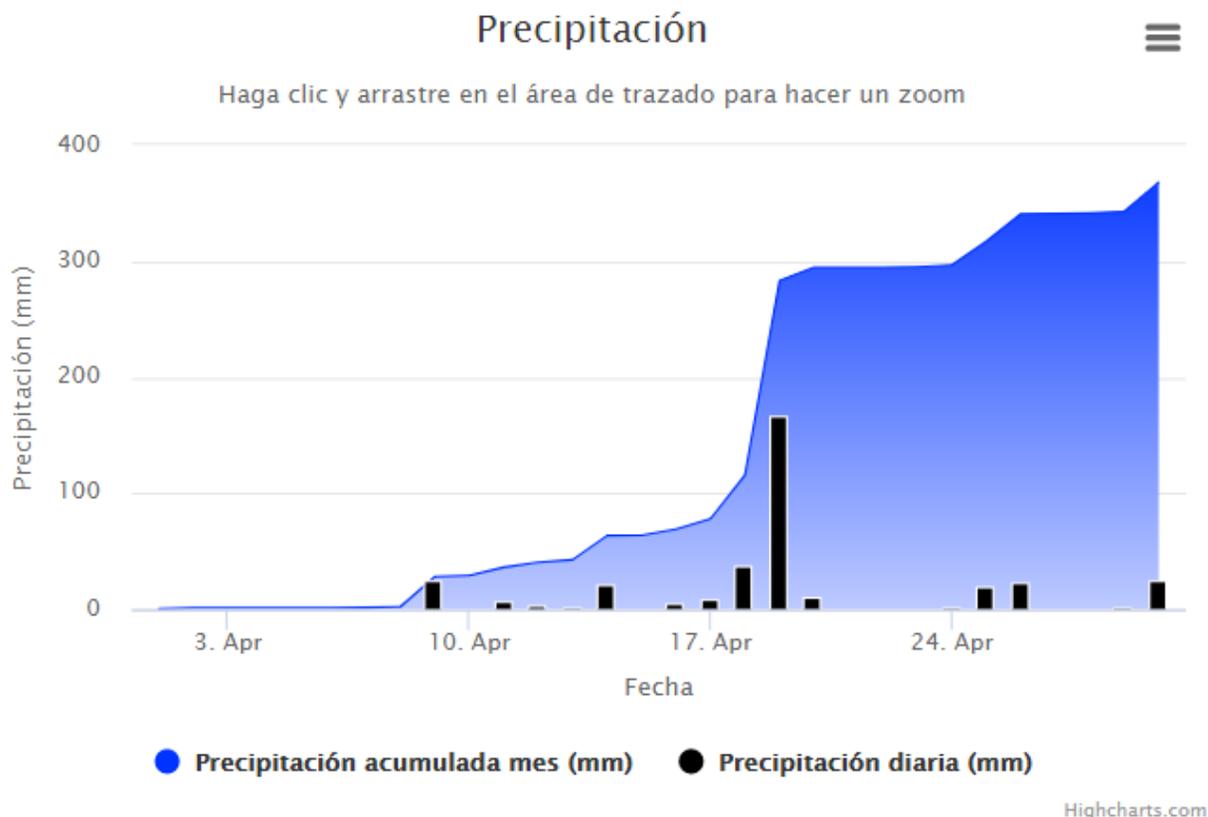
Fuente: IDEA Manizales.

Lo anterior fue un factor detonante para que tanto en el sitio de estudio como en varios otros sitios de la ciudad de Manizales, se produjeran fenómenos de inestabilidad, afectando viviendas, vías y demás obras de infraestructura, primordiales para la comunidad.

9.1.2 ESTACIÓN METEOROLÓGICA QUEBRADA PALOGRANDE – RUTA 30.

Para la Estación Meteorológica Quebrada Palogrande – Ruta 30, el régimen de precipitación presenta un comportamiento continuo de eventos de precipitación; estos eventos de precipitación muestran sus valores más significativos durante los meses de Marzo a Junio, y de Noviembre a Diciembre. Para el resto de los meses se cuenta con periodos de estiaje.

Para el mes de abril de 2017, la precipitación acumulada fue de 367.8 mm y varía entre un mínimo de 0.0 mm y un máximo de 167.4 mm.



Precipitación acumulada mes: 367.8 mm
Precipitación diaria máxima mes: 167.4 mm

Figura 232. Registro de precipitación Estación Quebrada Palogrande – Ruta 30.

Fuente: IDEA Manizales

Para la fecha enfoque de este proyecto (19 de Abril de 2017), se presentaron fuertes lluvias que se extendieron durante varias horas, y donde se acumularon más de 167 mm de precipitación, como se muestra en la siguiente figura.

Precipitación 2017-4-19 QUEBRADA PALOGRANDE- RUTA 30 -
Manizales



Figura 233. Registro de precipitación 19/04/17. Estación Quebrada Palogrande - Ruta 30.

Fuente: IDEA Manizales

Lo anterior fue un factor detonante para que tanto en el sitio de estudio como en varios otros sitios de la ciudad de Manizales, se produjeran fenómenos de inestabilidad, afectando viviendas, vías y demás obras de infraestructura, primordiales para la comunidad.

10 HIDROLOGÍA

El objetivo básico de todo estudio hidrológico es lograr un entendimiento adecuado del comportamiento del ciclo del agua en una determinada región. En el caso del diseño de obras civiles, se quiere analizar el comportamiento de esas obras para condiciones hidrológicas extremas (UNAL, 1997). Para tener un panorama completo del estudio hidrológico se deben conocer las siguientes características:

- Cuenca: Según el Decreto 2811 del 18 de diciembre de 1974 (Código Nacional de Recursos Naturales), se entiende por cuenca u hoya hidrográfica “el área de aguas superficiales o subterráneas, que vierten a una red hidrográfica natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, las cuales confluyen en un curso mayor, que a su vez, puede desembocar a un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente al mar”.
- Área de la cuenca: Corresponde a la superficie delimitada por la divisoria de aguas de la zona de estudio; éste parámetro se expresa normalmente en km². Este valor es de suma importancia porque un error en su medición incide directamente en los resultados, por lo que se hace necesario realizar mediciones contrastadas para obtener mayor confianza en este valor.
- Longitud de la corriente o cauce principal: Corresponde a la longitud del cuerpo de agua que le da nombre a la cuenca de estudio, en la estimación de este parámetro se tienen en cuenta las irregularidades y curvas del cauce y se expresa generalmente en km.

- **Pendiente media:** Es el índice que representa la pendiente media de las trayectorias que sigue el agua que escurre por las laderas hacia el río. La pendiente media se da en porcentaje o m/m. Esta característica controla en buena parte la velocidad de la escorrentía superficial y afecta el tiempo que tarda el agua de lluvia para concentrarse en los cauces que hacen parte de la red de drenaje de la cuenca.
- **Tiempo de concentración:** Es considerado como el tiempo de viaje de una gota de agua de lluvia que escurre superficialmente desde el lugar más lejano de la cuenca hasta el punto de salida. Para el tiempo de concentración se han dado varias definiciones, entre ellas las más conocidas y utilizadas en nuestro medio son la de Clark y Kirpich (Vélez y Botero, 2011). Viessman y Lewis (2003) lo definen como el tiempo comprendido entre el final de la precipitación efectiva y el final de la escorrentía superficial directa, siendo este, el punto de inflexión del hidrograma después del caudal pico. Témez (1991, 2003) lo define como la diferencia entre el tiempo de finalización del hidrograma de escorrentía superficial directa y el tiempo de finalización de la precipitación efectiva.
- **Coefficiente de escorrentía:** Es la relación entre la escorrentía superficial total y el volumen de agua precipitado para un periodo de tiempo determinado.

Es una tarea difícil determinar este parámetro a partir de información observada, por tanto, normalmente se recurre a estimativos a través de Tablas.

Por tanto, tomando el parámetro C , el cual es estimado por muchos autores mediante Tablas dependiendo del tipo y usos del suelo, asignando un valor de C a cada unidad; sin embargo; Chow (1994) propone una metodología que tiene en cuenta además del tipo y uso de suelo, el periodo de retorno T_r y la pendiente del terreno S , tal y como se presenta en la siguiente figura; donde cada unidad de suelo tiene dos tipos de pendientes y cada uno de estos tiene valores de C para diferentes T_r .

Coefficientes de escorrentía para ser usados en el método racional.

Característica de la superficie	Período de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
Áreas desarrolladas							
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto / techo	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zonas verdes (jardines, parques, etc.)							
<i>Condición pobre</i> (cubierta de pasto menor del 50 % del área)							
Plano, 0-2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio, 2-7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente, superior a 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
<i>Condición promedio</i> (cubierta de pasto del 50 al 75 % del área)							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
<i>Condición buena</i> (cubierta de pasto mayor del 75 % del área)							
Plano, 0-2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio, 2-7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
Áreas no desarrolladas							
Área de cultivos							
Plano, 0-2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio, 2-7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente, superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pastizales							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Bosques							
Plano, 0-2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio, 2-7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Nota: Los valores de la tabla son los estándares utilizados en la ciudad de Austin, Texas. Utilizada con Autorización.

Figura 234. **Coefficientes de escorrentía para ser usado método racional.**

- Caudal: Es la cantidad de fluido que circula a través de una sección río, quebrada, canal, tubería, etc, por unidad de tiempo.

La cuenca objeto de estudio, hace parte de la cuenca del río Chinchiná, que se describe a continuación.

10.1 CUENCA DEL RÍO CHINCHINÁ

La cuenca del Río Chinchiná se localiza en la región Centro-Sur del departamento de Caldas, sobre la vertiente occidental de la cordillera Central. Comprende el área total de los municipios de Manizales y Villamaría, y parcialmente a Palestina, Neira y Chinchiná; asimismo todas las cabeceras urbanas, a excepción de Neira, se encuentran en la cuenca (CORPOCALDAS, 2000).

Esta cuenca se extiende desde los 05° 07' 05.3" Norte y los 75° 40' 10.3" Oeste, a 800 m en la desembocadura del río Chinchiná al río Cauca, hasta los 05° 03' 30" Norte y los 75° 23' 03" Oeste, a 5200 m en la Laguna Negra, dentro del Parque Nacional Natural Los Nevados (CORPOCALDAS, 2000).

La cuenca del río Chinchiná hace parte de la Macrocuenca del Río Cauca, sus principales afluentes son los ríos Claro y Guacaica, los cuales a su vez reciben numerosos afluentes (CORPOCALDAS-Aguas de Manizales, 1999). Su área total es de 113.264 ha, de las cuales la actividad pecuaria, con cultivos de pastos, cubren el 40%. El uso forestal, con cultivos de especies en su mayoría exóticas, abarca el 28% del área y por último el uso agrícola cobija el 21% de la cuenca (CORPOCALDAS, 2000).

La cuenca del río Chinchiná hace parte de las cuencas aferentes al río Cauca, principal tributario del río Magdalena. La cuenca del río Chinchiná está localizada en la vertiente occidental de la Cordillera Central, tiene una extensión de 1044.83 km² que hace parte al 14.1 por ciento (%) del territorio que se encuentra ubicada en el sur del departamento de Caldas, de los cuales 391.55 km² (37.5%) pertenecen al municipio de Manizales, 436.28 km² (41.8%) al municipio de Villamaría, 17.83 km² (1.7%) al municipio de Neira, 76.45 (7.3%) al municipio de Chinchiná y 122.72 km² (11.7%) al municipio de Palestina. La cuenca limita al sur y al oriente con los departamentos de Risaralda y Tolima respectivamente, al norte con el municipio de Neira y al occidente con el municipio de Anserma (Plan de Ordenamiento y Manejo Ambiental de la cuenca del río Chinchiná. 2004). Se caracteriza por una topografía abrupta, el río presenta características de una corriente de montaña con altas pendientes y lecho rocoso. El cauce corre en dirección este – oeste, la mayoría de los drenajes corren en dirección norte – sur.

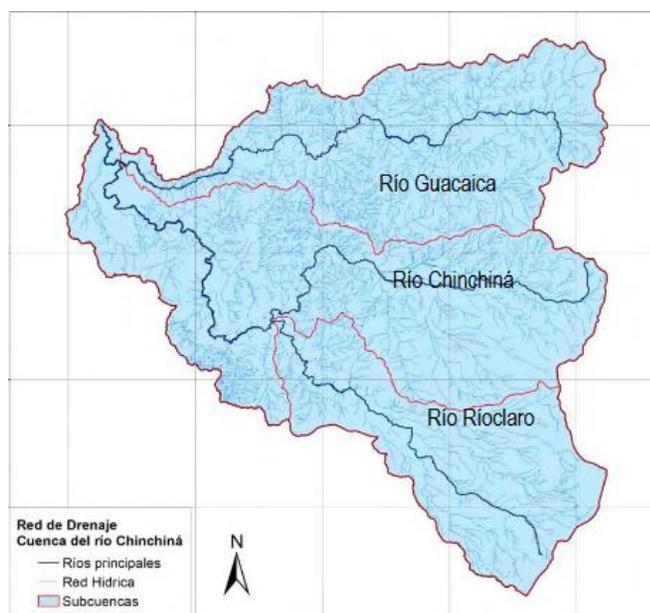


Figura 235. **Cuenca río Chinchiná. Fuente: Corpocaldas – IDEA. 2013.**

10.2 ASPECTOS HIDROLÓGICOS

Un aspecto importante que se debe referir, son los asociados con los regímenes y caracterización de los flujos de aguas, principalmente los de escorrentía, teniendo presente que no se presentan niveles freáticos colgantes y la alta pluviosidad relacionada con el municipio de Manizales.

10.2.1 DIRECCIÓN DEL FLUJO.

Se destaca la dirección de los flujos norte sur ubicados en el sector central en el parte aguas por el cual se encuentran drenajes que desaguan en sentido sureste-noroeste, asociados con una zona de descarga con presencia de alta densidad de viviendas, que las correlacionan con zonas de potencial amenaza a deslizamientos y flujos torrenciales.

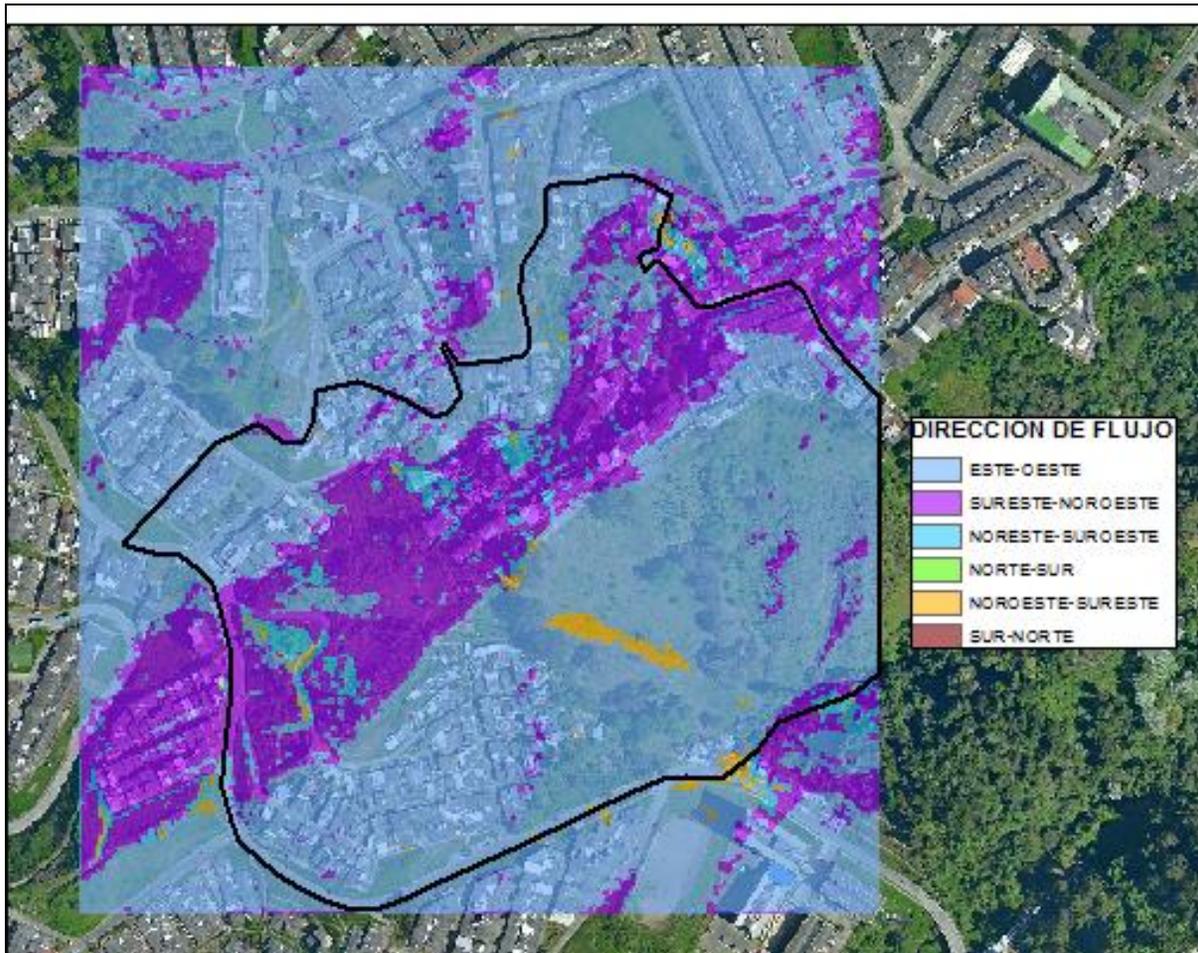


Figura 236. Dirección de flujos.

10.2.2 LONGITUD DEL FLUJO

Las mayores longitudes de flujo están asociadas a un drenaje ubicado en el sector occidental, este sector se encuentra altamente poblado y presenta un alto porcentaje de población vulnerable.



Figura 237. Longitud de flujos.

10.2.3 ACUMULACIÓN DE FLUJOS

La acumulación de flujos muestra los sitios donde localiza la acumulación máxima de los flujos de escorrentía, lugares en los cuales se deberían tratar con bajantes o bermas en las cuales se amortiguarán las consecuencias de las aguas de escorrentía, actualmente estos sectores están tratados con obras civiles y artesanales, pero los antecedentes asociados con fuertes flujos superficiales de escorrentía ameritan un análisis con tratamiento de alto riesgo probable.



Figura 238. Acumulación de flujos.

10.3 CURVA IDF

En el año 2002 los ingenieros Luis Arturo Gómez Tobón y Jorge Alonso Aristizabal Arias publicaron el documento "Obtención de curvas Intensidad – Duración – Frecuencia para el departamento de Caldas"

A continuación se reproducen las curvas obtenidas en el mencionado estudio. En estas se observa la expresión obtenida.

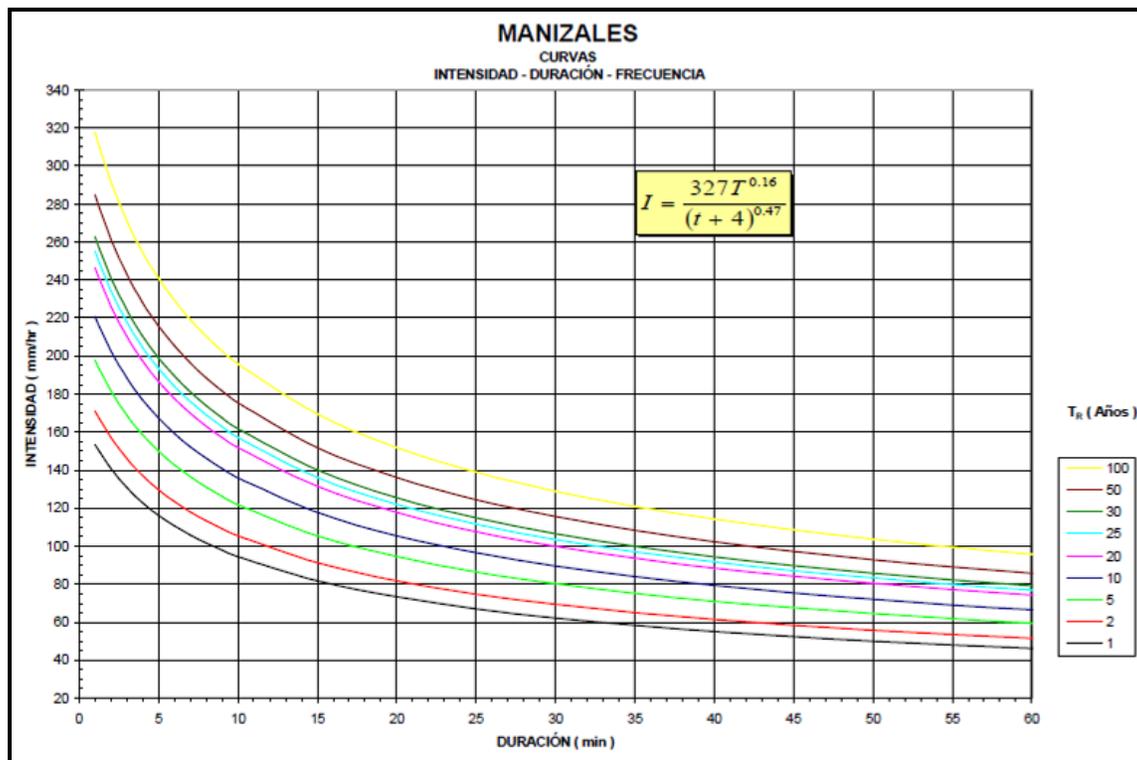


Figura 239. Curva IDF para Manizales

De acuerdo a las resoluciones 235 de 2015 y 561 de 2012, se establece, para el diseño de las estructuras de manejo de aguas y demás en el sitio objeto de estudio, una intensidad correspondiente a un periodo de retorno de 100 años.

11 ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD POR DESLIZAMIENTO

Se fundamenta en la utilización de los sistemas de información geográficas (SIG) para la elaboración de los mapas de zonificación de susceptibilidad. La calificación de la susceptibilidad depende de la posibilidad que tiene el terreno de sufrir deslizamientos, lo cual se mide de acuerdo con indicadores de susceptibilidad y de los factores detonantes. La metodología comprende las siguientes actividades:

- De acuerdo con las características ambientales del área de estudio se seleccionan los indicadores de susceptibilidad a los deslizamientos que se emplearán en la zonificación de la susceptibilidad. Entre los indicadores de susceptibilidad a los deslizamientos se encuentran: Las características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas, uso y cobertura actual del suelo y la pendiente del terreno. Se deben dibujar a escala tres mapas temáticos que contengan la información correspondiente a estos indicadores.
- En un mapa se localizan los sitios vulnerables por diferentes factores detonantes de deslizamiento, se analizan aquellos factores que se pueden presentar en la zona de estudio.
- Mediante la utilización de un programa de diseño asistido por computador, se generan los cuatro mapas temáticos a una escala apropiada, que depende del uso que se le quiera dar a la información.

- En los mapas temáticos se identifican unidades a las cuales se les han asignado un valor que corresponde a su grado de susceptibilidad dentro del respectivo indicador.
- Se realiza una superposición (OVERLAY) de mapas mediante la utilización de un sistema de información geográfica (SIG).

El resultado de la superposición que se menciona en el punto anterior es el mapa de susceptibilidades

11.1 FACTORES CONDICIONANTES

11.1.1 SUSCEPTIBILIDAD POR COBERTURA Y USO DEL SUELO (SUC)

La cobertura y uso de suelo influye en la estabilidad del terreno, por lo cual es pertinente la realización de un mapa que incluya la localización de las diferentes unidades y las descripciones; y mecánicas que incluyan la sobrecarga de árboles en las laderas, prácticas anti-erosivas, y la resistencia que brindan las raíces al suelo. También la definición y diferenciación las características, tipología y tamaño de las raíces de las especies vegetales como generadoras de carga y resequedad del suelo, zonas de bosque, densidad, profundidad efectiva de las raíces y áreas afectadas por acción de cultivos y otras prácticas (urbanizaciones, obras de drenaje, etc.) que fomenten la inestabilidad para analizar causas, correlacionarlas y brindar soluciones de los movimientos en masa actuales y de potencial ocurrencia.

De acuerdo al capítulo 6 anteriormente expuesto en el presente informe en la zona se encontró las siguientes coberturas vegetales y uso del suelo actual que se muestran a continuación y a los cuales se les asigno un porcentaje de calificación:

- **Pesos clasificaciones cobertura vegetal.**

Tabla 29. Porcentajes asignados a la cobertura vegetal.

COBERTURA	PORCENTAJE
Ninguna	10%
Pastos	7%
Pastos arbolados	5%
Rastrojos	1%
Rastrojos altos	1%
Suelo expuesto	10%

- Pesos usos del suelo.

Tabla 30. Porcentajes asignados a los usos del suelo actual

USO	PORCENTAJE
Agroforestales	5%
Infraestructura vial	10%
Recreacional	1%
Residencial	10%
Deslizamiento activo	10%
Protección	1%
Zona verde	1%
Industrial	10%

11.1.2 SUSCEPTIBILIDAD POR CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS, GEOMORFOLÓGICAS Y GEOTÉCNICAS (SCG):

Las unidades de geología para la ingeniería son un elemento clave para el análisis ingenieril de los materiales, con ellos se separan para los modelos de análisis de estabilidad: entre la roca y el suelo, propiedades mecánicas de los materiales y se definen espesores y características estructurales para suelo y roca, respectivamente.

Con estas unidades se realizan los mapas de geología para definir los ambientes geológico-estructurales, regionales con la ayuda de modelos digitales de elevación también: unidades litoestratigráficas, y si son suelos, su correcta clasificación (residuales, saprolíticos, transportados y antrópicos).

Las siguientes calificaciones se presentan en la zona de estudio para suelos susceptibles a deslizamientos:

- **Pesos unidades geológicas.**

Tabla 31. Porcentaje peso unidades geológicas

GEOLOGÍA	GEOLOGÍA	PORCENTAJE
Formación Casabianca	Tsmz	2%

- **Pesos unidades formaciones superficiales.**

Tabla 32. Porcentaje peso formaciones superficiales

CÓD.	UNIDAD	PORCENTAJE
Tsmz	Roca meteorizada Formación Casabianca	1%

- **Pesos unidades geomorfológicas.**

Tabla 33. Porcentaje peso unidades geomorfológicas

UNIDAD	PORCENTAJE
Aluviales	5%
Antrópicas	10%
Erosionables	13%
Erosionables estructural	15%

- Pesos unidades geotécnicas.

Tabla 34. Porcentaje peso unidades geotécnicas

ZONA	PORCENTAJE
ESTABLE	1%
MODERADO ESTABLE	10%
MODERADO INESTABLE	20%
INESTABLE	30%

11.1.3 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 35. Evaluación de susceptibilidad por pendiente del terreno

RANGO PENDIENTE	PORCENTAJE
Inferiores a 5°	1%
Entre 5° y 15°	5%
Entre 15° y 30°	15%
Entre 30° y 45°	20%
Superiores a 45°	30%

11.2 CÁLCULO DE LA SUSCEPTIBILIDAD

A partir los datos anteriores, se calcula el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa y se obtienen los siguientes resultados

Tabla 36. Niveles de susceptibilidad en la zona de estudio

NIVEL DE SUSCEPTIBILIDAD	ÁREA (Ha)	ÁREA (%)
Susceptibilidad Baja	2.25	40.69%
Susceptibilidad Media	2.00	36.17%
Susceptibilidad Alta	1.28	23.14%

- Susceptibilidad baja: Pendiente suave y el uso del suelo predominante es el urbanístico con poca probabilidad de ocurrencia de fenómenos de desplazamiento en masa.
- Susceptibilidad media: zonas con pendiente media - alta, uso del suelo pastoril y cultivos, con depósitos antrópicos de espesores inferiores a 5 m. Adicionalmente los contactos litológicos entre estos depósitos y los suelos residuales son desfavorables desde el punto de vista de desplazamientos en masa.
- Susceptibilidad alta: zonas con fuerte pendiente, uso del suelo pastoril y cultivos, con depósitos antrópicos de espesores superiores a 5 m. Adicionalmente los contactos litológicos entre estos depósitos y los suelos residuales son desfavorables.

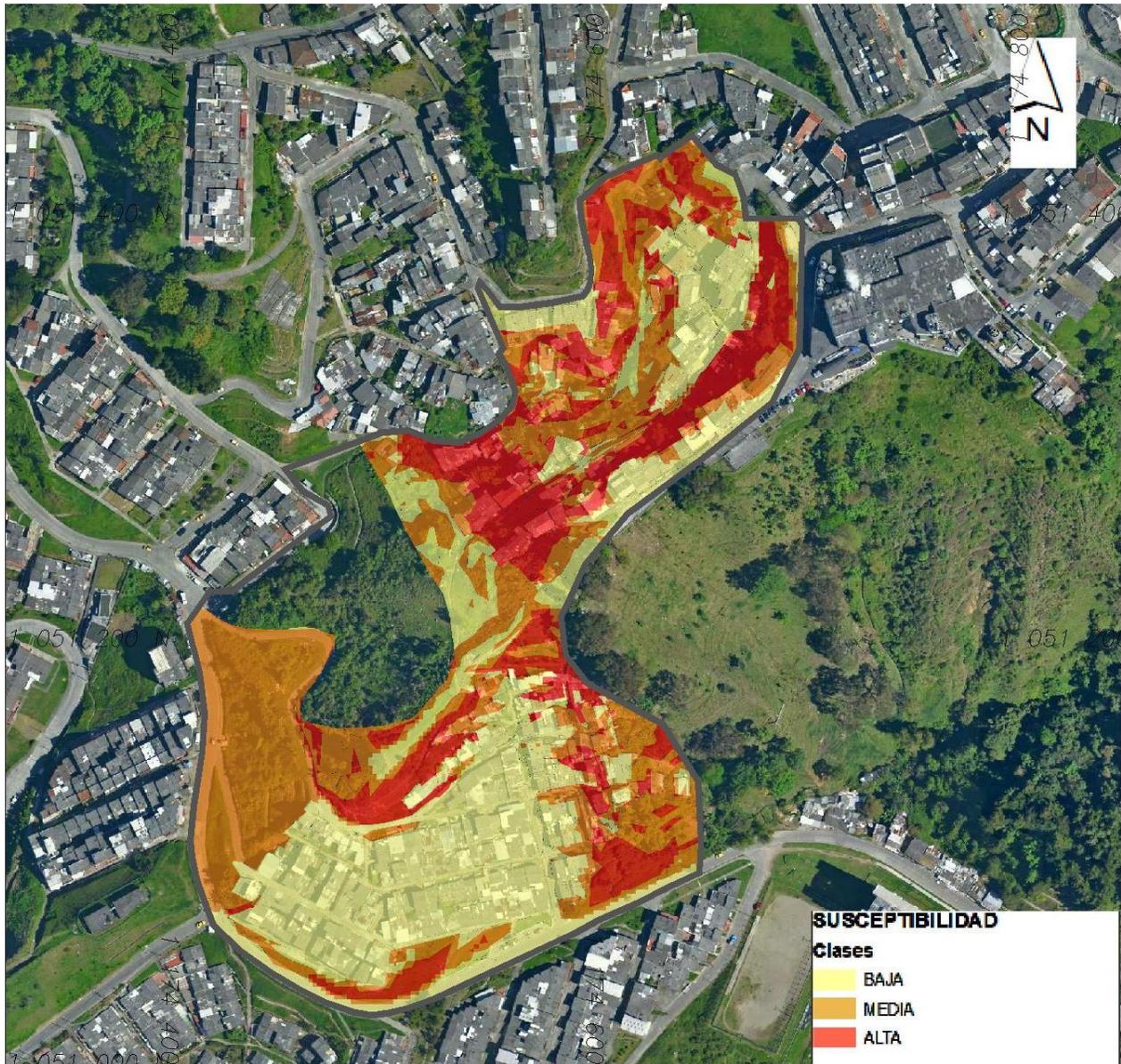


Figura 240. Mapa de Susceptibilidad

12 CALCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD POR MÉTODO DEL TALUD INFINITO (CAPRA, 2011)

Este método es aplicable a deslizamientos traslacionales, con características morfológicas particulares que permitan su modelación como talud infinito. En el deslizamiento de traslación, la masa de material se desplaza hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo. Un movimiento de rotación trata de auto estabilizarse, mientras uno de traslación puede progresar indefinidamente a lo largo de la ladera hacia abajo.

Los movimientos de traslación son frecuentes en zonas rocosas afectadas por discontinuidades, tales como fracturas, plegamientos, esquistosidad, con una orientación relativamente paralela al talud así como en laderas que tienen espesor considerable de suelo o material detrítico en contacto con una zona de roca menos alterada. Así por ejemplo para la zona de estudio, y de conformidad con la prospección geotécnica realizada, se tienen espesores promedio de aproximadamente entre 0.4 y 9.0 metros de depósitos blandos (Depósitos antrópicos y/o cenizas).

Esta condición, aunque no es la única prevalece en muchos casos reales donde una capa intemperizada de suelo o roca suprayace estratos más competentes, creándose una superficie de contacto que funcione como superficie de deslizamiento. En muchos deslizamientos de traslación, la masa se deforma y/o rompe y puede convertirse en flujo.

Keefner(1984,2002) analiza datos de sismos ocurridos en el mundo y concluye que la gran mayoría de procesos de remoción asociados consisten en deslizamientos traslacionales superficiales, rotura en materiales frágiles, deslizamientos de rocas y caídas de rocas. Además, la gran mayoría de flujos de detritos se inician como deslizamientos traslacionales, ya sea superficiales o profundos, los cuales posteriormente sufren procesos de licuación a medida que avanzan sobre la pendiente (Gabet y Mudd, 2006).

Por lo tanto, la metodología presentada aquí hace referencia a los deslizamientos traslacionales y se asume que el volumen movilizado deriva en un flujo de detritos, el cual es un tipo de proceso que se considera de los más destructivos y que ha causado muchas muertes en diversas regiones del mundo (Alexander, 1989; Caballero, 2006).

En las condiciones en las cuales se presentan una falla paralela a la superficie del talud, a una determinada profundidad y la longitud de la falla es larga comparada con su espesor, se puede utilizar en forma aproximada, el análisis de talud infinito. Es un método muy rápido y sencillo para calcular, suponiendo un talud largo con una capa de suelo, detritos o roca, en el cual cualquier tamaño de columna de material es representativo de todo el talud.

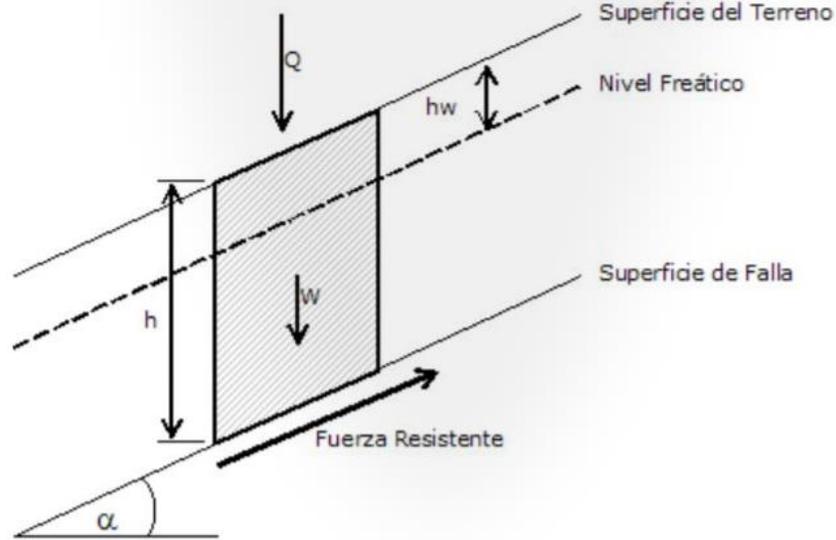


Figura 241. **Esquema simplificado del método del talud infinito**

Fuente: (CAPRA, 2011)

El cálculo se hace por medio de un análisis celda por celda y calculando la relación entre las fuerzas actuantes y las resistentes a lo largo del plano de falla. En los cálculos se desprecia el efecto de la fuerza horizontal entre tajadas, el cual se anula en forma aproximada entre tajada y tajada.

Los términos que intervienen en los cálculos son los siguientes:

- La altura del primer estrato que define el plano de deslizamiento y que está determinado según la información geotécnica obtenida.
- La cohesión entre estratos, también definida por la información geotécnica.

- El coseno y el seno del ángulo de la superficie con la horizontal, el cual depende de la topografía.
- La aceleración sísmica, que esta descrita por curvas de isoaceleración, según amenaza sísmica.

Las expresiones para el cálculo del factor de seguridad por el método de la falla plana son

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

Donde:

B = Angulo de inclinación del plano de falla

C = Cohesión del suelo

Φ = Angulo de fricción interna del suelo

γ = Peso específico del suelo

Los valores utilizados para realizar el anterior cálculo son:

C = 3.75 Ton/m²

γ = 1.652 Ton/m³

Kh = 0.25

Φ = 23 grados

A partir de estos datos se calculan los mapas de inestabilidad según el factor de seguridad:

Tabla 37. Factor De Seguridad Dinámico

NIVEL DE INESTABILIDAD (F.S)	ÁREA (Ha)	ÁREA (%)
Inestabilidad Alta	1.44	26.04%
Inestabilidad Media	1.57	28.39%
Inestabilidad Baja	2.52	45.57%

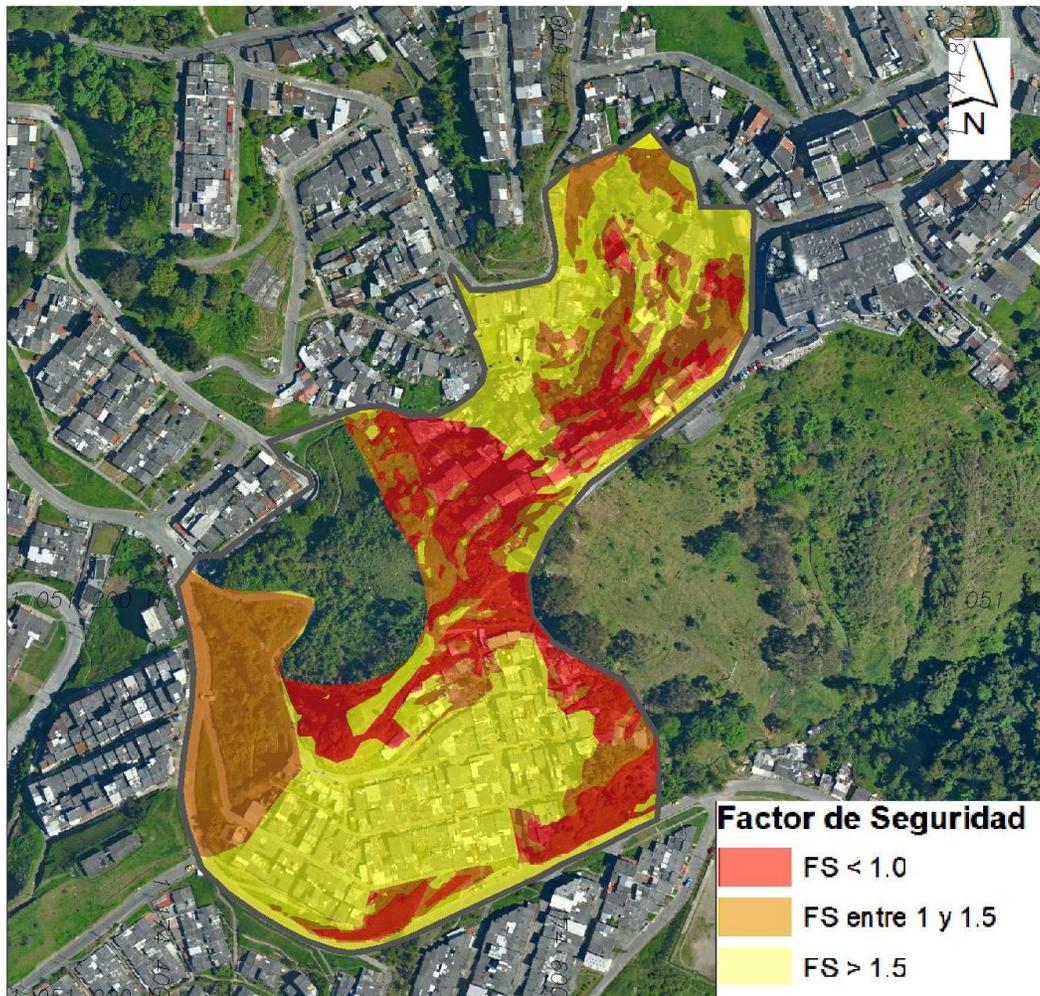


Figura 242. Mapa de Inestabilidad (Factores de Seguridad).

13 PROCESOS DENUDATIVOS Y EROSIVOS ACTUALES

Como se expone en el capítulo 7 de este documento, los sectores puntuales del estudio, presentan procesos denudativos y erosivos que comprometen la seguridad de las edificaciones y demás elementos expuestos. Por lo tanto, cuando se evalúa la amenaza de la zona de estudio, analizando la susceptibilidad y la inestabilidad de esta, los procesos y movimientos en masa que se indican en el mapa a continuación, son un indicio de que en estos sitios puntuales dicha amenaza es alta y se deben atender con obras geotécnicas.

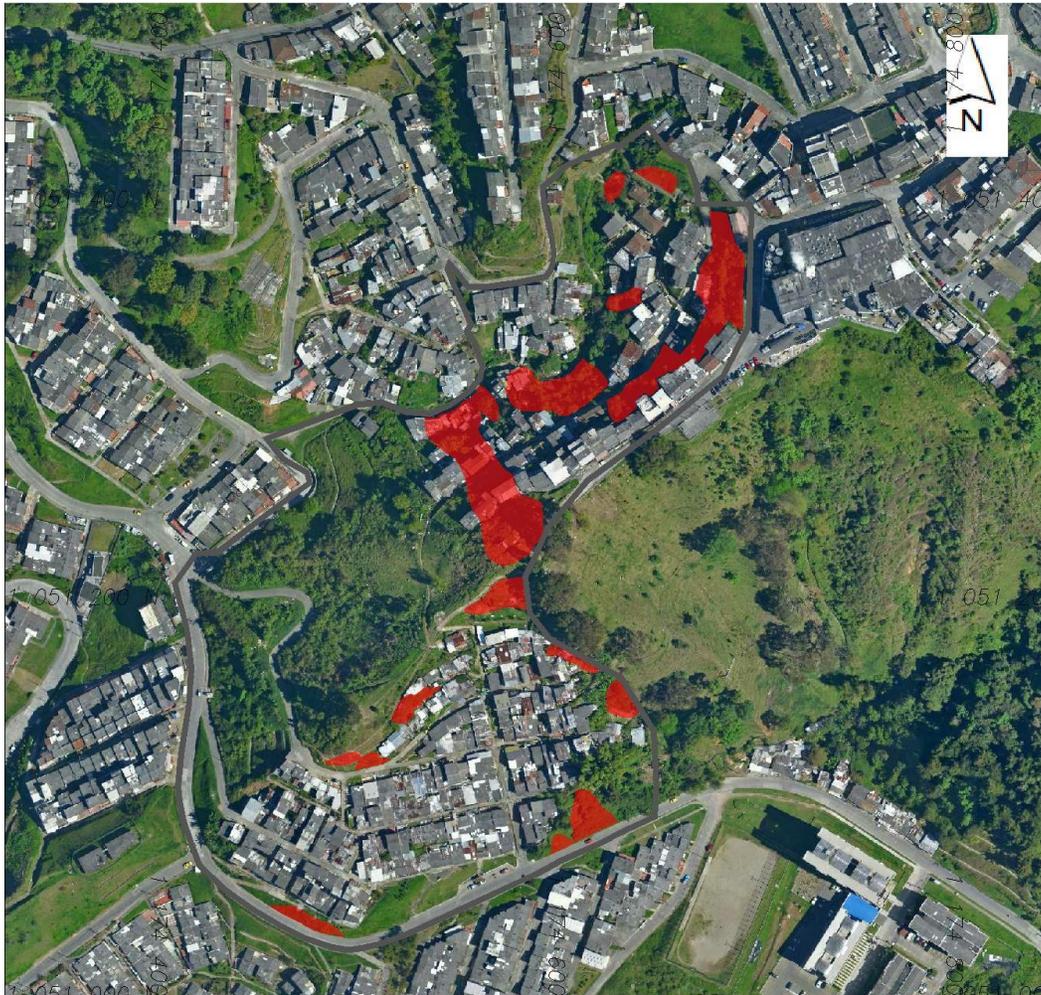


Figura 243. Mapa de procesos denudativos y erosivos actuales.

13.1 HIPÓTESIS DEL MECANISMO DE FALLA

Para la determinación del FS con el fin de poder evaluar la Amenaza por deslizamiento en la zona de estudio se toma como mecanismo de falla un talud infinito por falla planar ya que por las evidencias observadas en cada uno de los sitios inestables este es el modo de falla detectado. Y este modo de falla obedece a una serie de factores de carácter natural y antrópico que se resumen a continuación:

Factores Naturales

- Fuerte pendiente de la ladera que la hace susceptible a que se presenten fenómenos de inestabilidad.
- Laderas prolongadas favorecen la ocurrencia de fenómenos ya que permite grandes zonas de exposición para ser afectadas por las aguas de escorrentía y de infiltración.
- Suelos volcánicos porosos infrayacidos por depósitos de flujos de lodo muy consolidados y prácticamente impermeables. Este factor hace que sobre estas laderas prolongadas y de fuerte pendiente se infiltre el agua lluvia y alcance el contacto litológico generando entonces una lubricación de este plano de falla.
- Los periodos de lluvia intensos y prolongados típicos de esta región provocan aguaceros con precipitaciones superiores a 100 mm que

generan una saturación del terreno casi instantánea que este no es capaz de disipar.

- La zona al estar ubicada la región andina central se clasifica como de riesgo sísmico alto con eventos telúricos recurrentes que con el tiempo van generando fracturamiento y desconfinamiento de los depósitos parentales tipo flujo de lodo como los que se observan en la zona de estudio.

Factores Antrópicos

- La ausencia o deficiencia en el control urbano y ordenamiento territorial en estos barrios llamados sub-normales hace que los asentamientos humanos generen un conflicto importante ya que los colonos adecuan los terrenos sin ningún tipo de asesoría técnica y arrojan los materiales de excavación a media ladera sin un confinamiento.
- Adicionalmente muchas de estas construcciones irregulares son de alturas superiores a 3 pisos generando sobrecargas importantes en el terreno.
- La falta de obras de manejo de aguas lluvias provenientes de los techos generan saturaciones en sitios puntuales que agravan la condición de inestabilidad del terreno.
- La permanente disposición de escombros y basuras a lo largo de las laderas generan focos de sitios potencialmente inestables.

- Algunos sectores que ya fueron tratados tiempo atrás son invadidos por los colonos o son obstruidos por la presencia de escombros o basuras que estos arrojan.

Como se puede apreciar la problemática es muy compleja y la causa de la inestabilidad no puede ser adjudicada a un solo factor sino que obedece a la simultaneidad en tiempo y espacio de los factores antes mencionados.

14 ANÁLISIS DE AMENAZA POR DESLIZAMIENTO.

Esta etapa comprende tres fases principales: definir un modelos geológico – geotécnico, plantear escenarios de amenaza y zonificar la amenaza. Como resultado de estas fases y de la etapa de análisis en sí misma, se obtienen los mapas de amenaza.

La definición del modelo geológico – geotécnico incluye la consideración de los factores condicionantes de inestabilidad y están directamente relacionados con las características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas de las laderas, considerándose inherentes al área de estudio, dado que prácticamente no varían en el espacio o tiempo; debido a su compleja evaluación, los factores directamente relacionados con la intervención antrópica se incluyen como condicionantes, a pesar de que su variación espacio temporal puede ser frecuente. Como resultado de esta etapa se obtiene un mapa de zonas homogéneas desde el punto de vista de características y comportamiento esperado.

Factores como la lluvia y los sismos, que pueden modificar las condiciones de estabilidad de una ladera, se consideran detonantes y se deben evaluar en términos probabilísticos para la definición de escenarios de amenaza actuales y potenciales que determinaran las posteriores etapas de análisis de riesgos. La definición de escenarios permite caracterizar la amenaza en términos de ubicación, clasificación, material, tamaño. Distancia de viaje, velocidad y frecuencia de ocurrencia, para integrarla con los escenarios de vulnerabilidad en la fase de análisis de vulnerabilidad.



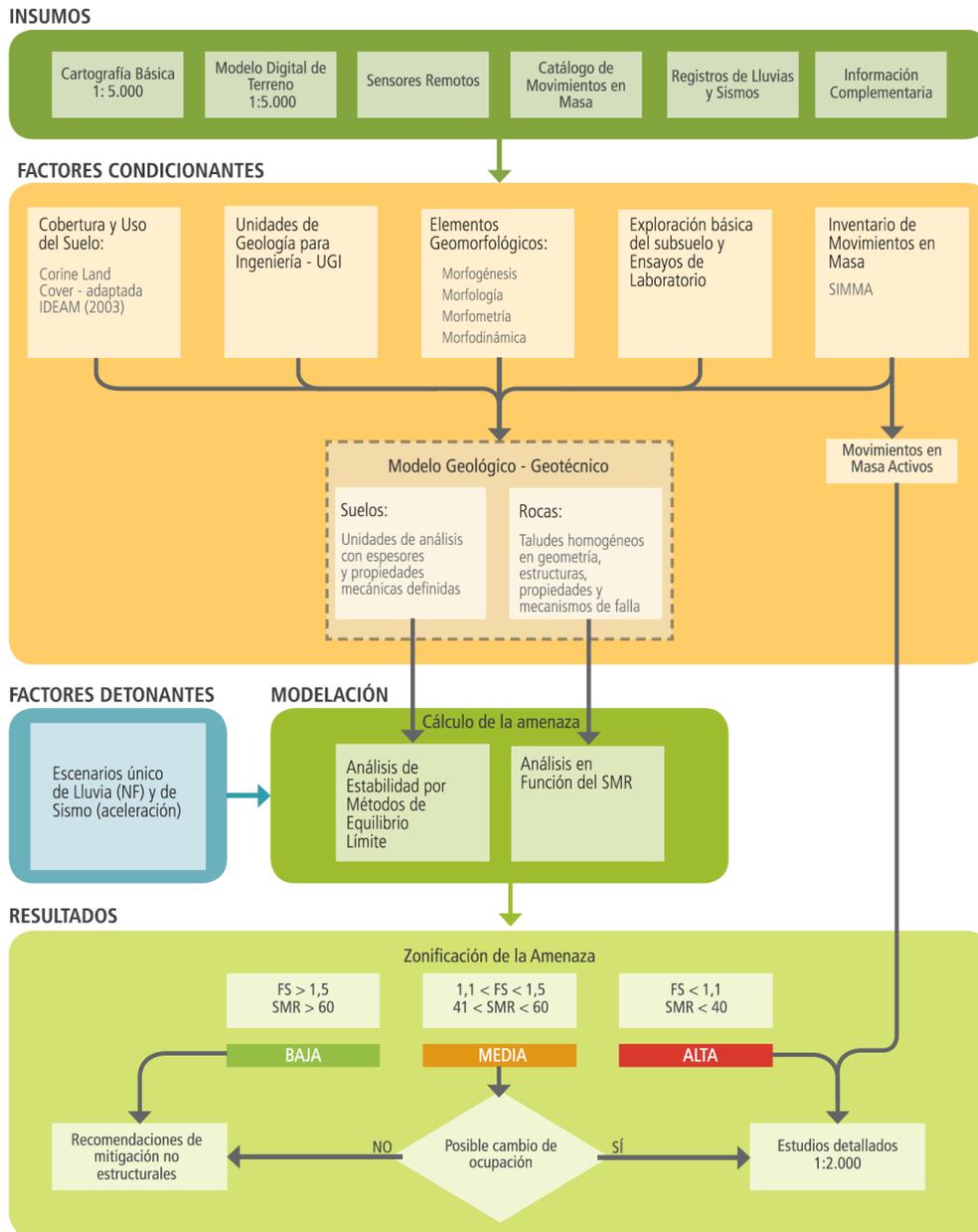
CORPOCALDAS



PIONEROS EN GESTIÓN DEL RIESGO

Al final del proceso se tendrá un mapa de zonificación de amenaza que permitirá la toma de decisiones en un primer nivel de conocimiento, para la aplicación de las posteriores fases y etapas para la elaboración de estudios de riesgo.

Figura 244. Zonificación básica de amenaza



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

14.1 ZONIFICACIÓN DE LA 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 realizara a partir de la siguiente matriz:

Tabla 38. 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 con sus respectivas áreas.

Tabla 39. Evaluación de Amenaza

NIVEL DE AMENAZA	ÁREA (Ha)	ÁREA (%)
Amenaza Alta	2.22	40.15%
Amenaza Media	0.99	17.90%
Amenaza Baja	2.32	41.95%

Los factores más importantes que se tienen en cuenta para determinar la amenaza son:

- Condiciones de susceptibilidad a fenómenos de inestabilidad de los suelos presentes en el área.
- Procesos de inestabilidad histórica ocurridos en el sector.
- Las condiciones intrínsecas del terreno (susceptibilidad - mapas de factores de propensividad) y a los factores de seguridad dinámicos.

Los rangos obtenidos para esta zonificación corresponden a

14.1.1 ÁREAS CON AMENAZA ALTA

Corresponden a sectores con condiciones morfométricas fuertes, asociada con sitios en los cuales han ocurrido fenómenos de movimientos en masa y con población en condiciones de alta vulnerabilidad.



Figura 245. Sector con amenaza alta ubicado en el sector central del área.

14.1.2 ÁREAS CON AMENAZA MEDIA

Condiciones moderadas de exposición a la amenaza.



Figura 246. Sector con amenaza media.

14.1.3 ÁREAS CON AMENAZA BAJA

Zonas con condiciones estables, para los cuales la población y las construcciones ubicadas allí no tienen probabilidad de exposición a fenómenos de amenaza natural.



Figura 247. Sector con amenaza baja.

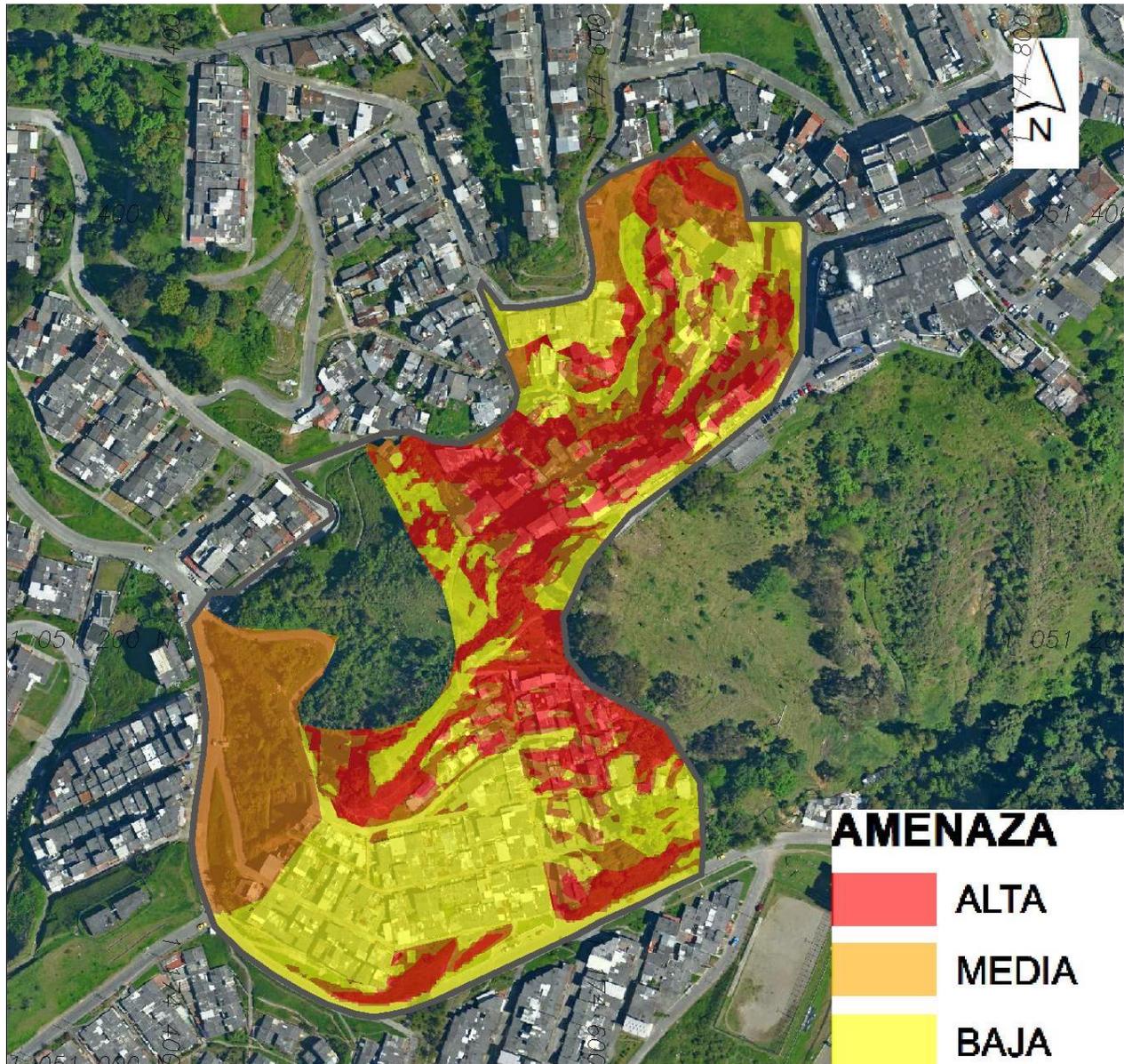


Figura 248. Mapa de amenaza de la zona de estudio

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.

Los lineamientos a seguir para la evaluación de la vulnerabilidad en una zona de amenaza alta, se describen a continuación:

15.1 IDENTIFICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LOS 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 40. 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	Población		

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 en este estudio comprende las edificaciones de ocupación normal (residencial y comercio) y la vulnerabilidad de la población en general teniendo en cuenta la vulnerabilidad física de las estructuras.

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).

15.2.1 TIPOLOGÍA

- Edificaciones

La siguiente tabla presenta las tipologías de edificaciones, en base a los trabajos de Heinimann (1999) y Jam (2007)

Calle 62. No. 23-61 Edificio Torre Plaza 62 Of. 904 Tel. 8813561 fax. 8813437. e-mail: quasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas	ESTUDIOS GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDRÁULICO Y MICROZONIFICACIÓN DEL RESGO POR DESLIZAMIENTO Y DISEÑOS DE LAS OBRAS DE ESTABILIDAD PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO EN EL BARRIO PERSIA. MUNICIPIO DE MANIZALES	Página 344
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------

Tabla 41. 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.
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	Edificaciones con muros cargueros, pero sin confinamiento adecuado (mampostería no reforzada). También hace referencia a

CÓDIGO	TIPO DE EDIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
	híbridas	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, pódicos y paneles de madera, y pódicos 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 C (mampostería reforzada), D (estructuras con confinamiento deficiente) y E (estructuras ligeras).

15.3 EXPOSICIÓN.

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

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

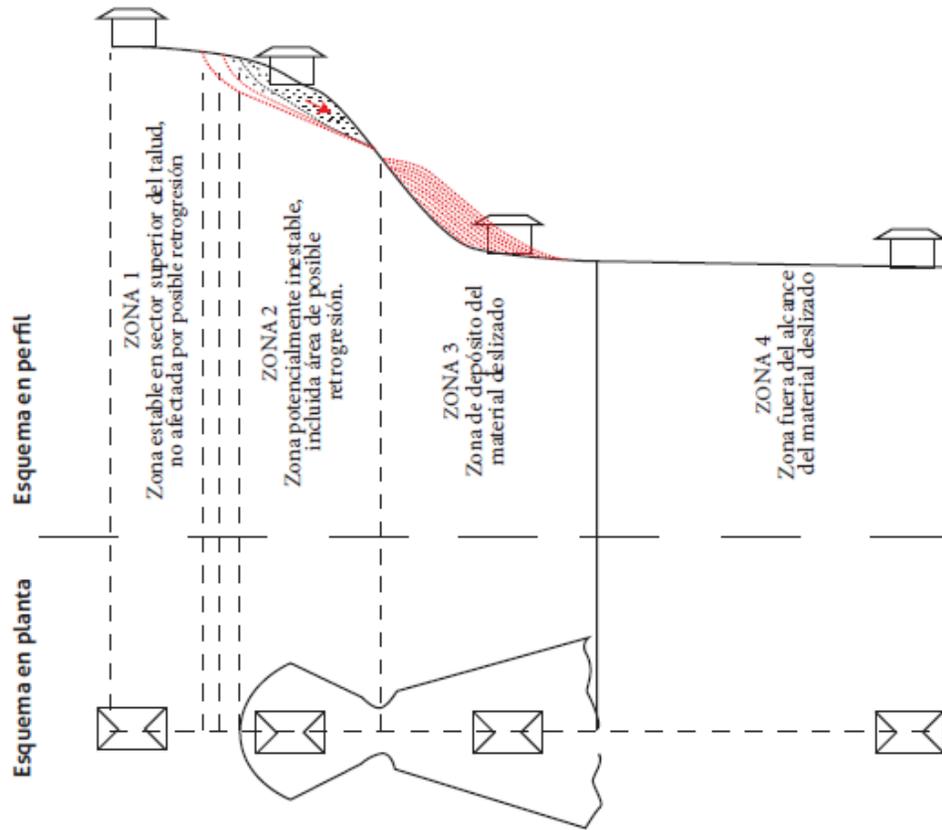


Figura 249. Zonas de exposición de los elementos ante movimientos en masa.

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

Tabla 42. 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.	

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

15.3.1 DISTANCIA DE VIAJE DEL MOVIMIENTO EN MASA

La distancia de viaje del movimiento en masa depende de la configuración geométrica de la ladera y del material que se desliza. De acuerdo con los sondeos realizados en la zona de estudio, se tiene que los espesores de los depósitos blandos (masa potencialmente inestable) varían entre los 0.4 y 9.0 m., por lo cual la distancia de viaje se calculará para ambos casos.

Se usará la ecuación obtenida en Hong Kong para determinar la distancia promedio de un talud de relleno:

$$\text{Log}L = 0.453 + 0.547\text{Log}H + 0.305\text{Log}\left(\frac{V}{W}\right)$$

Donde

- L Longitud de viaje en m
- H Profundidad de la masa desplazada en m
- V Volumen de la masa desplazada en m³
- W Peso del suelo (T/m³)

- Longitud de viaje para una profundidad de deslizamiento de 9.0 m

$$H = 9.0$$

$$V = 2898$$

$$W = 1.652$$

$$L = 92.13 \text{ m}$$

- Longitud de viaje para una profundidad de deslizamiento de 0.4 m

$$H = 0.4$$

$$V = 134.0$$

$$W = 1.652$$

$$L = 6.57 \text{ m}$$

De lo anterior se deduce que la distancia de viaje recorrida por un eventual movimiento en masa varía entre los 6.0 y los 92.0 m.

15.3.2 EXPOSICIÓN DE LAS EDIFICACIONES EN EL ESTUDIO

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 las zonas 2 y 3 de exposición.

Se entiende entonces, que las edificaciones en de la parte alta de la ladera, se encuentran en la zona potencialmente inestable (zona 2) y las que se ubican en la parte media y baja de la ladera, están sobre la trayectoria del movimiento en masa (zona 3).

De acuerdo con lo mencionado en la sección de la tipología de los elementos, las edificaciones presentan una vulnerabilidad alta por su método constructivo, sin embargo, el alcance que tiene el movimiento en masa hace que esta vulnerabilidad aumente o disminuya según la posición relativa de las construcciones con respecto a la masa deslizada.

15.4 FRAGILIDAD.

La fragilidad es la respuesta de los elementos expuestos ante los eventuales eventos de movimientos en masa.

Gracias a la identificación de los elementos expuestos, la fragilidad debe establecerse tanto en bienes físicos (edificaciones y líneas vitales) como en personas.

15.4.1 FRAGILIDAD EN EDIFICACIONES

La fragilidad de la edificación se evalúa a partir de cuatro parámetros definidos por Li et al. (2009), los cuales consideran el tipo de estructura, su altura, conservación y edad. Con esto, se obtienen ciertos factores para dar paso al cálculo de la fragilidad mediante la siguiente ecuación

$$S_e = 1 - (1 - S_{tip})(1 - S_{alt})(1 - S_{con})(1 - S_{ed})$$

Donde

S_e	Fragilidad de la estructura
S_{tip}	Factor de fragilidad por tipología
S_{alt}	Factor de fragilidad por altura
S_{con}	Factor de fragilidad por conservación
S_{ed}	Factor de fragilidad por edad

- Fragilidad por tipo de estructura S_{tip}

Teniendo en cuenta las tipologías de las edificaciones, se asigna un factor de resistencia establecido por Du et al. (2013), que se muestra en la siguiente tabla

Tabla 43. Factor de fragilidad por tipo de estructura.

TIPOLOGÍA		FRAGILIDAD	S _{tip}
F	Construcciones simples	Muy alta	1,00
E	Estructuras ligeras	Alta	0,90
D	Estructuras con confinamiento deficiente	Media	0,70
C	Mampostería reforzada	Baja	0,50
B	Edificaciones reforzadas	Muy baja	0,30
A	Edificaciones con reforzamiento especial	Extremadamente baja	0,10

Fuente: Heinimann, 1999, en Du et al., 2013

- Fragilidad por altura de la estructura S_{alt}

Los valores de estos parámetros dependen de la tipología y del número de pisos. Estos factores se basan en la propuesta de Li et al. (2010)

Tabla 44. Factor de fragilidad por altura de edificación.

TIPOLOGÍA	No. DE PISOS	S _{alt}
E, F	≥ 2	0,90
D	≥ 4	0,90
D	2 y 3	0,60
Demás tipologías y alturas		0,05

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

- Fragilidad por conservación de la estructura S_{con}

Los valores de fragilidad son propuestos por Du et al. (2013) y se califican de acuerdo al aspecto de la estructura.

Tabla 45. Factor de fragilidad por estado de conservación de la edificación

ESTADO DE CONSERVACIÓN	DESCRIPCIÓN	SEPARACIÓN DE GIRETAS (mm)	S_{con}
Muy bueno	No se observan deformaciones, agrietamiento o envejecimiento.	0	0,00
Bueno	Solo se observan daños superficiales leves en los acabados.	0 – 0,5	0,05
Deformaciones leves	Fisuras en juntas horizontales en los extremos superior e inferior de elementos verticales.	0,5 – 1,0	0,25
Deformaciones medias	Desplazamiento relativo o movimiento en el plano fuera de él (pandeo).	1,0 – 5,0	0,50
Deformaciones graves	Inclinaciones del elemento fuera de su plano vertical.	5,0 – 10,0	0,75
Deformaciones muy graves	Unidades de mampostería con fallas por aplastamiento. Concreto con fallas por aplastamiento.	>10,0	1,00

Fuente: Adaptado de Audell, 1996, consultada en Rodríguez y Jiménez, 2009.

- Factor de fragilidad por edad de la estructura S_{ed}
Según lo planteado por Du et al. (2013), este factor es función de la relación entre la vida útil de la edificación y sus respectivos años de servicio

Tabla 46. Factor de fragilidad por edad de la edificación.

RELACION AÑOS DE SERVICIO/VIDA ÚTIL	S_{ed}
$\leq 0,1$	0,05
0,1 – 0,4	0,10
0,4 – 0,6	0,30
0,6 – 0,8	0,50
0,8 – 1,0	0,70
1,0 – 1,2	0,80
$\geq 1,2$	1,00

Fuente: Du et al., 2013

En caso de no contar con la información de la vida útil de la estructura, esta se puede determinar según la tipología según la siguiente tabla

Tabla 47. Vida útil de las edificaciones.

TIPOLOGÍA	VIDA ÚTIL
A y B	50 años
C y D	30 años
E	15 años
F	1 – 2 años

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

Los valores cercanos a 1 indican que la estructura es muy frágil debido a sus características constructivas, de edad y de conservación. Los resultados obtenidos para cada edificación se muestran a continuación

Tabla 48. Evaluación de fragilidad de viviendas.

Formulario No.	Stip	Salt	Scon	Años servicio	Vida útil	Servicio/Vida	Sed	Se
1	0,9	0,9	1	7	15	0,47	0,3	1,00
2	0,5	0,05	1	7	30	0,23	0,1	1,00
3	0,5	0,05	1	7	30	0,23	0,1	1,00
4	0,9	0,7	1	7	15	0,47	0,3	1,00
5	0,5	0,05	1	7	30	0,23	0,1	1,00
6	0,9	0,05	1	7	15	0,47	0,3	1,00
7	0,9	0,9	1	7	15	0,47	0,3	1,00
8	0,9	0,9	1	7	15	0,47	0,3	1,00
9	0,9	0,9	1	7	15	0,47	0,3	1,00
10	0,9	0,05	1	7	15	0,47	0,3	1,00
11	0,9	0,05	1	6	15	0,40	0,3	1,00
12	0,9	0,05	1	7	15	0,47	0,3	1,00
13	0,9	0,9	1	7	15	0,47	0,3	1,00
14	0,9	0,9	1	7	15	0,47	0,3	1,00
15	0,9	0,9	1	7	15	0,47	0,3	1,00
16	0,5	0,05	1	7	30	0,23	0,1	1,00
17	0,5	0,05	1	7	30	0,23	0,1	1,00
001	0,5	0,05	0	70	30	2,33	1	1,00
002	0,5	0,05	0	56	30	1,87	1	1,00
003	0,7	0,6	0,25	53	30	1,77	1	1,00
004	0,9	0,9	0	50	15	3,33	1	1,00
005	0,7	0,6	0,75	52	30	1,73	1	1,00
006	0,7	0,6	0	50	30	1,67	1	1,00
007	0,5	0,05	0	48	30	1,60	1	1,00
008	0,7	0,6	0	40	30	1,33	1	1,00
009	0,7	0,6	0	30	30	1,00	0,8	0,98
010	0,7	0,6	1	28	30	0,93	0,7	1,00
011	0,5	0,05	0	50	30	1,67	1	1,00
012	0,5	0,05	0	28	30	0,93	0,7	0,86
013	0,5	0,05	0	35	30	1,17	0,8	0,91
014	0,9	0,9	0,75	30	15	2,00	1	1,00
015	0,9	0,9	0,75	28	15	1,87	1	1,00
016	0,5	0,05	0,25	25	30	0,83	0,7	0,89
017	0,9	0,9	1	25	15	1,67	1	1,00

Formulario No.	Stip	Salt	Scon	Años servicio	Vida útil	Servicio/Vida	Sed	Se
018	0,5	0,05	1	30	30	1,00	0,8	1,00
019	0,9	0,9	1	53	15	3,53	1	1,00
020	0,7	0,6	0,25	25	30	0,83	0,7	0,97
021	0,5	0,05	0	20	30	0,67	0,5	0,76
022	0,5	0,05	0	20	30	0,67	0,5	0,76
023	0,5	0,05	0	18	30	0,60	0,5	0,76
024	0,7	0,6	0,75	21	30	0,70	0,5	0,99
025	0,9	0,9	1	20	15	1,33	1	1,00
026	0,5	0,05	0	18	30	0,60	0,5	0,76
027	0,5	0,05	0,75	20	30	0,67	0,5	0,94
028	0,9	0,9	0	15	15	1,00	0,8	1,00
029	0,9	0,05	0,75	23	15	1,53	1	1,00
030	0,7	0,6	0,5	20	30	0,67	0,5	0,97
031	0,7	0,6	0,75	18	30	0,60	0,5	0,99
032	0,9	0,9	0	12	15	0,80	0,7	1,00
033	0,9	0,05	0,05	12	15	0,80	0,7	0,97
034	0,9	0,9	0	10	15	0,67	0,5	1,00
035	0,9	0,9	1	45	15	3,00	1	1,00
036	0,7	0,6	0,05	45	30	1,50	1	1,00
037	0,5	0,05	0	43	30	1,43	1	1,00
038	0,7	0,6	0	40	30	1,33	1	1,00
039	0,9	0,05	0	35	15	2,33	1	1,00
040	0,5	0,05	0	42	30	1,40	1	1,00
041	0,5	0,05	0	42	30	1,40	1	1,00
042	0,5	0,05	0	25	30	0,83	0,7	0,86
043	0,5	0,05	0	25	30	0,83	0,7	0,86
044	0,7	0,6	0	22	30	0,73	0,5	0,94
045	0,9	0,9	0,5	50	15	3,33	1	1,00
046	0,9	0,9	0,5	49	15	3,27	1	1,00
047	0,7	0,6	1	49	30	1,63	1	1,00
048	0,9	0,9	0	47	15	3,13	1	1,00
049	0,5	0,05	0	28	30	0,93	0,7	0,86
050	0,7	0,6	0	25	30	0,83	0,7	0,96
051	0,5	0,05	0	30	30	1,00	0,8	0,91
052	0,5	0,05	0	35	30	1,17	0,8	0,91
053	0,5	0,05	0	35	30	1,17	0,8	0,91
054	0,7	0,6	0,05	48	30	1,60	1	1,00
055	0,7	0,6	0	45	30	1,50	1	1,00
056	0,5	0,05	0	40	30	1,33	1	1,00
057	0,9	0,9	0	72	15	4,80	1	1,00
058	0,9	0,9	1	60	15	4,00	1	1,00
059	0,7	0,6	0,05	65	30	2,17	1	1,00

Formulario No.	Stip	Salt	Scon	Años servicio	Vida útil	Servicio/Vida	Sed	Se
060	0,5	0,05	0,25	38	30	1,27	1	1,00
061	0,7	0,6	0	40	30	1,33	1	1,00
062	0,9	0,9	0	25	15	1,67	1	1,00
063	0,7	0,6	0	35	30	1,17	0,8	0,98
064	0,5	0,05	0	35	30	1,17	0,8	0,91
065	0,7	0,6	0,5	30	30	1,00	0,8	0,99
066	0,7	0,6	0,5	56	30	1,87	1	1,00
067	0,5	0,05	0	45	30	1,50	1	1,00
068	0,9	0,05	0	40	15	2,67	1	1,00
069	0,7	0,6	0	50	30	1,67	1	1,00
070	0,9	0,9	0,05	60	15	4,00	1	1,00
071	0,7	0,6	0,25	55	30	1,83	1	1,00
072	0,7	0,6	0,05	60	30	2,00	1	1,00
073	0,7	0,9	0,05	60	30	2,00	1	1,00
074	0,7	0,6	0	60	30	2,00	1	1,00
075	0,9	0,9	0,25	10	15	0,67	0,5	1,00
076	0,7	0,6	0	3	30	0,10	0,05	0,89
077	0,7	0,6	0	7	30	0,23	0,1	0,89
078	0,9	0,9	0,05	7	15	0,47	0,3	0,99
079	0,5	0,05	1	10	30	0,33	0,1	1,00
080	0,7	0,6	0	10	30	0,33	0,1	0,89
081	0,9	0,9	0	7	15	0,47	0,3	0,99
082	0,9	0,9	0,5	10	15	0,67	0,5	1,00
083	0,5	0,05	0	20	30	0,67	0,5	0,76
084	0,5	0,05	0	25	30	0,83	0,7	0,86
085	0,5	0,05	0	15	30	0,50	0,3	0,67
086	0,9	0,9	0	25	15	1,67	1	1,00
087	0,5	0,05	0	15	30	0,50	0,3	0,67
088	0,5	0,05	0	15	30	0,50	0,3	0,67
089	0,7	0,6	0	20	30	0,67	0,5	0,94
090	0,7	0,05	0,5	15	30	0,50	0,3	0,90
091	0,9	0,05	0,25	25	15	1,67	1	1,00
092	0,5	0,05	0	15	30	0,50	0,3	0,67
093	0,5	0,05	0	15	30	0,50	0,3	0,67
094	0,5	0,05	0	13	30	0,43	0,3	0,67
095	0,5	0,05	0	15	30	0,50	0,3	0,67
096	0,5	0,05	0	15	30	0,50	0,3	0,67
097	0,7	0,6	0	39	30	1,30	1	1,00
098	0,5	0,05	0,25	40	30	1,33	1	1,00
099	0,7	0,6	0	39	30	1,30	1	1,00
100	0,9	0,9	0	39	15	2,60	1	1,00

Formulario No.	Stip	Salt	Scon	Años servicio	Vida útil	Servicio/Vida	Sed	Se
101	0,9	0,9	0	5	15	0,33	0,1	0,99
102	0,9	0,05	0,25	5	15	0,33	0,1	0,94
103	0,7	0,6	0	35	30	1,17	0,8	0,98
104	0,5	0,05	0	38	30	1,27	1	1,00
105	0,5	0,05	0,05	7	30	0,23	0,1	0,59
106	0,5	0,05	1	7	30	0,23	0,1	1,00
107	0,9	0,05	0,75	7	15	0,47	0,3	0,98
108	0,5	0,05	1	7	30	0,23	0,1	1,00
109	0,7	0,6	1	7	30	0,23	0,1	1,00
110	0,5	0,05	0,25	38	30	1,27	1	1,00
111	0,5	0,05	0	38	30	1,27	1	1,00
112	0,9	0,05	0,75	23	15	1,53	1	1,00
113	0,7	0,05	0	25	30	0,83	0,7	0,91
114	0,7	0,05	0	20	30	0,67	0,5	0,86
115	0,5	0,05	0	20	30	0,67	0,5	0,76
116	0,5	0,05	0	23	30	0,77	0,5	0,76
117	0,7	0,6	0,5	15	30	0,50	0,3	0,96
118	0,9	0,9	1	15	15	1,00	0,8	1,00
119	0,7	0,6	0,05	17	30	0,57	0,3	0,92
120	0,5	0,05	0,05	25	30	0,83	0,7	0,86
121	0,9	0,9	0	24	15	1,60	1	1,00
122	0,9	0,9	0,05	20	15	1,33	1	1,00
123	0,7	0,6	0,05	14	30	0,47	0,3	0,92
124	0,7	0,6	0,5	18	30	0,60	0,5	0,97
125	0,5	0,05	0	35	30	1,17	0,8	0,91
126	0,5	0,05	0	37	30	1,23	1	1,00
127	0,5	0,05	0	35	30	1,17	0,8	0,91
128	0,7	0,6	0	35	30	1,17	0,8	0,98
129	0,5	0,05	0	39	30	1,30	1	1,00
130	0,5	0,05	0	35	30	1,17	0,8	0,91
131	0,7	0,6	0,05	25	30	0,83	0,7	0,97
132	0,7	0,05	0,05	20	30	0,67	0,5	0,86
133	0,5	0,05	0,05	30	30	1,00	0,8	0,91
134	0,5	0,05	0,05	26	30	0,87	0,7	0,86
135	0,9	0,9	0,75	30	15	2,00	1	1,00
136	0,7	0,6	0,75	25	30	0,83	0,7	0,99
137	0,5	0,05	0,05	25	30	0,83	0,7	0,86
138	0,9	0,05	0,75	15	15	1,00	0,8	1,00
139	0,5	0,05	0	30	30	1,00	0,8	0,91
140	0,5	0,05	0	20	30	0,67	0,5	0,76

Formulario No.	Stip	Salt	Scon	Años servicio	Vida útil	Servicio/Vida	Sed	Se
141	0,5	0,05	0,25	20	30	0,67	0,5	0,82
142	0,9	0,9	0,05	34	15	2,27	1	1,00
143	0,5	0,05	0	25	30	0,83	0,7	0,86
144	0,5	0,05	0	35	30	1,17	0,8	0,91
145	0,7	0,6	0	38	30	1,27	1	1,00
146	0,5	0,05	0	32	30	1,07	0,8	0,91
147	0,7	0,6	0	30	30	1,00	0,8	0,98
148	0,5	0,05	0	30	30	1,00	0,8	0,91
149	0,5	0,05	0	33	30	1,10	0,8	0,91
150	0,5	0,05	0	30	30	1,00	0,8	0,91
151	0,5	0,05	0	25	30	0,83	0,7	0,86
152	0,7	0,6	0,25	33	30	1,10	0,8	0,98
153	0,5	0,05	0	25	30	0,83	0,7	0,86
154	0,5	0,05	0	30	30	1,00	0,8	0,91
155	0,5	0,05	0	30	30	1,00	0,8	0,91
156	0,5	0,05	0	30	30	1,00	0,8	0,91
157	0,5	0,05	0	30	30	1,00	0,8	0,91
158	0,5	0,05	0	30	30	1,00	0,8	0,91
159	0,5	0,05	0	20	30	0,67	0,5	0,76
160	0,5	0,05	0	25	30	0,83	0,7	0,86
161	0,5	0,05	0	25	30	0,83	0,7	0,86
162	0,5	0,05	0	35	30	1,17	0,8	0,91
163	0,9	0,9	0	35	15	2,33	1	1,00
164	0,5	0,05	0	30	30	1,00	0,8	0,91
165	0,5	0,05	0	30	30	1,00	0,8	0,91
166	0,5	0,05	0	30	30	1,00	0,8	0,91
167	0,7	0,6	0	30	30	1,00	0,8	0,98
168	0,5	0,05	0	9	30	0,30	0,1	0,57
169	0,5	0,05	0	20	30	0,67	0,5	0,76
170	0,5	0,05	0	20	30	0,67	0,5	0,76
171	0,5	0,05	0,05	32	30	1,07	0,8	0,91
172	0,5	0,05	0	25	30	0,83	0,7	0,86
173	0,5	0,05	0	25	30	0,83	0,7	0,86
174	0,5	0,05	0	13	30	0,43	0,3	0,67
175	0,5	0,05	0	30	30	1,00	0,8	0,91
176	0,5	0,05	0	35	30	1,17	0,8	0,91
177	0,7	0,6	0	34	30	1,13	0,8	0,98
178	0,5	0,05	0	34	30	1,13	0,8	0,91
179	0,9	0,9	0	34	15	2,27	1	1,00
180	0,5	0,05	0	35	30	1,17	0,8	0,91

Formulario No.	Stip	Salt	Scon	Años servicio	Vida útil	Servicio/Vida	Sed	Se
181	0,5	0,05	0	33	30	1,10	0,8	0,91
182	0,5	0,05	0	34	30	1,13	0,8	0,91
183	0,9	0,9	0	35	15	2,33	1	1,00
184	0,7	0,6	0	33	30	1,10	0,8	0,98
185	0,5	0,05	0	34	30	1,13	0,8	0,91
186	0,5	0,05	0	33	30	1,10	0,8	0,91
187	0,7	0,6	0,05	34	30	1,13	0,8	0,98
189	0,5	0,05	0	30	30	1,00	0,8	0,91
190	0,7	0,6	0	35	30	1,17	0,8	0,98
191	0,7	0,6	0,05	34	30	1,13	0,8	0,98
192	0,5	0,05	0	37	30	1,23	1	1,00
193	0,9	0,05	0	36	15	2,40	1	1,00
194	0,5	0,05	0	33	30	1,10	0,8	0,91
195	0,5	0,05	0	30	30	1,00	0,8	0,91
196	0,5	0,05	0,05	34	30	1,13	0,8	0,91
197	0,5	0,05	0	33	30	1,10	0,8	0,91
198	0,5	0,05	0	30	30	1,00	0,8	0,91
199	0,5	0,05	0	30	30	1,00	0,8	0,91
200	0,7	0,6	0	34	30	1,13	0,8	0,98
201	0,5	0,05	0	40	30	1,33	1	1,00
202	0,5	0,05	0	35	30	1,17	0,8	0,91
203	0,9	0,9	0,25	35	15	2,33	1	1,00
204	0,7	0,6	0	35	30	1,17	0,8	0,98
205	0,9	0,9	0,25	34	15	2,27	1	1,00
206	0,5	0,05	0	20	30	0,67	0,5	0,76
207	0,7	0,6	0,05	30	30	1,00	0,8	0,98
208	0,7	0,6	0,05	30	30	1,00	0,8	0,98
209	0,5	0,05	0	34	30	1,13	0,8	0,91
210	0,7	0,6	0	34	30	1,13	0,8	0,98
211	0,5	0,05	0	1	30	0,03	0,05	0,55
212	0,9	0,9	0	15	15	1,00	0,8	1,00
213	0,5	0,05	0	35	30	1,17	0,8	0,91
214	0,9	0,05	0,25	35	15	2,33	1	1,00
215	0,5	0,05	0	35	30	1,17	0,8	0,91
216	0,7	0,6	0	35	30	1,17	0,8	0,98
217	0,5	0,05	0	34	30	1,13	0,8	0,91
218	0,5	0,05	0	33	30	1,10	0,8	0,91
219	0,9	0,9	0	33	15	2,20	1	1,00
220	0,7	0,6	0,05	25	30	0,83	0,7	0,97
221	0,7	0,6	0,05	35	30	1,17	0,8	0,98

Formulario No.	Stip	Salt	Scon	Años servicio	Vida útil	Servicio/Vida	Sed	Se
222	0,5	0,05	0	23	30	0,77	0,5	0,76
223	0,5	0,05	0	35	30	1,17	0,8	0,91
224	0,5	0,05	0	30	30	1,00	0,8	0,91
225	0,5	0,05	0	30	30	1,00	0,8	0,91
226	0,7	0,6	0	32	30	1,07	0,8	0,98
227	0,5	0,05	0	30	30	1,00	0,8	0,91
228	0,5	0,05	0,05	30	30	1,00	0,8	0,91
229	0,5	0,05	0	30	30	1,00	0,8	0,91
230	0,7	0,6	0	30	30	1,00	0,8	0,98
231	0,5	0,05	0	35	30	1,17	0,8	0,91
232	0,5	0,05	0,25	35	30	1,17	0,8	0,93
233	0,7	0,6	0,05	38	30	1,27	1	1,00
234	0,5	0,05	0	30	30	1,00	0,8	0,91
235	0,5	0,05	0	30	30	1,00	0,8	0,91
236	0,5	0,05	0,05	32	30	1,07	0,8	0,91
237	0,5	0,05	0	32	30	1,07	0,8	0,91
238	0,5	0,05	0	32	30	1,07	0,8	0,91
239	0,5	0,05	0	32	30	1,07	0,8	0,91
240	0,5	0,05	0	32	30	1,07	0,8	0,91
241	0,5	0,05	0	30	30	1,00	0,8	0,91
242	0,5	0,05	0	37	30	1,23	1	1,00
243	0,5	0,05	0	30	30	1,00	0,8	0,91
244	0,5	0,05	0	30	30	1,00	0,8	0,91
245	0,7	0,6	0	33	30	1,10	0,8	0,98
246	0,5	0,05	0	34	30	1,13	0,8	0,91
247	0,5	0,05	0	30	30	1,00	0,8	0,91
248	0,5	0,05	0	30	30	1,00	0,8	0,91
249	0,5	0,05	0	32	30	1,07	0,8	0,91
250	0,5	0,05	0	30	30	1,00	0,8	0,91
251	0,5	0,05	0	30	30	1,00	0,8	0,91
252	0,5	0,05	0	30	30	1,00	0,8	0,91
253	0,5	0,05	0	30	30	1,00	0,8	0,91
254	0,5	0,05	0	30	30	1,00	0,8	0,91
255	0,9	0,9	0,5	2	15	0,13	0,1	1,00
256	0,5	0,05	0,05	10	30	0,33	0,1	0,59
257	0,9	0,9	1	5	15	0,33	0,1	1,00

15.5 ESCENARIOS DE VULNERABILIDAD. TIPOS DE DAÑO.

Para estimar la intensidad de los eventos, específicamente en este estudio, se consideran que en la zona de estudio el movimiento en masa será de alta velocidad de deformación

15.5.1 ESCENARIO DE ALTA VELOCIDAD DE DEFORMACIÓN

Este escenario tiene en cuenta los elementos expuestos de la zona 3, es decir, la zona de viaje del movimiento en masa. Se deduce que los elementos ubicados en la zona 2 se destruyen totalmente.

- Intensidad de movimientos rápidos en edificaciones

Según la propuesta realizada por Du et al. (2014), la intensidad de los eventos está ligada a la presión de impacto y a la profundidad, según se describe en la ecuación

$$I_{rap} = 1 - (1 - I_{f-pre}) (1 - I_{f-prof})$$

Donde

I_{rap}	Intensidad para movimientos rápidos
I_{f-pre}	Parámetro de intensidad debido a la presión
I_{f-pro}	Parámetro de intensidad debido a la profundidad

La intensidad debida a la presión se calcula teniendo en cuenta la relación entre la presión de impacto en la estructura y la presión límite que esta puede soportar

Tabla 49. Parámetro de intensidad por presión de impacto.

RELACIÓN PRESIÓN DE IMPACTO/PRESION HORIZONTAL LÍMITE DE LA ESTRUCTURA	lf-pre
<0,1	0,05
0,1 – 0,2	0,20
0,2 – 0,4	0,40
0,4 – 0,7	0,70
0,7 – 1,0	0,90
≥1,0	1,00

Fuente: Du et al., 2014.

La presión horizontal límite de las estructuras se puede obtener según la tipología de estas, como se muestra en la tabla

Tabla 50. Presión de falla según tipología de la estructura

TIPOLOGÍA		PRESIÓN LÍMITE DE LA ESTRUCTURA (kPa)
F	Construcciones simples	1
E	Estructuras ligeras	5
D	Estructuras con confinamiento deficiente	8
C	Mampostería reforzada	11
B	Edificaciones reforzadas	18
A	Edificaciones con reforzamiento especial	20

Fuente: Du et al., 2014

Para estimar la presión de impacto, solo se hace conocer la velocidad del movimiento y la densidad de la masa, para calcularla mediante la siguiente ecuación

$$P = \frac{1}{2} \rho v^2$$

Donde

- P Presión de impacto (kPa)
- ρ Densidad de la masa movida (kg/m^3)
- v Velocidad de la masa movida (m/s)

El parámetro de intensidad por profundidad del deslizamiento es función de la relación entre la profundidad del deslizamiento y la altura de la estructura

Tabla 51. Parámetro de intensidad por profundidad del deslizamiento

RELACIÓN PROFUNDIDAD DE DESLIZAMIENTO/ALTURA DE EDIFICACIÓN	lf-prof
<0,2	0,10
0,2 – 0,4	0,30
0,4 – 0,6	0,50
0,6 – 0,8	0,70
0,8 – 1,0	0,90
≥1,0	1,00

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

Los valores cercanos a 1 indican que la intensidad del evento es muy alta para los elementos expuestos a analizar. En este caso, se obtuvieron los siguientes valores

Tabla 52. Evaluación del escenario de vulnerabilidad

Formulario No.	Tipología	Presion limite	Relacion Pimpacto/Plimite	lf-pre	Altura de edificación	Relacion Prof.deslizamiento/Altura	lf-prof	Irap
1	E	5	16,52	1	4,00	1,18	1	1
2	C	11	7,51	1	4,00	1,18	1	1
3	C	11	7,51	1	4,40	1,07	1	1
4	E	5	16,52	1	4,40	1,07	1	1
5	C	11	7,51	1	4,40	1,07	1	1
6	E	5	16,52	1	2,20	2,14	1	1
7	E	5	16,52	1	4,00	1,18	1	1
8	E	5	16,52	1	4,40	1,07	1	1
9	E	5	16,52	1	6,90	0,68	0,7	1
10	E	5	16,52	1	2,20	2,14	1	1
11	E	5	16,52	1	2,20	2,14	1	1
12	E	5	16,52	1	2,00	2,35	1	1
13	E	5	16,52	1	4,40	1,07	1	1
14	E	5	16,52	1	4,40	1,07	1	1

Formulario No.	Tipologia	Presion limite	Relacion Pimpacto/Plimite	If-pre	Altura de edificación	Relacion Prof.deslizamiento/Altura	If-prof	Irap
15	E	5	16,52	1	4,40	1,07	1	1
16	C	11	7,51	1	4,60	1,02	1	1
17	C	11	7,51	1	4,60	1,02	1	1
001	C	11	7,51	1	4,20	1,12	1	1
002	C	11	7,51	1	7,60	0,62	0,7	1
003	D	8	10,33	1	5,00	0,94	0,9	1
004	E	5	16,52	1	4,20	1,12	1	1
005	D	8	10,33	1	4,40	1,07	1	1
006	D	8	10,33	1	4,40	1,07	1	1
007	C	11	7,51	1	4,40	1,07	1	1
008	D	8	10,33	1	4,40	1,07	1	1
009	D	8	10,33	1	4,40	1,07	1	1
010	D	8	10,33	1	4,40	1,07	1	1
011	C	11	7,51	1	4,40	1,07	1	1
012	C	11	7,51	1	4,60	1,02	1	1
013	C	11	7,51	1	11,00	0,43	0,5	1
014	E	5	16,52	1	5,00	0,94	0,9	1
015	E	5	16,52	1	4,40	1,07	1	1
016	C	11	7,51	1	4,20	1,12	1	1
017	E	5	16,52	1	4,20	1,12	1	1
018	C	11	7,51	1	4,40	1,07	1	1
019	E	5	16,52	1	4,00	1,18	1	1
020	D	8	10,33	1	4,60	1,02	1	1
021	C	11	7,51	1	6,40	0,73	0,7	1
022	C	11	7,51	1	4,60	1,02	1	1
023	C	11	7,51	1	4,40	1,07	1	1
024	D	8	10,33	1	4,60	1,02	1	1
025	E	5	16,52	1	4,40	1,07	1	1
026	C	11	7,51	1	6,40	0,73	0,7	1
027	C	11	7,51	1	6,40	0,73	0,7	1
028	E	5	16,52	1	2,50	1,88	1	1
029	E	5	16,52	1	6,00	0,78	0,7	1
030	D	8	10,33	1	4,40	1,07	1	1
031	D	8	10,33	1	6,40	0,73	0,7	1
032	E	5	16,52	1	4,40	1,07	1	1
033	E	5	16,52	1	4,20	1,12	1	1
034	E	5	16,52	1	4,40	1,07	1	1
035	E	5	16,52	1	4,20	1,12	1	1
036	D	8	10,33	1	4,40	1,07	1	1
037	C	11	7,51	1	4,60	1,02	1	1

Formulario No.	Tipologia	Presion limite	Relacion Pimpacto/Plimite	If-pre	Altura de edificación	Relacion Prof.deslizamiento/Altura	If-prof	Irap
038	D	8	10,33	1	4,60	1,02	1	1
039	E	5	16,52	1	4,60	1,02	1	1
040	C	11	7,51	1	4,40	1,07	1	1
041	C	11	7,51	1	4,40	1,07	1	1
042	C	11	7,51	1	4,40	1,07	1	1
043	C	11	7,51	1	4,40	1,07	1	1
044	D	8	10,33	1	4,40	1,07	1	1
045	E	5	16,52	1	4,40	1,07	1	1
046	E	5	16,52	1	4,60	1,02	1	1
047	D	8	10,33	1	4,60	1,02	1	1
048	E	5	16,52	1	4,40	1,07	1	1
049	C	11	7,51	1	4,40	1,07	1	1
050	D	8	10,33	1	4,60	1,02	1	1
051	C	11	7,51	1	4,60	1,02	1	1
052	C	11	7,51	1	4,60	1,02	1	1
053	C	11	7,51	1	4,40	1,07	1	1
054	D	8	10,33	1	4,60	1,02	1	1
055	D	8	10,33	1	4,40	1,07	1	1
056	C	11	7,51	1	4,60	1,02	1	1
057	E	5	16,52	1	5,00	0,94	0,9	1
058	E	5	16,52	1	5,00	0,94	0,9	1
059	D	8	10,33	1	4,60	1,02	1	1
060	C	11	7,51	1	6,40	0,73	0,7	1
061	D	8	10,33	1	6,60	0,71	0,7	1
062	E	5	16,52	1	4,40	1,07	1	1
063	D	8	10,33	1	6,40	0,73	0,7	1
064	C	11	7,51	1	2,00	2,35	1	1
065	D	8	10,33	1	6,60	0,71	0,7	1
066	D	8	10,33	1	4,40	1,07	1	1
067	C	11	7,51	1	6,60	0,71	0,7	1
068	E	5	16,52	1	2,50	1,88	1	1
069	D	8	10,33	1	4,40	1,07	1	1
070	E	5	16,52	1	4,20	1,12	1	1
071	D	8	10,33	1	4,20	1,12	1	1
072	D	8	10,33	1	4,20	1,12	1	1
073	D	8	10,33	1	9,00	0,52	0,5	1
074	D	8	10,33	1	7,00	0,67	0,7	1
075	E	5	16,52	1	4,50	1,04	1	1
076	D	8	10,33	1	5,00	0,94	0,9	1
077	D	8	10,33	1	6,00	0,78	0,7	1

Formulario No.	Tipologia	Presion limite	Relacion Pimpacto/Plimite	If-pre	Altura de edificación	Relacion Prof.deslizamiento/Altura	If-prof	Irap
078	E	5	16,52	1	4,00	1,18	1	1
079	C	11	7,51	1	5,00	0,94	0,9	1
080	D	8	10,33	1	4,5	1,04	1	1
081	E	5	16,52	1	6,3	0,75	0,7	1
082	E	5	16,52	1	6	0,78	0,7	1
083	C	11	7,51	1	7	0,67	0,7	1
084	C	11	7,51	1	2,1	2,24	1	1
085	C	11	7,51	1	2,3	2,04	1	1
086	E	5	16,52	1	4,6	1,02	1	1
087	C	11	7,51	1	4,2	1,12	1	1
088	C	11	7,51	1	6,3	0,75	0,7	1
089	D	8	10,33	1	4,2	1,12	1	1
090	D	8	10,33	1	2	2,35	1	1
091	E	5	16,52	1	2	2,35	1	1
092	C	11	7,51	1	4,6	1,02	1	1
093	C	11	7,51	1	4,6	1,02	1	1
094	C	11	7,51	1	6,9	0,68	0,7	1
095	C	11	7,51	1	4,6	1,02	1	1
096	C	11	7,51	1	6,9	0,68	0,7	1
097	D	8	10,33	1	4,6	1,02	1	1
098	C	11	7,51	1	6,3	0,75	0,7	1
099	D	8	10,33	1	4,2	1,12	1	1
100	E	5	16,52	1	4,6	1,02	1	1
101	E	5	16,52	1	4,2	1,12	1	1
102	E	5	16,52	1	2	2,35	1	1
103	D	8	10,33	1	4,2	1,12	1	1
104	C	11	7,51	1	4,2	1,12	1	1
105	C	11	7,51	1	4,2	1,12	1	1
106	C	11	7,51	1	4,2	1,12	1	1
107	E	5	16,52	1	2	2,35	1	1
108	C	11	7,51	1	2,1	2,24	1	1
109	D	8	10,33	1	4	1,18	1	1
110	C	11	7,51	1	4,2	1,12	1	1
111	C	11	7,51	1	2,1	2,24	1	1
112	E	5	16,52	1	2,2	2,14	1	1
113	D	8	10,33	1	2,1	2,24	1	1
114	D	8	10,33	1	2,3	2,04	1	1

Formulario No.	Tipologia	Presion limite	Relacion Pimpacto/Plimite	If-pre	Altura de edificación	Relacion Prof.deslizamiento/Altura	If-prof	Irap
115	C	11	7,51	1	6,3	0,75	0,7	1
116	C	11	7,51	1	6,9	0,68	0,7	1
117	D	8	10,33	1	4,6	1,02	1	1
118	E	5	16,52	1	5	0,94	0,9	1
119	D	8	10,33	1	4,2	1,12	1	1
120	C	11	7,51	1	4,6	1,02	1	1
121	E	5	16,52	1	4,2	1,12	1	1
122	E	5	16,52	1	4,2	1,12	1	1
123	D	8	10,33	1	6,3	0,75	0,7	1
124	D	8	10,33	1	6,3	0,75	0,7	1
125	C	11	7,51	1	6,9	0,68	0,7	1
126	C	11	7,51	1	6,3	0,75	0,7	1
127	C	11	7,51	1	7,5	0,63	0,7	1
128	D	8	10,33	1	4,2	1,12	1	1
129	C	11	7,51	1	4,2	1,12	1	1
130	C	11	7,51	1	6,3	0,75	0,7	1
131	D	8	10,33	1	5	0,94	0,9	1
132	D	8	10,33	1	2,3	2,04	1	1
133	C	11	7,51	1	6,9	0,68	0,7	1
134	C	11	7,51	1	6,9	0,68	0,7	1
135	E	5	16,52	1	4,2	1,12	1	1
136	D	8	10,33	1	4,2	1,12	1	1
137	C	11	7,51	1	6,3	0,75	0,7	1
138	E	5	16,52	1	2,3	2,04	1	1
139	C	11	7,51	1	4,2	1,12	1	1
140	C	11	7,51	1	4,2	1,12	1	1
141	C	11	7,51	1	4,6	1,02	1	1
142	E	5	16,52	1	4,2	1,12	1	1
143	C	11	7,51	1	6,3	0,75	0,7	1
144	C	11	7,51	1	6,3	0,75	0,7	1
145	D	8	10,33	1	4,2	1,12	1	1
146	C	11	7,51	1	4,6	1,02	1	1
147	D	8	10,33	1	4,6	1,02	1	1
148	C	11	7,51	1	4,2	1,12	1	1
149	C	11	7,51	1	4,2	1,12	1	1
150	C	11	7,51	1	2,1	2,24	1	1

Formulario No.	Tipología	Presion limite	Relacion Pimpacto/Plimite	If-pre	Altura de edificación	Relacion Prof.deslizamiento/Altura	If-prof	Irap
151	C	11	7,51	1	4,2	1,12	1	1
152	D	8	10,33	1	6,9	0,68	0,7	1
153	C	11	7,51	1	4,2	1,12	1	1
154	C	11	7,51	1	4,6	1,02	1	1
155	C	11	7,51	1	2,5	1,88	1	1
156	C	11	7,51	1	4,6	1,02	1	1
157	C	11	7,51	1	4,6	1,02	1	1
158	C	11	7,51	1	4,6	1,02	1	1
159	C	11	7,51	1	2,3	2,04	1	1
160	C	11	7,51	1	6,9	0,68	0,7	1
161	C	11	7,51	1	4,2	1,12	1	1
162	C	11	7,51	1	6,3	0,75	0,7	1
163	E	5	16,52	1	4,2	1,12	1	1
164	C	11	7,51	1	4,6	1,02	1	1
165	C	11	7,51	1	6,3	0,75	0,7	1
166	C	11	7,51	1	4,2	1,12	1	1
167	D	8	10,33	1	4,2	1,12	1	1
168	C	11	7,51	1	8	0,59	0,5	1
169	C	11	7,51	1	4,2	1,12	1	1
170	C	11	7,51	1	6,9	0,68	0,7	1
171	C	11	7,51	1	6,3	0,75	0,7	1
172	C	11	7,51	1	6,3	0,75	0,7	1
173	C	11	7,51	1	4,6	1,02	1	1
174	C	11	7,51	1	4,2	1,12	1	1
175	C	11	7,51	1	4,2	1,12	1	1
176	C	11	7,51	1	4,2	1,12	1	1
177	D	8	10,33	1	4	1,18	1	1
178	C	11	7,51	1	4	1,18	1	1
179	E	5	16,52	1	4	1,18	1	1
180	C	11	7,51	1	4,2	1,12	1	1
181	C	11	7,51	1	4,2	1,12	1	1
182	C	11	7,51	1	6	0,78	0,7	1
183	E	5	16,52	1	4,2	1,12	1	1
184	D	8	10,33	1	4	1,18	1	1
185	C	11	7,51	1	4,2	1,12	1	1
186	C	11	7,51	1	6,3	0,75	0,7	1

Formulario No.	Tipología	Presion limite	Relacion Pimpacto/Plimite	If-pre	Altura de edificación	Relacion Prof.deslizamiento/Altura	If-prof	Irap
187	D	8	10,33	1	4	1,18	1	1
189	C	11	7,51	1	4	1,18	1	1
190	D	8	10,33	1	6	0,78	0,7	1
191	D	8	10,33	1	4	1,18	1	1
192	C	11	7,51	1	4	1,18	1	1
193	E	5	16,52	1	2,1	2,24	1	1
194	C	11	7,51	1	2	2,35	1	1
195	C	11	7,51	1	8	0,59	0,5	1
196	C	11	7,51	1	2,1	2,24	1	1
197	C	11	7,51	1	6	0,78	0,7	1
198	C	11	7,51	1	6	0,78	0,7	1
199	C	11	7,51	1	4,2	1,12	1	1
200	D	8	10,33	1	4	1,18	1	1
201	C	11	7,51	1	4	1,18	1	1
202	C	11	7,51	1	4	1,18	1	1
203	E	5	16,52	1	4	1,18	1	1
204	D	8	10,33	1	4,2	1,12	1	1
205	E	5	16,52	1	4	1,18	1	1
206	C	11	7,51	1	4,2	1,12	1	1
207	D	8	10,33	1	4	1,18	1	1
208	D	8	10,33	1	4	1,18	1	1
209	C	11	7,51	1	4	1,18	1	1
210	D	8	10,33	1	4	1,18	1	1
211	C	11	7,51	1	2,1	2,24	1	1
212	E	5	16,52	1	4	1,18	1	1
213	C	11	7,51	1	6	0,78	0,7	1
214	E	5	16,52	1	2	2,35	1	1
215	C	11	7,51	1	4	1,18	1	1
216	D	8	10,33	1	6	0,78	0,7	1
217	C	11	7,51	1	4	1,18	1	1
218	C	11	7,51	1	6	0,78	0,7	1
219	E	5	16,52	1	4,2	1,12	1	1
220	D	8	10,33	1	4	1,18	1	1
221	D	8	10,33	1	4	1,18	1	1
222	C	11	7,51	1	4	1,18	1	1
223	C	11	7,51	1	6	0,78	0,7	1

Formulario No.	Tipología	Presion limite	Relacion Pimpacto/Plimite	If-pre	Altura de edificación	Relacion Prof.deslizamiento/Altura	If-prof	Irap
224	C	11	7,51	1	6	0,78	0,7	1
225	C	11	7,51	1	4	1,18	1	1
226	D	8	10,33	1	4	1,18	1	1
227	C	11	7,51	1	4	1,18	1	1
228	C	11	7,51	1	2	2,35	1	1
229	C	11	7,51	1	6	0,78	0,7	1
230	D	8	10,33	1	4	1,18	1	1
231	C	11	7,51	1	4	1,18	1	1
232	C	11	7,51	1	6	0,78	0,7	1
233	D	8	10,33	1	6	0,78	0,7	1
234	C	11	7,51	1	2	2,35	1	1
235	C	11	7,51	1	6	0,78	0,7	1
236	C	11	7,51	1	8	0,59	0,5	1
237	C	11	7,51	1	6	0,78	0,7	1
238	C	11	7,51	1	6	0,78	0,7	1
239	C	11	7,51	1	6	0,78	0,7	1
240	C	11	7,51	1	2	2,35	1	1
241	C	11	7,51	1	6	0,78	0,7	1
242	C	11	7,51	1	4	1,18	1	1
243	C	11	7,51	1	6	0,78	0,7	1
244	C	11	7,51	1	6	0,78	0,7	1
245	D	8	10,33	1	4	1,18	1	1
246	C	11	7,51	1	6	0,78	0,7	1
247	C	11	7,51	1	6	0,78	0,7	1
248	C	11	7,51	1	6	0,78	0,7	1
249	C	11	7,51	1	6	0,78	0,7	1
250	C	11	7,51	1	6	0,78	0,7	1
251	C	11	7,51	1	4	1,18	1	1
252	C	11	7,51	1	4	1,18	1	1
253	C	11	7,51	1	4	1,18	1	1
254	C	11	7,51	1	6	0,78	0,7	1
255	E	5	16,52	1	4	1,18	1	1
256	C	11	7,51	1	2	2,35	1	1
257	E	5	16,52	1	4	1,18	1	1



CORPOCALDAS



PIONEROS EN GESTIÓN DEL RIESGO

Lo anterior indica que todas las edificaciones son frágiles debido a su tipología constructiva, sin embargo, lo que las hace vulnerables es su posición relativa al desplazamiento en masa.

15.6 CÁLCULO Y ZONIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD.

15.6.1 CÁLCULO DE LA VULNERABILIDAD.

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 edificaciones 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 edificaciones 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.

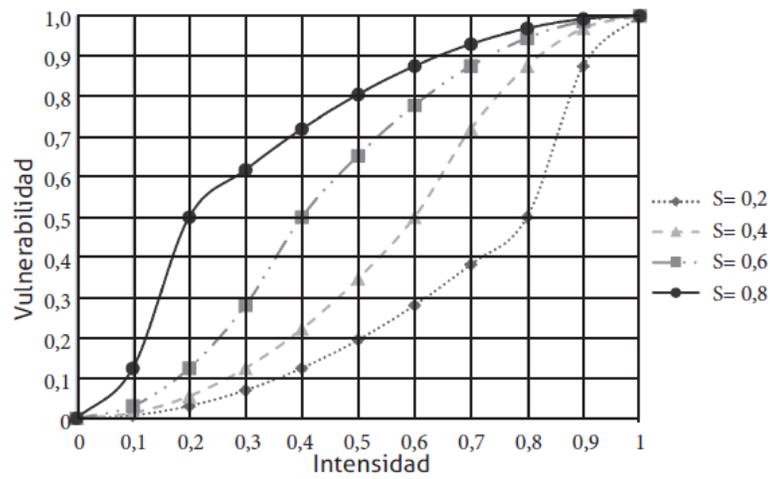


Figura 250. Curvas de fragilidad de los elementos expuestos

Fuente: Du et al., 2013

15.6.2 ZONIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD.

A partir de la realización de los cálculos de la vulnerabilidad para cada zona de amenaza alta, se establecen tres niveles de daño, 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

CLASIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	VALOR DE VULNERABILIDAD	NIVEL DE DAÑO
ALTA	0,50 – 1,00	Colapso total
MEDIA	0,10 – 0,50	Grave
BAJA	0,02 – 0,10	Moderado
	0,00 – 0,02	Leve

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

Tabla 54. Daños esperados según resultados de vulnerabilidad

CLASIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	EDIFICACIONES	RED VIAL	REDES DE ACUEDUCTO Y ALCANTATILLADO	REDES ELÉCTRICAS Y DE TELECOMUNICACIONES
ALTA	<p>Colapso parcial o total de la estructura.</p> <p>Rotura de muros.</p> <p>Destrucción total de acabados y accesorios.</p>	<p>Bloqueo total de la vía. Se afecta totalmente el tránsito de vehículos .</p>	<p>Rotura inminente de las tuberías.</p> <p>Interrupción del servicio. Es necesario reconstruir el tramo de la red.</p>	<p>Los postes son derribados o fragmentados. Las líneas de tensión se ven afectadas y se interrumpe el servicio.</p>
MEDIA	<p>Grietas anchas y profundas.</p> <p>Plastificación local de los elementos estructurales.</p> <p>Posible colapso de elementos no estructurales.</p> <p>Daños en los muros. Daño grave de acabados.</p>	<p>Parte del volumen deslizado reposa sobre la vía. Los vehículos pasan con dificultad .</p>	<p>Las tuberías se afectan e incluso se pueden romper. El servicio se ve disminuido. Es necesario reparar la red luego del evento.</p>	<p>Los postes son alcanzados por la masa deslizada, induciendo desplazamientos o inclinaciones en los postes sin comprometer las líneas de tensión y sin interrumpir el servicio.</p>
BAJA	<p>Grietas grandes y profundas.</p>	<p>No existe material</p>	<p>Las tuberías se desplazan</p>	<p>Los postes no son alcanzados por la</p>

CLASIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	EDIFICACIONES	RED VIAL	REDES DE ACUEDUCTO Y ALCANTATILLADO	REDES ELÉCTRICAS Y DE TELECOMUNICACIONES
	<p>Daños graves en elementos no estructurales.</p> <p>Quiebre de ventanas.</p> <p>Entrada de material a la edificación.</p> <p>Daños en pisos.</p>	<p>sobre la vía o el material que alcanzó la vía es fácilmente evadible por los vehículos .</p>	<p>levemente, sin sufrir daños y sin afectar el servicio.</p>	<p>masa del deslizamiento o son alcanzados con una energía de impacto baja que no les induce desplazamientos o daños.</p>
	<p>Grietas pequeñas.</p> <p>Despegues de pequeños pedazos de pañete, despegue de algunos ladrillos.</p>			

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

En cuanto a la vulnerabilidad de las personas, también se clasifica en tres rangos, que indican las posibilidades de lesiones serias o muy leves e inexistentes.

Tabla 55. Clasificación de la vulnerabilidad para las personas

CLASIFICACIÓN	RANGO DE VULNERABILIDAD	DESCRIPCIÓN
ALTA	0,5 – 1,0	Alta posibilidad de muerte o lesiones serias
MEDIA	0,2 – 0,5	Alta posibilidad de lesiones moderadas, pero baja probabilidad de muertes
BAJA	0,0 – 0,2	Probabilidad de muerte casi nula y lesiones muy leves o inexistentes

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

Tabla 56. Evaluación de vulnerabilidad

Formulario No.	Se	Irap	Vulnerabilidad
1	1,00	1	1
2	1,00	1	1
3	1,00	1	1
4	1,00	1	1
5	1,00	1	1
6	1,00	1	1
7	1,00	1	1
8	1,00	1	1
9	0,98	1	1
10	1,00	1	1
11	1,00	1	1
12	0,86	1	1
13	0,91	1	1
14	1,00	1	1
15	1,00	1	1
16	0,89	1	1
17	1,00	1	1

Formulario No.	Se	Irap	Vulnerabilidad
001	1,00	1	1
002	1,00	1	1
003	1,00	1	1
004	1,00	1	1
005	1,00	1	1
006	1,00	1	1
007	1,00	1	1
008	1,00	1	1
009	0,98	1	1
010	1,00	1	1
011	1,00	1	1
012	0,86	1	1
013	0,91	1	1
014	1,00	1	1
015	1,00	1	1
016	0,89	1	1
017	1,00	1	1
018	1,00	1	1
019	1,00	1	1
020	0,97	1	1
021	0,76	1	1
022	0,76	1	1
023	0,76	1	1
024	0,99	1	1
025	1,00	1	1
026	0,76	1	1
027	0,94	1	1
028	1,00	1	1
029	1,00	1	1
030	0,97	1	1
031	0,99	1	1
032	1,00	1	1
033	0,97	1	1
034	1,00	1	1
035	1,00	1	1
036	1,00	1	1
037	1,00	1	1
038	1,00	1	1
039	1,00	1	1
040	1,00	1	1
041	1,00	1	1

Formulario No.	Se	Irap	Vulnerabilidad
042	0,86	1	1
043	0,86	1	1
044	0,94	1	1
045	1,00	1	1
046	1,00	1	1
047	1,00	1	1
048	1,00	1	1
049	0,86	1	1
050	0,96	1	1
051	0,91	1	1
052	0,91	1	1
053	0,91	1	1
054	1,00	1	1
055	1,00	1	1
056	1,00	1	1
057	1,00	1	1
058	1,00	1	1
059	1,00	1	1
060	1,00	1	1
061	1,00	1	1
062	1,00	1	1
063	0,98	1	1
064	0,91	1	1
065	0,99	1	1
066	1,00	1	1
067	1,00	1	1
068	1,00	1	1
069	1,00	1	1
070	1,00	1	1
071	1,00	1	1
072	1,00	1	1
073	1,00	1	1
074	1,00	1	1
075	1,00	1	1
076	0,89	1	1
077	0,89	1	1
078	0,99	1	1
079	1,00	1	1
080	0,89	1	1
081	0,99	1	1
082	1,00	1	1

Formulario No.	Se	Irap	Vulnerabilidad
083	0,76	1	1
084	0,86	1	1
085	0,67	1	1
086	1,00	1	1
087	0,67	1	1
088	0,67	1	1
089	0,94	1	1
090	0,90	1	1
091	1,00	1	1
092	0,67	1	1
093	0,67	1	1
094	0,67	1	1
095	0,67	1	1
096	0,67	1	1
097	1,00	1	1
098	1,00	1	1
099	1,00	1	1
100	1,00	1	1
101	0,99	1	1
102	0,94	1	1
103	0,98	1	1
104	1,00	1	1
105	0,59	1	1
106	1,00	1	1
107	0,98	1	1
108	1,00	1	1
109	1,00	1	1
110	1,00	1	1
111	1,00	1	1
112	1,00	1	1
113	0,91	1	1
114	0,86	1	1
115	0,76	1	1
116	0,76	1	1
117	0,96	1	1
118	1,00	1	1
119	0,92	1	1
120	0,86	1	1

Formulario No.	Se	Irap	Vulnerabilidad
121	1,00	1	1
122	1,00	1	1
123	0,92	1	1
124	0,97	1	1
125	0,91	1	1
126	1,00	1	1
127	0,91	1	1
128	0,98	1	1
129	1,00	1	1
130	0,91	1	1
131	0,97	1	1
132	0,86	1	1
133	0,91	1	1
134	0,86	1	1
135	1,00	1	1
136	0,99	1	1
137	0,86	1	1
138	1,00	1	1
139	0,91	1	1
140	0,76	1	1
141	0,82	1	1
142	1,00	1	1
143	0,86	1	1
144	0,91	1	1
145	1,00	1	1
146	0,91	1	1
147	0,98	1	1
148	0,91	1	1
149	0,91	1	1
150	0,91	1	1
151	0,86	1	1
152	0,98	1	1
153	0,86	1	1
154	0,91	1	1
155	0,91	1	1
156	0,91	1	1
157	0,91	1	1
158	0,91	1	1

Formulario No.	Se	Irap	Vulnerabilidad
159	0,76	1	1
160	0,86	1	1
161	0,86	1	1
162	0,91	1	1
163	1,00	1	1
164	0,91	1	1
165	0,91	1	1
166	0,91	1	1
167	0,98	1	1
168	0,57	1	1
169	0,76	1	1
170	0,76	1	1
171	0,91	1	1
172	0,86	1	1
173	0,86	1	1
174	0,67	1	1
175	0,91	1	1
176	0,91	1	1
177	0,98	1	1
178	0,91	1	1
179	1,00	1	1
180	0,91	1	1
181	0,91	1	1
182	0,91	1	1
183	1,00	1	1
184	0,98	1	1
185	0,91	1	1
186	0,91	1	1
187	0,98	1	1
189	0,91	1	1
190	0,98	1	1
191	0,98	1	1
192	1,00	1	1
193	1,00	1	1
194	0,91	1	1
195	0,91	1	1
196	0,91	1	1
197	0,91	1	1

Formulario No.	Se	Irap	Vulnerabilidad
198	0,91	1	1
199	0,91	1	1
200	0,98	1	1
201	1,00	1	1
202	0,91	1	1
203	1,00	1	1
204	0,98	1	1
205	1,00	1	1
206	0,76	1	1
207	0,98	1	1
208	0,98	1	1
209	0,91	1	1
210	0,98	1	1
211	0,55	1	1
212	1,00	1	1
213	0,91	1	1
214	1,00	1	1
215	0,91	1	1
216	0,98	1	1
217	0,91	1	1
218	0,91	1	1
219	1,00	1	1
220	0,97	1	1
221	0,98	1	1
222	0,76	1	1
223	0,91	1	1
224	0,91	1	1
225	0,91	1	1
226	0,98	1	1
227	0,91	1	1
228	0,91	1	1
229	0,91	1	1
230	0,98	1	1
231	0,91	1	1
232	0,93	1	1
233	1,00	1	1
234	0,91	1	1
235	0,91	1	1

Formulario No.	Se	Irap	Vulnerabilidad
236	0,91	1	1
237	0,91	1	1
238	0,91	1	1
239	0,91	1	1
240	0,91	1	1
241	0,91	1	1
242	1,00	1	1
243	0,91	1	1
244	0,91	1	1
245	0,98	1	1
246	0,91	1	1
247	0,91	1	1
248	0,91	1	1
249	0,91	1	1
250	0,91	1	1
251	0,91	1	1
252	0,91	1	1
253	0,91	1	1
254	0,91	1	1
255	1,00	1	1
256	0,59	1	1
257	1,00	1	1

15.6.2.1 VULNERABILIDAD ALTA

Viviendas, infraestructura y personas en zona de alta vulnerabilidad ante un desplazamiento en masa de la ladera. Las condiciones estructurales de las viviendas (deficiente) y su ubicación en la trayectoria de un evento tipo deslizamiento, hace que las personas ubicadas allí sean susceptibles a sufrir daño.

El mapa de vulnerabilidad, se presenta a continuación

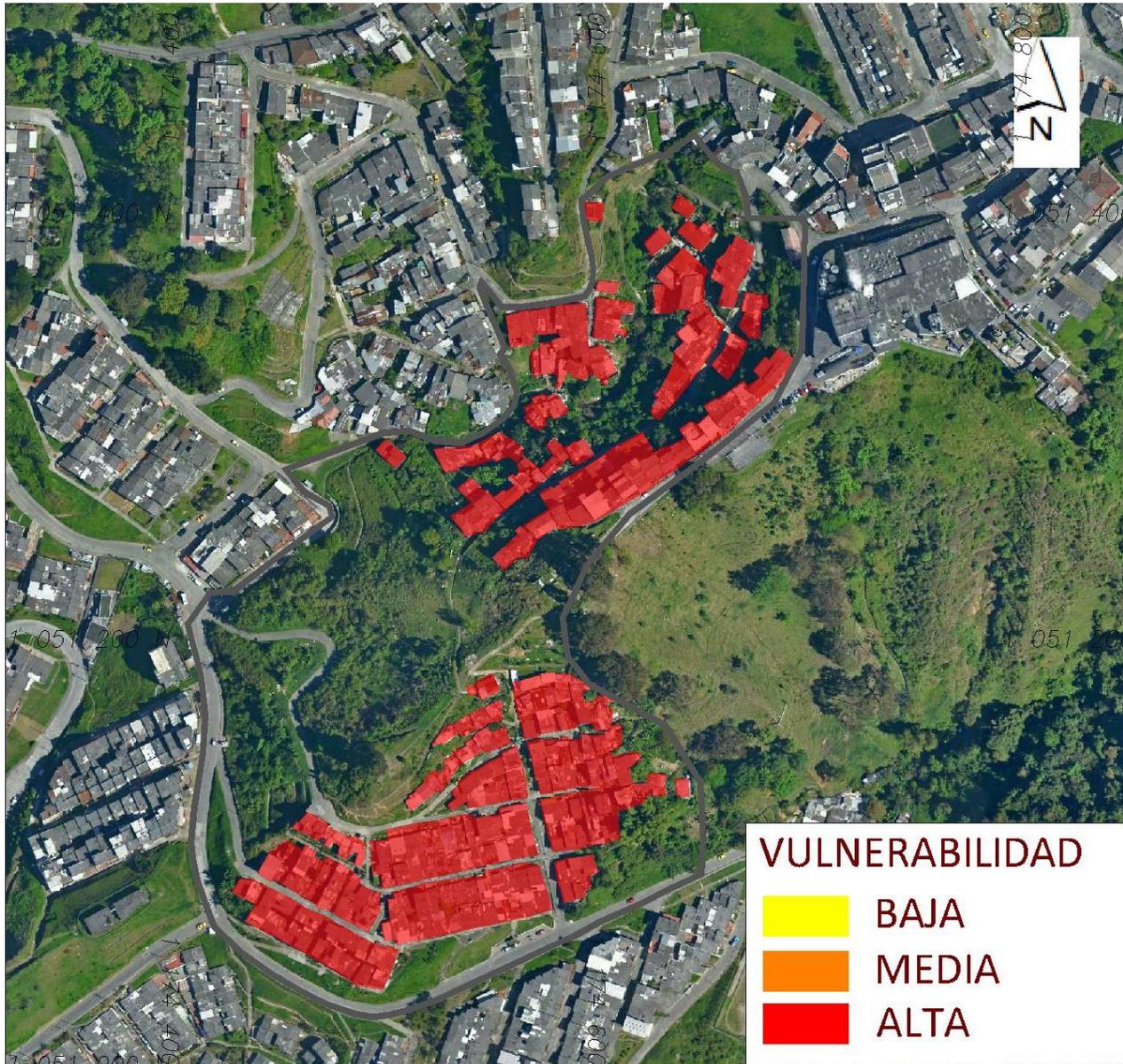


Figura 251 . Mapa de vulnerabilidad de la zona de estudio.

16 EVALUACIÓN DEL RIESGO.

16.1 EVALUACIÓN DEL RIESGO.

De acuerdo a los resultados obtenidos en las evaluaciones de susceptibilidad y vulnerabilidad, se pueden definir categorías de riesgo y posibles tipos de intervenciones para mitigarlo.

Para fijar la aceptabilidad del riesgo, se debe realizar la superposición de mapas de susceptibilidad y vulnerabilidad, a fin de conocer y estimar los posibles daños que se presenten en las edificaciones del sector y su posibilidad de mitigación.

Después de realizar los procesos descritos anteriormente, se generan las siguientes categorías de riesgo

EVALUACIÓN DE RIESGO				
		AMENAZA		
		ALTA	MEDIA	BAJA
VULNERABILIDAD	ALTA	Alto	Alto	Medio
	MEDIA	Alto	Medio	Bajo
	BAJA	Medio	Bajo	Bajo

16.1.1 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, según las siguientes tablas

Tabla 57. Riesgo en bienes físicos

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
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.
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.
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)

16.1.2 CATEGORÍAS DEL RIESGO Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN.

De acuerdo a 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.

Tabla 58. Intervenciones según cada categoría

CATEGORÍA DE RIESGO	INTERVENCIÓN EN ÁREAS NO OCUPADAS	INTERVENCIÓN EN ÁREAS OCUPADAS	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 y proteger el área.
BAJO	Controlar el aumento de la amenaza y prevenir el aumento del riesgo	Sin condicionantes	Controlar el aumento de la amenaza.

Fuente: Adaptado de Mendes, 2013, en Cardona, 2013.

Tabla 59. Distribución del riesgo por deslizamiento en la zona de estudio

RIESGO	ÁREA (Ha)	ÁREA (%)
Riesgo Bajo	1.38	24.95%
Riesgo Medio	2.35	42.50%
Riesgo Alto	1.80	32.55%



Figura 252. Mapa de Riesgo.

Riesgo bajo: Viviendas que a pesar de su nivel de vulnerabilidad, cuentan con la presencia de obras de infraestructura fuertes, las cuales brindan una mejor estabilidad al terreno, generando así una disminución en la amenaza por deslizamiento

Riesgo medio: Viviendas con un alto nivel de vulnerabilidad, expuestas en cierta medida a un nivel medio alto de amenaza. Laderas cuyas características morfométricas y geológicas presentan una susceptibilidad media a alta ante eventos de remoción en masa

Riesgo alto: Viviendas con un alto nivel de vulnerabilidad, expuestas a una amenaza alta por deslizamiento. Laderas cuyas características morfométricas y geológicas hacen que se tenga una gran susceptibilidad ante deslizamientos.

16.1.3 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 debe realizar una aproximación económica que 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

Cuando los costos de reubicación son mayores que los costos de las medidas propuestas, el riesgo es no 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 mitigable.

Finalmente, se debe realizar la zonificación del riesgo, presentando los resultados mediante un mapa con sus diferentes categorías.

Con los datos obtenidos en la evaluación de vulnerabilidad de las edificaciones, se pudo realizar una aproximación del costo de reubicación de las mismas, a partir de su área total construida. Se estima que dicho costo es de \$1.000.000 por metro cuadrado, considerando que éste es el valor promedio para viviendas de interés social. Los resultados se muestran en la tabla a continuación

Tabla 60. Valor de edificaciones.

FORMULARIO	Área total construida (m2)	Valor/m2	Valor total
001	110,00	\$ 1 000 000,00	\$ 110 000 000,00
002	88,00	\$ 1 000 000,00	\$ 88 000 000,00
003	160,00	\$ 1 000 000,00	\$ 160 000 000,00
004	169,00	\$ 1 000 000,00	\$ 169 000 000,00
005	160,00	\$ 1 000 000,00	\$ 160 000 000,00
006	83,70	\$ 1 000 000,00	\$ 83 700 000,00
007	87,00	\$ 1 000 000,00	\$ 87 000 000,00
008	88,00	\$ 1 000 000,00	\$ 88 000 000,00
009	125,00	\$ 1 000 000,00	\$ 125 000 000,00
010	43,00	\$ 1 000 000,00	\$ 43 000 000,00
011	40,00	\$ 1 000 000,00	\$ 40 000 000,00
012	20,00	\$ 1 000 000,00	\$ 20 000 000,00
013	37,00	\$ 1 000 000,00	\$ 37 000 000,00
014	66,00	\$ 1 000 000,00	\$ 66 000 000,00
015	63,00	\$ 1 000 000,00	\$ 63 000 000,00
023	33,00	\$ 1 000 000,00	\$ 33 000 000,00
025	30,00	\$ 1 000 000,00	\$ 30 000 000,00
026	35,00	\$ 1 000 000,00	\$ 35 000 000,00
027	20,00	\$ 1 000 000,00	\$ 20 000 000,00
028	20,00	\$ 1 000 000,00	\$ 20 000 000,00
029	10,00	\$ 1 000 000,00	\$ 10 000 000,00
079	49,50	\$ 1 000 000,00	\$ 49 500 000,00
099	33,00	\$ 1 000 000,00	\$ 33 000 000,00
100	32,00	\$ 1 000 000,00	\$ 32 000 000,00
121	40,00	\$ 1 000 000,00	\$ 40 000 000,00
122	30,00	\$ 1 000 000,00	\$ 30 000 000,00
131	40,50	\$ 1 000 000,00	\$ 40 500 000,00

132	27,00	\$ 1 000 000,00	\$ 27 000 000,00
133	45,00	\$ 1 000 000,00	\$ 45 000 000,00
135	45,00	\$ 1 000 000,00	\$ 45 000 000,00
255	31,00	\$ 1 000 000,00	\$ 31 000 000,00
256	42,00	\$ 1 000 000,00	\$ 42 000 000,00
257	24,00	\$ 1 000 000,00	\$ 24 000 000,00
		TOTAL	\$ 1 926 700 000,00

Teniendo en cuenta que el número de frentes de intervención para la mitigación del riesgo dentro del Barrio Persia es significativo, se estima que el costo de las obras propuestas para todo el sector, superarían en gran medida, el costo de la reubicación de las viviendas localizadas en los puntos de más alto riesgo. Por lo tanto, se define que en estos puntos se tiene un riesgo alto no mitigable; en consecuencia, se opta por la candidatura de dichas edificaciones a planes de reubicación de vivienda. No obstante, es pertinente aclarar que dentro de la línea de la prevención impulsadas por las entidades interesadas en este proyecto, se hace necesario adelantar las obras propuestas, no sólo para la intervención de fenómenos de inestabilidad de gran escala, sino también las obras propuestas para el mejoramiento integral del barrio.

Tabla 61. Distribución mitigabilidad del riesgo en la zona de estudio

RIESGO	ÁREA (Ha)	ÁREA (%)
Riesgo mitigable	4.09	73.96%
Riesgo no mitigable	1.44	26.04%

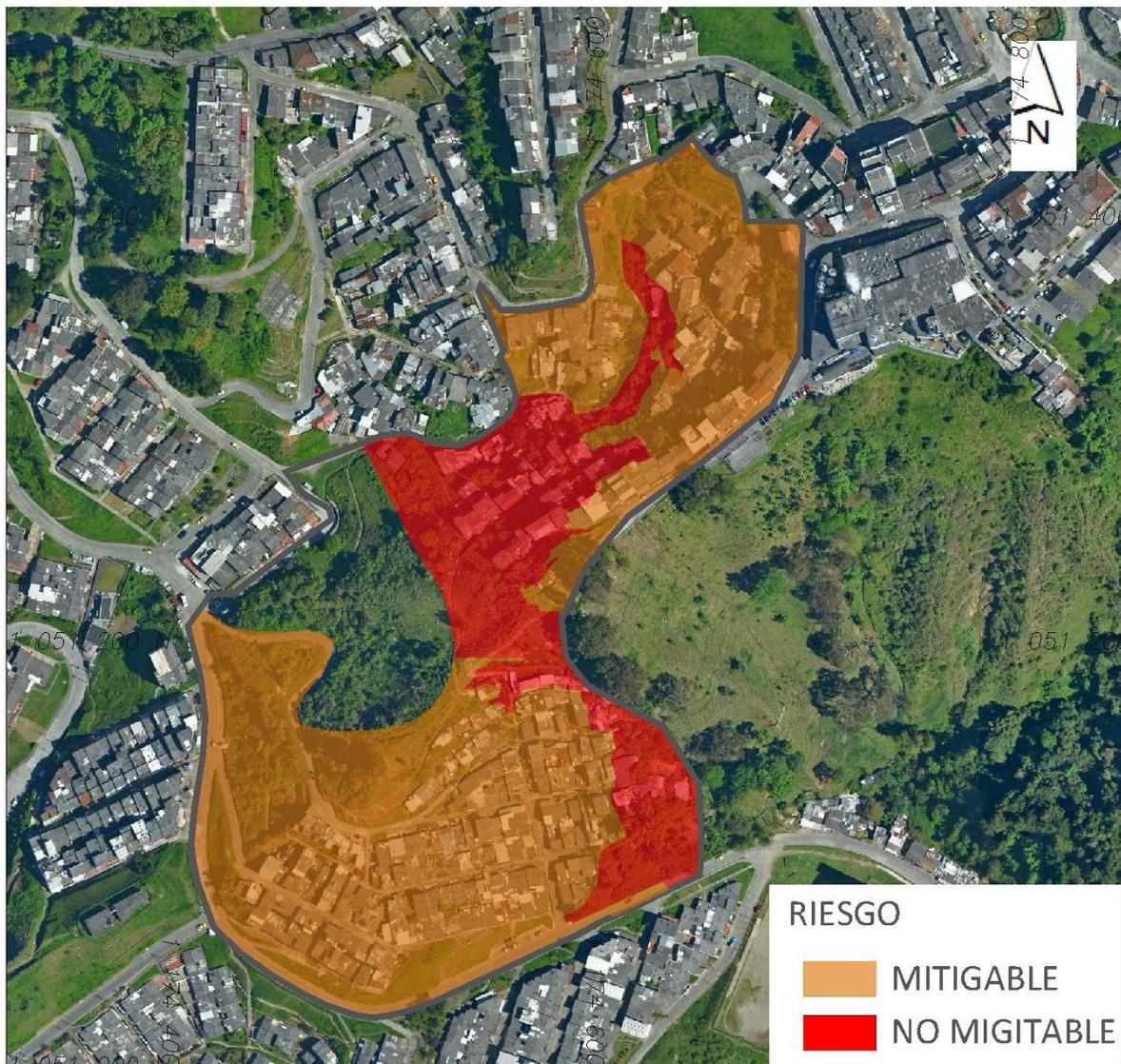


Figura 253. Mapa de Riesgo Mitigable y No Mitigable

Riesgo mitigable: Zonas en las cuales se puede reducir el riesgo por deslizamiento por medio de obras de estabilidad y de manejo de aguas, ya sean de alto nivel u obras típicas (Zona azul en el mapa)

Riesgo no mitigable: Zonas en las cuales el alto nivel de riesgo restringe el desarrollo y permanencia de estructuras urbanas (líneas vitales, viviendas unifamiliares y multifamiliares, infraestructura urbana). Esta zona se representa en color rojo en el mapa anterior.

17 OBRAS PROPUESTAS PARA LA MITIGACIÓN DEL RIESGO

Dependiendo de la complejidad de los fenómenos de inestabilidad que se presentan en toda el área objeto de este estudio, se identifican zonas en las cuales se hace necesario realizar obras mayores de contención y de mitigación del riesgo debido a que se presentan fenómenos de remoción en masa mayores; y otros lugares puntuales en los que solo se requiere realizar algunas obras típicas para el mejoramiento integral de estos sitios. El presente capítulo, describe las obras que se proponen en los sitios que presentan fenómenos de inestabilidad.

17.1 OBRAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO PARA FENÓMENOS DE INESTABILIDAD MAYORES.

17.1.1 SITIO 0

17.1.1.1 ESTRUCTURA DE CONTENCIÓN

Para este sector se propone una obra de contención compuesta por una pantalla en concreto reforzado hacia la parte baja del talud, de 2.5 metros de altura. Esta pantalla de 0.20 m de espesor, estará acompañada por una serie de Caissons de 1.0 m de diámetro de campana sobre los cuales se apoyan columnas circulares de 1.0 m de diámetro. Tanto los Caisson como las columnas tienen una separación de 3.0 m entre sí.

Adicionalmente se tendrán a media ladera, pantallas pasivas en concreto reforzado de 0.15 m de espesor y con una inclinación de 45°. Para estas pantallas se tendrán anclajes pasivos de 8.50 m y 5.50 m de longitud, y de refuerzo de $\frac{3}{4}$ " , y estarán cimentadas sobre vigas de 0.35x0.30 m.

17.1.1.2 ESTRUCTURAS DE MANEJO DE AGUAS

Para el manejo de aguas sub superficiales, se propone la instalación de dos baterías de drenes horizontales de 25.0 m de longitud, separados cada 5.0 m, los cuales entregarán sus aguas a zanjas colectoras.

En cuanto al manejo de aguas de escorrentía, se proponen zanjas colectoras ubicadas a lo largo del talud y en la base de las pantallas en concreto reforzado, que tendrán una sección mínima trapezoidal de 30.0 cm en la base menor, 40.0 cm en la base mayor, y 30.0 cm de altura. Estas, a su vez entregarán sus aguas a un canal escalonado de 0.70 m x 0.50 m y estarán ubicados de tal forma que sus entregas sean fáciles de empalmar al sistema de alcantarillado.

17.1.2 SITIO 1

17.1.2.1 PERFILADO DE LOS TALUDES

Debido al fenómeno de inestabilidad presentado en la zona, se hace necesaria la remoción de la capa inestable, mediante el perfilado del talud, con inclinaciones acordes a las pendientes observadas en el terreno.

17.1.2.2 ESTRUCTURAS DE MANEJO DE AGUAS

Para el manejo de aguas sub superficiales, se propone la instalación de dos baterías de drenes horizontales de 25.0 m de longitud, separados cada 5.0 m, los cuales entregarán sus aguas a zanjas colectoras.

En cuanto al manejo de aguas de escorrentía, se proponen bermas con presencia de zanjas colectoras ubicadas de acuerdo a las condiciones morfométricas del talud, procurando en la parte superior, generar una distancia horizontal de 7.14 m y en la parte inferior, a una distancia horizontal de 2.9 m, que tendrán una sección mínima trapezoidal de 30.0 cm en la base menor, 40.0 cm en la base mayor, y 30.0 cm de altura. Estas, a su vez entregarán sus aguas a un canal escalonado de 1.00 m x 0.70 m y estarán ubicados de tal forma que sus entregas sean fáciles de empalmar al sistema de alcantarillado.

17.1.2.3 OBRAS DE CONTROL DE EROSIÓN

Los taludes perfilados, que se mencionan anteriormente deben ser empradizados mediante cespedones u otro material similar, con el fin de prevenir procesos erosivos futuros.

17.1.3 SITIO 4

17.1.3.1 ESTRUCTURA DE CONTENCIÓN

Para este sector se propone una obra de contención compuesta por un sistema de anclajes activos de 4 torones de ½", de 20.0 m de longitud y 10.0 m de bulbo. La separación de estos anclajes es de aproximadamente 5.0 m, distancia sujeta a variaciones en campo debido a las condiciones morfométricas del talud.

17.1.3.2 ESTRUCTURAS DE MANEJO DE AGUAS

Para el manejo de aguas sub superficiales, se propone la instalación de dos baterías de drenes horizontales de 15.0 m de longitud y separados cada 10.0 m sobre la batería superior y de 30.0 m de longitud sobre la batería ubicada en la base del talud, separados cada 10.0 m, los cuales entregarán sus aguas a zanjias colectoras.

En cuanto al manejo de aguas de escorrentía, se propone la recuperación y mantenimiento de las zanjas colectoras existentes a lo largo del talud, y la construcción de una zanja colectoras trapezoidal en concreto reforzado sobre la base del talud que tendrá una sección mínima trapezoidal de 30.0 cm en la base menor, 40.0 cm en la base mayor, y 30.0 cm de altura. Esta zanja colectoras estará ubicada de tal forma que sus entregas sean fáciles de empalmar al sistema de alcantarillado.

17.2 OBRAS TÍPICAS PARA EL MEJORAMIENTO INTEGRAL DE LA ZONA

Estas obras, como se mencionó anteriormente, tienen como función mitigar el riesgo por deslizamiento en donde se observan fenómenos de baja magnitud, o donde existe la posibilidad de ocurrencia de un movimiento en masa. Las zonas seleccionadas para contar con este tipo de obras, se muestran en el mapa temático No. 9.

Con el fin de mitigar el riesgo por deslizamiento en los puntos que requieren mejoramiento, se realiza una propuesta de obras de estabilidad y manejo de aguas de tipo:

17.2.1 ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN

Las estructuras de contención propuestas son del tipo muros atirantados con anclajes tipo pasivo con las siguientes características:

<p>Calle 62. No. 23-61 Edificio Torre Plaza 62 Of. 904 Tel. 8813561 fax. 8813437. e-mail: quasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIOS GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDRÁULICO Y MICROZONIFICACIÓN DEL RESGO POR DESLIZAMIENTO Y DISEÑOS DE LAS OBRAS DE ESTABILIDAD PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO EN EL BARRIO PERSIA. MUNICIPIO DE MANIZALES</p>	<p>Página 405</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------

Para alturas menores a 8.0 m:

- Longitud de anclaje mínima: 5.50 m.
- Separación máxima de anclajes: Cada 1.50 m (tanto en el sentido vertical como horizontal).
- Diámetro de la perforación: 10.0 cm.
- Tipo de mortero: Mortero 1:1
- Tipo de varilla: Varilla ¾ “
- Pantalla de concreto: Espesor 10.0 cm con refuerzo de acero malla electro soldada.
- Geosintéticos: Geotextil 1600 NT o similar para separar el concreto del suelo.
- Drenaje de aguas sub-superficiales: Lloraderos 2" cada 1.50 m.

Para pantallas de alturas mayores a 8.0 m:

Se debe garantizar todo lo anterior. La única diferencia será que las dos primeras hileras de anclajes de arriba hacia abajo serán de 8.50 m y la pantalla de concreto será de espesor 15.0 cm.

17.2.2 OBRAS DE MANEJO DE AGUAS SUPERFICIALES

Sobre las zonas recomendadas para los tratamientos convencionales se debe implementar un sistema de manejo de aguas de escorrentía consistente en el desarrollo de un sistema de zanjias y canales en concreto de paredes de espesor mínimo 10.0 cm, que capten y conduzcan el agua a los sistemas de alcantarillado pluvial de la zona.

Las estructuras hidráulicas se irán ubicando en sitios estratégicos, ya sea en la base y corona de las pantallas, y los canales bajantes ubicados de tal forma que sus entregas sean fáciles de empalmar al sistema de alcantarillado.

- Las zanjias colectoras tendrán una sección mínima trapezoidal de 30.0 cm en la base menor, 40.0 cm en la base mayor, y 30.0 cm de altura.
- Para los canales, su sección mínima será de 40.0 cm.

Se recomienda, de acuerdo a las condiciones de los taludes, se construyan al menos dos niveles de zanjias colectoras cuya ubicación se ajuste a las recomendaciones hechas anteriormente (sobre la corona y la base de las pantallas).

17.2.3 OBRAS DE MANEJO DE AGUAS SUB-SUPERFICIALES

Ya que la causa principal de la inestabilidad es la saturación del terreno, producto de los aguaceros intensos, se recomienda entonces hacer un sistema de batería de drenes sub-horizontales a todo lo largo de las laderas intervenidas.

Debido a las características de las laderas estudiadas, se recomienda que los drenes tengan una longitud mínima de 10.0 m para taludes de 15.0 m de altura. Para taludes de mayor altura se recomienda entonces drenes de mínimo 15.0 m de longitud. La separación de estos drenes debe ser máximo de 8.0 m.

Por las condiciones de la zona, se recomienda como mínimo dos niveles de drenes uno hacia la parte baja y otro sobre la parte media de cada talud; sin embargo, si se detectan zonas de afloramiento puntual, estas deben ser atendidas con drenes. Los drenes tendrán un diámetro mínimo de perforación de 3" y un diámetro de tubería de 2". Todos los drenes construidos deben entregar sus aguas captadas al sistema de drenaje superficial del talud.

17.2.4 OBRAS DE MODELAMIENTO DE TALUDES

Ya que en los taludes de las zonas estudiadas se observa presencia de depósitos de relleno, se recomienda en varios sectores hacer un perfilado con el fin de remover la capa de suelo superficial más blanda y que en algunos casos esta suelta. Adicionalmente, remover los árboles de gran calado cuyo sistema radicular no sea profundo, ya que este genera sobrecargas que favorecen la inestabilidad del talud.

17.2.5 OBRAS DE CONTROL DE EROSIÓN

Como estructuras complementarias a las propuestas anteriormente, se podrán construir:

- Trinchos para recuperar la geometría en algunos sectores de los taludes.
- Cubrir con grama los taludes perfilados para evitar procesos de erosión difusa y concentrada.

18 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

18.1 GENERALIDADES.

Para analizar las condiciones de estabilidad se requieren los siguientes datos de entrada:

- **Topografía:** Los datos topográficos utilizados para el análisis fueron tomados de la información obtenida en el levantamiento topográfico.
- **Condiciones de Agua:** No se observan cursos de agua constantes en el lote. El análisis se realizará sin tener en cuenta el nivel de aguas freáticas ya que las obras propuestas drenan el agua del terreno
- **Condición de Sismo:** La aceleración horizontal empleada para el análisis es de 0,36 de acuerdo a la aceleración máxima del espectro elástico de diseño para el periodo "O", (zona con lleno $A_a * F_a * I = 0.25 * 1.45 * 1.0 = 0.36$), El coeficiente sísmico de diseño para análisis seudoestático de taludes KST tiene valor inferior o igual al de a_{max} y se admiten los siguientes valores mínimos de KST a_{max} , dependiendo del tipo de material térreo (reforzado o no) y del tipo de análisis.

Tabla 62. valores de Kst mínimos para análisis seudoestaticos de taludes (Tabla H.5.2-1 NSR-10).

Material	K_{ST}/a_{max} Mínimo	Análisis de Amplificación Mínimo
Suelos, enrocados y macizos rocosos muy fracturados (RQD < 50%)	0.80	Ninguno
Macizos rocosos (RQD > 50%)	1.00	Ninguno
Todos los materiales térreos	0.67	Amplificación de onda unidimensional en dos columnas y promediar
Todos los materiales térreos	0.50	Amplificación de onda bidimensional

Por lo anterior considerando un valor de K_{ST}/a_{max} de 0.8, para suelos, enrocados y macizos rocosos muy fracturados, tenemos un coeficiente sísmico de 0.29 ($0.36 \cdot 0.8 = 0.29$). Para el cálculo del coeficiente de aceleración vertical, de acuerdo a Suarez, (Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, julio de 1998), en los análisis Seudoestaticos, recomienda analizar generalmente la fuerza sísmica horizontal y K_v se asume igual a cero, para nuestro análisis de estabilidad, asumiremos como valor de K_v la mitad de K_h .

- **Propiedades Geotécnicas de los Materiales:** Las propiedades geotécnicas de los materiales involucrados se obtuvieron mediante el resultado de los ensayos de laboratorio, realizados en los suelos del sector. El análisis se llevó a cabo con las propiedades descritas a continuación

Tabla 63. Propiedades de los materiales Sitio 1

Estrato	Peso específico (Ton/m ³)	Cohesión (Ton/m ²)	Ángulo de fricción (°)
Residual	1.722	4.0	25

Tabla 64. Propiedades de los materiales sitio 0

Estrato	Peso específico	Cohesión	Ángulo de
Calle 62. No. 23-61 Edificio Torre Plaza 62 Of. 904 Tel. 8813561 fax. 8813437. e-mail: quasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas		ESTUDIOS GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDRÁULICO Y MICROZONIFICACIÓN DEL RESGO POR DESLIZAMIENTO Y DISEÑOS DE LAS OBRAS DE ESTABILIDAD PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO EN EL BARRIO PERSIA. MUNICIPIO DE MANIZALES	
			Página 411

	(Ton/m ³)	(Ton/m ²)	fricción (°)
Relleno	1.729	1.5	20
Ceniza	1.520	2.8	20.3
Residual	1.815	5.0	30

Tabla 65. Propiedades de los materiales sitio 4

Estrato	Peso específico (Ton/m ³)	Cohesión (Ton/m ²)	Ángulo de fricción (°)
Relleno	1.729	1.5	20
Ceniza	1.520	2.8	20.3
Residual	1.815	5.0	30

18.2 HIPÓTESIS DE FALLA

De acuerdo con las condiciones litológicas, a la condición geotécnica y la topografía de la zona se puede determinar que el mecanismo de falla más probable en el sector objeto de estudio corresponde a deslizamientos planares.

18.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Una vez identificados cada uno de los datos de entrada se procede a realizar el análisis de estabilidad.

El método de estabilidad que será empleado es el de dovelas de Janbú, que es un método riguroso de análisis de estabilidad, el cual se puede utilizar para

estimar el factor de seguridad de superficies de falla de cualquier forma y a taludes con perfiles de suelo heterogéneo. La solución simplificada es la más conocida. Esta solución emplea la siguiente ecuación.

$$F_s = \frac{\sum(C_i + (\frac{W_i}{b_i} - U_i) * \text{Tan}\phi'_i) * \frac{b_i}{n_\alpha}}{\sum(W_i * \text{Tan}\alpha_i + W_i * \frac{a_{\max}}{g})}$$

Dónde:

C	cohesión
W	Peso de la dovela
b	ancho de la dovela
u	presión de poros en la dovela
n _α	Factor n alfa
α	Angulo de inclinación medido en la base de la dovela
φ	Angulo de fricción del terreno
a _{max}	Aceleración sísmica
g	Gravedad

Por medio de una graficas se obtiene el valor de n_α en función del ángulo α_i y del valor de la Tan φ_i /Fs.

Janbu utiliza además un factor de corrección, fo, para considerar de alguna manera la existencia de las fuerzas entre tajadas. Este factor se estima con base en la relación d/l del deslizamiento y el tipo de parámetros de resistencia al corte que se usan en el análisis.

Los factores de seguridad recomendados en la literatura para el análisis son los propuestos en el “código Colombiano sismo resistente NSR-10”, los cuales se resumen en la siguiente tabla:

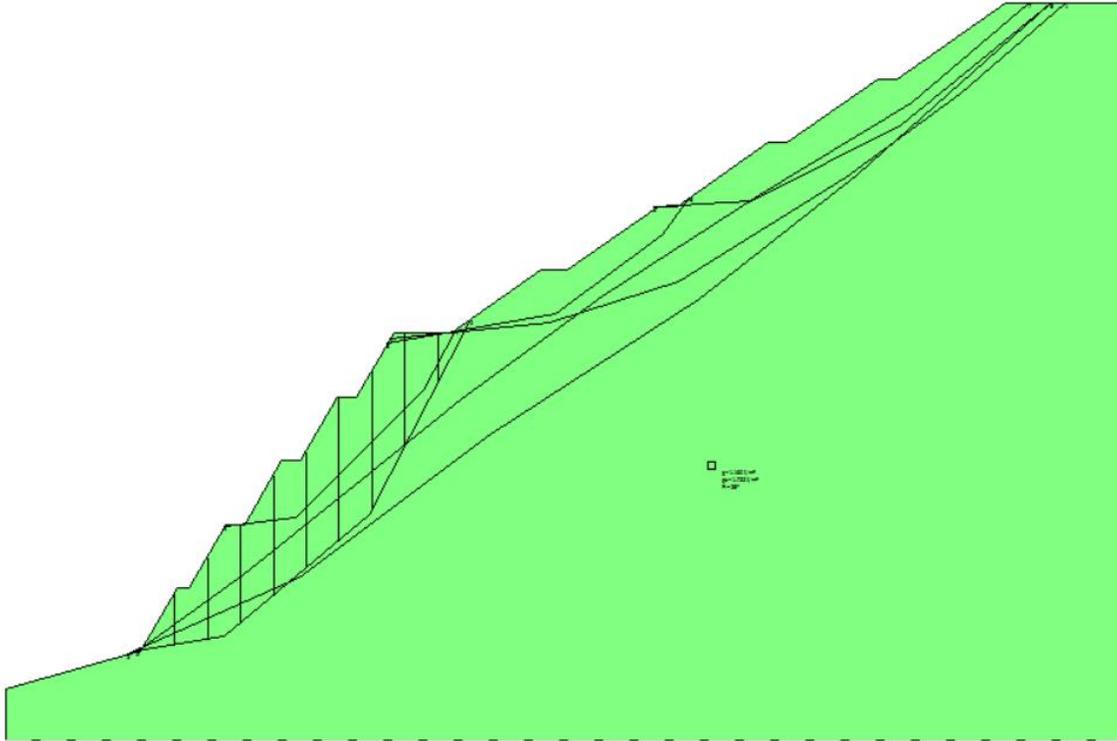
Tabla 66. Factores de seguridad básicos mínimos (Tabla H.2.4-1 NSR-10).

Condición	F_{SBM}		F_{SBUM}	
	Diseño	Construcción	Diseño	Construcción
Carga Muerta + Carga Viva Normal	1.50	1.25	1.80	1.40
Carga Muerta + Carga Viva Máxima	1.25	1.10	1.40	1.15
Carga Muerta + Carga Viva Normal + Sismo de Diseño Seudo estático	1.10	1.00 (*)	No se permite	No se permite
Taludes – Condición Estática y Agua Subterránea Normal	1.50	1.25	1.80	1.40
Taludes – Condición Seudo-estática con Agua Subterránea Normal y Coeficiente Sísmico de Diseño	1.05	1.00 (*)	No se permite	No se permite

(*) Nota: Los parámetros sísmicos seudo estáticos de Construcción serán el 50% de los de Diseño

Para obtener los valores de factor de seguridad se empleará el programa GEOSLOPE y se hará el análisis en condiciones críticas de sismo, así como los perfiles más representativos de acuerdo a la topografía de cada sector.

18.3.1 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD SITIO 1, CONDICIONES DINÁMICAS



Análisis de Estabilidad de Taludes con: JANBU (1956)

Normativa	NTC 2008
Número de estratos	1.0
Número rebanadas	10.0
Grado de seguridad aceptable	1.3
Coefficiente parcial resistencia	1.0
Análisis	Condición drenada
Superficie de cualquier forma	

Coefficiente sísmico horizontal	0.29
Coefficiente sísmico vertical	0.145

Vértices perfil

N	X m	y m
1	0.0	0.0
2	10.69	3.0
3	13.58	8.0

4	14.49	8.0
5	17.37	13.0
6	18.87	13.0
7	21.76	18.0
8	23.26	18.0
9	26.15	23.0
10	27.65	23.0
11	30.53	28.0
12	35.03	28.0
13	42.17	33.0
14	44.17	33.0
15	51.31	38.0
16	52.81	38.0
17	59.96	43.0
18	61.46	43.0
19	68.6	48.0
20	70.1	48.0
21	78.66	54.0
22	88.16	54.0

Vértices superficie Nr...1

N	X m	y m
1	30.24	27.63
2	42.8	28.91
3	53.01	32.08
4	66.15	40.29
5	75.07	46.86
6	83.38	54.06

Vértices superficie Nr...2

N	X m	y m
1	10.28	2.99
2	17.23	4.15
3	28.61	13.77
4	36.64	29.15

Vértices superficie Nr...3

N	X m	y m
1	9.65	2.81
2	23.09	8.84
3	38.23	20.11
4	54.54	30.67
5	66.97	40.52
6	82.22	54.06

Vértices superficie Nr...4

<p>Calle 62. No. 23-61 Edificio Torre Plaza 62 Of. 904 Tel. 8813561 fax. 8813437. e-mail: quasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIOS GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDRÁULICO Y MICROZONIFICACIÓN DEL RESGO POR DESLIZAMIENTO Y DISEÑOS DE LAS OBRAS DE ESTABILIDAD PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO EN EL BARRIO PERSIA. MUNICIPIO DE MANIZALES</p>	<p>Página 416</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------

N	X m	y m
1	17.16	12.78
2	22.9	13.56
3	32.94	23.51
4	35.4	28.29

Vértices superficie Nr...5

N	X m	y m
1	30.01	27.24
2	43.3	29.57
3	51.63	35.79
4	53.89	38.77

Vértices superficie Nr...6

N	X m	y m
1	51.06	37.94
2	58.75	38.4
3	70.46	44.46
4	82.19	54.06

Vértices superficie Nr...7

N	X m	y m
1	10.4	3.02
2	18.69	9.0
3	27.49	16.04
4	35.94	22.84
5	46.96	30.94
6	59.28	38.92
7	71.25	46.19
8	80.54	54.06

Coefficientes parciales parámetros geotécnicos del terreno

Tangente ángulo de resistencia al corte	1.25
Cohesión efectiva	1.25
Cohesión no drenada	1.4
Reducción parámetros geotécnicos terreno	No

Estratigrafía

c: cohesión; cu: Cohesión no drenada.; Fi: Ángulo de rozamiento interno; G: Peso Específico; Gs: Peso Específico Saturado; K: Módulo de Winkler

Estrato	c (t/m ²)	cu (t/m ²)	Fi (°)	G (t/m ³)	Gs (t/m ³)	K (Kg/cm ³)	Litología
---------	--------------------------	---------------------------	-----------	--------------------------	---------------------------	----------------------------	-----------

<p>Calle 62. No. 23-61 Edificio Torre Plaza 62 Of. 904 Tel. 8813561 fax. 8813437. e-mail: quasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIOS GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDRÁULICO Y MICROZONIFICACIÓN DEL RESGO POR DESLIZAMIENTO Y DISEÑOS DE LAS OBRAS DE ESTABILIDAD PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO EN EL BARRIO PERSIA. MUNICIPIO DE MANIZALES</p>	<p>Página 417</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------

1 4.0 25 1.160 1.722 0.00 Residual

B: Ancho de la rebanada; Alfa: Ángulo de inclinación de la base de la rebanada; Li: Longitud de la base de la rebanada; Peso de la rebanada; Ui: Fuerzas derivadas de las presiones neutras; Ni: Fuerzas agentes normalmente en la dirección de deslizamiento; Ti: Fuerzas agentes paralelamente a la superficie de deslizamiento; Fi: Ángulo de rozamiento interno; c: cohesión.

Superficie Nr...1 Factor de seguridad=1.94

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (t/m ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	5.3	5.8	5.33	548.0	158.92	79.46	4.0	25.0	0.0	-762.1	12999.6
2	5.3	5.8	5.3311	191.91	3245.66	1622.83	4.0	25.0	0.0	9632.8	16007.5
3	5.3	13.3	5.4422	2474.31	6517.55	3258.78	4.0	25.0	0.0	18648.3	19332.0
4	5.3	17.2	5.5533	792.99	9799.97	4899.98	4.0	25.0	0.0	28577.7	22959.8
5	5.3	28.2	6.01	36352.3	10542.17	5271.08	4.0	25.0	0.0	28833.7	26271.1
6	5.3	32.0	6.2540	243.41	11670.59	5835.29	4.0	25.0	0.0	32046.6	29076.2
7	5.3	33.1	6.3235	802.58	10382.75	5191.37	4.0	25.0	0.0	27412.8	28062.1
8	5.3	36.4	6.5829	666.91	8603.4	4301.7	4.0	25.0	0.0	20521.1	27528.1
9	5.3	39.0	6.8127	177.46	7881.46	3940.73	4.0	25.0	0.0	17312.5	28052.6
10	5.3	40.9	7.0114	104.58	4090.33	2045.16	4.0	25.0	0.0	2934.0	24019.4

Superficie Nr...2 Factor de seguridad=1.17

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (t/m ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	2.59	9.5	2.62	6082.93	1764.05	882.03	4.0	25.0	0.0	4035.7	12921.8
2	2.59	9.5	2.6213	3514.48	3919.2	1959.6	4.0	25.0	0.0	11010.5	16316.1
3	2.59	26.5	2.8924	389.85	7073.06	3536.53	4.0	25.0	0.0	17192.5	22539.8
4	2.59	40.2	3.3924	826.84	7199.78	3599.89	4.0	25.0	0.0	14732.0	27536.6
5	2.59	40.2	3.3928	513.01	8268.77	4134.39	4.0	25.0	0.0	18165.6	29694.6
6	2.59	40.2	3.3930	812.17	8935.53	4467.76	4.0	25.0	0.0	20307.2	31040.7
7	2.59	43.4	3.5629	995.41	8698.67	4349.33	4.0	25.0	0.0	18855.4	32637.0
8	2.59	62.4	5.5931	863.39	9240.38	4620.19	4.0	25.0	0.0	12890.6	63112.1
9	2.59	62.4	5.5919	004.83	5511.4	2755.7	4.0	25.0	0.0	-1583.7	48103.5
10	2.59	62.4	5.59	4721.93	1369.36	684.68	4.0	25.0	0.0	-17661.3	31432.4

Superficie Nr...3 Factor de seguridad=1.13

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (t/m ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
-----	--------	-------------	---------	------------	---------------	---------------	--------------------------	-----------	------------	-------------	------------

1	7.12	24.2	7.8124997.26	7249.21	3624.6	4.0	25.0	0.0	10235.9	41922.3
2	7.12	28.1	8.0876317.89	22132.19	11066.09	4.0	25.0	0.0	53921.3	69192.9
3	7.12	36.7	8.8897716.54	28337.79	14168.9	4.0	25.0	0.0	68482.1	89317.6
4	7.12	36.1	8.8185040.95	24661.87	12330.94	4.0	25.0	0.0	57272.5	81416.8
5	7.12	32.9	8.4981185.41	23543.77	11771.88	4.0	25.0	0.0	55551.9	75741.3
6	7.12	32.9	8.4977299.21	22416.77	11208.39	4.0	25.0	0.0	52046.5	73672.8
7	7.12	37.8	9.0167986.24	19716.01	9858.01	4.0	25.0	0.0	40719.5	73935.8
8	7.12	38.8	9.1554039.95	15671.58	7835.79	4.0	25.0	0.0	27236.1	67198.0
9	7.12	41.6	9.5336749.47	10657.35	5328.67	4.0	25.0	0.0	9165.9	60213.8
10	7.12	41.6	9.5325690.81	7450.34	3725.17	4.0	25.0	0.0	-1105.7	53409.5

Superficie Nr...4 Factor de seguridad=1.83

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (t/m ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	1.81	7.7	1.83	169.73	49.22	24.61	4.0	25.0	0.0	-454.8	4689.6
2	1.81	7.7	1.83	3669.56	1064.17	532.09	4.0	25.0	0.0	2937.2	5733.7
3	1.81	7.7	1.83	9656.41	2800.36	1400.18	4.0	25.0	0.0	8739.7	7519.8
4	1.81	41.8	2.43	8933.49	2590.71	1295.36	4.0	25.0	0.0	4940.4	10570.2
5	1.81	44.7	2.55	11939.71	3462.52	1731.26	4.0	25.0	0.0	7824.9	12765.2
6	1.81	44.7	2.55	10832.94	3141.55	1570.78	4.0	25.0	0.0	6628.3	12251.3
7	1.81	44.7	2.55	12124.09	3515.99	1757.99	4.0	25.0	0.0	8024.2	12850.8
8	1.81	44.7	2.55	13790.25	3999.17	1999.59	4.0	25.0	0.0	9825.5	13624.6
9	1.81	52.8	3.0	9386.62	2722.12	1361.06	4.0	25.0	0.0	3692.3	14866.2
10	1.81	62.7	3.95	3178.71	921.83	460.91	4.0	25.0	0.0	-8242.4	17075.4

Superficie Nr...5 Factor de seguridad=4.16

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (t/m ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	2.38	10.0	2.41	1481.33	429.58	214.79	4.0	25.0	0.0	991.7	2963.5
2	2.38	10.0	2.41	331.8	96.22	48.11	4.0	25.0	0.0	-148.5	2807.7
3	2.38	10.0	2.41	1131.62	328.17	164.09	4.0	25.0	0.0	644.8	2916.1
4	2.38	10.0	2.41	4568.47	1324.86	662.43	4.0	25.0	0.0	4053.7	3381.9
5	2.38	10.0	2.41	8005.33	2321.55	1160.77	4.0	25.0	0.0	7462.6	3847.7
6	2.38	23.2	2.59	8683.95	2518.35	1259.17	4.0	25.0	0.0	7722.2	4380.9
7	2.38	36.7	2.97	7484.82	2170.6	1085.3	4.0	25.0	0.0	6165.2	5307.7
8	2.38	36.7	2.97	7181.74	2082.71	1041.35	4.0	25.0	0.0	5821.5	5250.0
9	2.38	36.7	2.97	6878.67	1994.81	997.41	4.0	25.0	0.0	5477.8	5192.3
10	2.38	52.1	3.87	2181.87	632.74	316.37	4.0	25.0	0.0	-1866.1	6866.3

Superficie Nr...6 Factor de seguridad=2.42



CORPOCALDAS



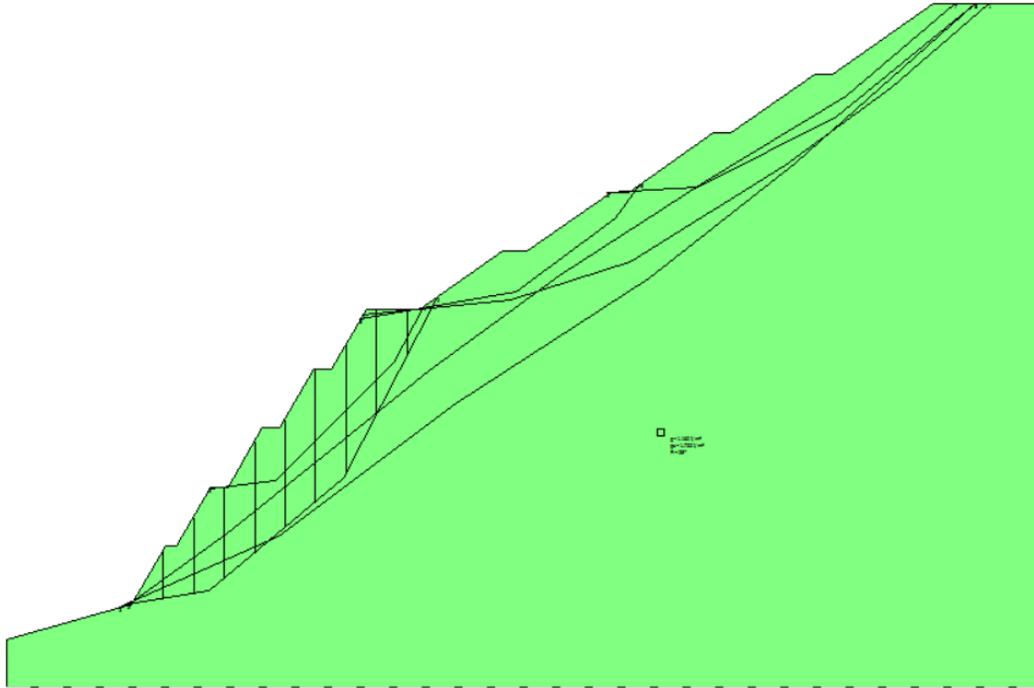
PIONEROS EN GESTIÓN DEL RIESGO

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (t/m ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	3.09	3.4	3.09	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Superficie Nr...7 Factor de seguridad=1.69

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (t/m ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	6.96	35.8	8.5816925.09	4908.28	2454.14	4.0	25.0	0.0	2670.8	31108.4	
2	6.96	38.3	8.8749460.46	14343.53	7171.77	4.0	25.0	0.0	34198.1	46524.9	
3	6.96	38.8	8.9260005.98	17401.73	8700.87	4.0	25.0	0.0	44728.4	51483.8	
4	6.96	37.8	8.8148083.08	13944.09	6972.05	4.0	25.0	0.0	32983.0	45483.5	
5	6.96	36.3	8.6344743.31	12975.56	6487.78	4.0	25.0	0.0	30188.3	42781.6	
6	6.96	33.6	8.3533770.38	9793.41	4896.71	4.0	25.0	0.0	20339.1	36516.3	
7	6.96	32.9	8.2827855.87	8078.2	4039.1	4.0	25.0	0.0	14813.0	33818.6	
8	6.96	31.3	8.1423500.39	6815.11	3407.56	4.0	25.0	0.0	11201.1	31381.6	
9	6.96	34.4	8.4318348.66	5321.11	2660.56	4.0	25.0	0.0	4753.1	30937.0	
10	6.96	40.3	9.11 14324.7	4154.16	2077.08	4.0	25.0	0.0	-2452.8	32842.3	

18.3.2 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD SITIO 1, CONDICIONES ESTÁTICAS



Análisis de Estabilidad de Taludes con: JANBU (1956)

Normativa	NTC 2008
Número de estratos	1.0
Número rebanadas	10.0
Grado de seguridad aceptable	1.3
Coefficiente parcial resistencia	1.0
Análisis	Condición drenada
Superficie de cualquier forma	

Vértices perfil

N	X m	y m
1	0.0	0.0
2	10.69	3.0
3	13.58	8.0
4	14.49	8.0
5	17.37	13.0
6	18.87	13.0
7	21.76	18.0
8	23.26	18.0
9	26.15	23.0

10	27.65	23.0
11	30.53	28.0
12	35.03	28.0
13	42.17	33.0
14	44.17	33.0
15	51.31	38.0
16	52.81	38.0
17	59.96	43.0
18	61.46	43.0
19	68.6	48.0
20	70.1	48.0
21	78.66	54.0
22	88.16	54.0

Vértices superficie Nr...1

N	X m	y m
1	30.24	27.63
2	42.8	28.91
3	53.01	32.08
4	66.15	40.29
5	75.07	46.86
6	83.38	54.06

Vértices superficie Nr...2

N	X m	y m
1	10.28	2.99
2	17.23	4.15
3	28.61	13.77
4	36.64	29.15

Vértices superficie Nr...3

N	X m	y m
1	9.65	2.81
2	23.09	8.84
3	38.23	20.11
4	54.54	30.67
5	66.97	40.52
6	82.22	54.06

Vértices superficie Nr...4

N	X m	y m
1	17.16	12.78
2	22.9	13.56
3	32.94	23.51
4	35.4	28.29

Vértices superficie Nr...5

N	X m	y m
1	30.01	27.24
2	43.3	29.57
3	51.63	35.79
4	53.89	38.77

Vértices superficie Nr...6

N	X m	y m
1	51.06	37.94
2	58.75	38.4
3	70.46	44.46
4	82.19	54.06

Vértices superficie Nr...7

N	X m	y m
1	10.4	3.02
2	18.69	9.0
3	27.49	16.04
4	35.94	22.84
5	46.96	30.94
6	59.28	38.92
7	71.25	46.19
8	80.54	54.06

Coefficientes parciales parámetros geotécnicos del terreno

Tangente ángulo de resistencia al corte	1.25
Cohesión efectiva	1.25
Cohesión no drenada	1.4
Reducción parámetros geotécnicos terreno	No

Estratigrafía

c: cohesión; cu: Cohesión no drenada.; Fi: Ángulo de rozamiento interno; G: Peso Específico; Gs: Peso Específico Saturado; K: Módulo de Winkler

Estrato	c (t/m ²)	cu (t/m ²)	Fi (°)	G (t/m ³)	Gs (t/m ³)	K (Kg/cm ³)	Litología
1	4.0		25	1.160	1.722	0.00	Residual

Superficie Nr...1 Factor de seguridad=3.43

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (t/m ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	5.3	5.8	5.33	548.0	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	-202.5	7459.2
2	5.3	5.8	5.3311	191.91	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	10321.8	9185.2
3	5.3	13.3	5.4422	2474.31	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	20502.5	11267.1
4	5.3	17.2	5.5533	792.99	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	31384.0	13491.8
5	5.3	28.2	6.01	36352.3	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	33781.4	15805.1
6	5.3	32.0	6.2540	243.41	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	38105.4	17644.5
7	5.3	33.1	6.3235	802.58	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	33412.8	17072.5
8	5.3	36.4	6.5829	666.91	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	26836.7	16881.4
9	5.3	39.0	6.8127	177.46	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	24064.1	17315.4
10	5.3	40.9	7.0114	104.58	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	8903.7	14901.4

Superficie Nr...2 Factor de seguridad=1.94

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (t/m ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	2.59	9.5	2.62	6082.93	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	4845.5	8013.2
2	2.59	9.5	2.6213	514.48	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	12033.0	10118.1
3	2.59	26.5	2.8924	389.85	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	20696.5	14695.2
4	2.59	40.2	3.3924	826.84	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	20421.9	18723.0
5	2.59	40.2	3.3928	513.01	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	24301.4	20190.4
6	2.59	40.2	3.3930	812.17	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	26721.2	21105.6
7	2.59	43.4	3.5629	995.41	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	25868.4	22427.6
8	2.59	62.4	5.5931	863.39	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	27234.5	46929.9
9	2.59	62.4	5.5919	004.83	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	9349.1	35769.6
10	2.59	62.4	5.59	4721.93	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	-10517.4	23373.0

Superficie Nr...3 Factor de seguridad=1.98

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (t/m ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	7.12	24.2	7.8124	997.26	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	16775.0	25949.6
2	7.12	28.1	8.0876	317.89	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	66083.5	43383.9
3	7.12	36.7	8.8897	716.54	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	87396.8	57635.3
4	7.12	36.1	8.8185	040.95	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	74337.0	52429.0
5	7.12	32.9	8.4981	185.41	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	70491.4	48253.9
6	7.12	32.9	8.4977	299.21	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	66577.9	46936.1
7	7.12	37.8	9.0167	986.24	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	56665.0	47893.6
8	7.12	38.8	9.1554	039.95	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	41972.7	43695.0
9	7.12	41.6	9.5336	749.47	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	22887.3	39549.3
10	7.12	41.6	9.5325	690.81	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	11065.2	35080.1

Superficie Nr...4 Factor de seguridad=2.94

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (t/m ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	1.81	7.7	1.83	169.73	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	-225.8	2974.4
2	1.81	7.7	1.83	3669.56	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	3217.2	3636.6
3	1.81	7.7	1.83	9656.41	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	9106.9	4769.4
4	1.81	41.8	2.43	8933.49	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	7200.0	7183.0
5	1.81	44.7	2.551	1939.71	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	10660.4	8737.5
6	1.81	44.7	2.551	10832.94	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	9349.7	8385.7
7	1.81	44.7	2.551	12124.09	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	10878.7	8796.1
8	1.81	44.7	2.551	3790.25	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	12851.9	9325.7
9	1.81	52.8	3.0	9386.62	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	7243.7	10410.0
10	1.81	62.7	3.95	3178.71	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	-4085.4	12397.7

Superficie Nr...5 Factor de seguridad=7.26

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (t/m ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	2.38	10.0	2.41	1481.33	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	1207.9	1712.8
2	2.38	10.0	2.41	331.8	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	56.4	1622.7
3	2.38	10.0	2.41	1131.62	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	857.6	1685.4
4	2.38	10.0	2.41	4568.47	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	4300.4	1954.6
5	2.38	10.0	2.41	8005.33	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	7743.3	2223.8
6	2.38	23.2	2.59	8683.95	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	8438.1	2567.0
7	2.38	36.7	2.97	7484.82	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	7449.5	3160.8
8	2.38	36.7	2.97	7181.74	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	7091.8	3126.4
9	2.38	36.7	2.97	6878.67	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	6734.2	3092.1
10	2.38	52.1	3.87	2181.87	0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	243.1	4193.8

Superficie Nr...6 Factor de seguridad=4.21

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (t/m ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	3.09	3.4	3.09	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

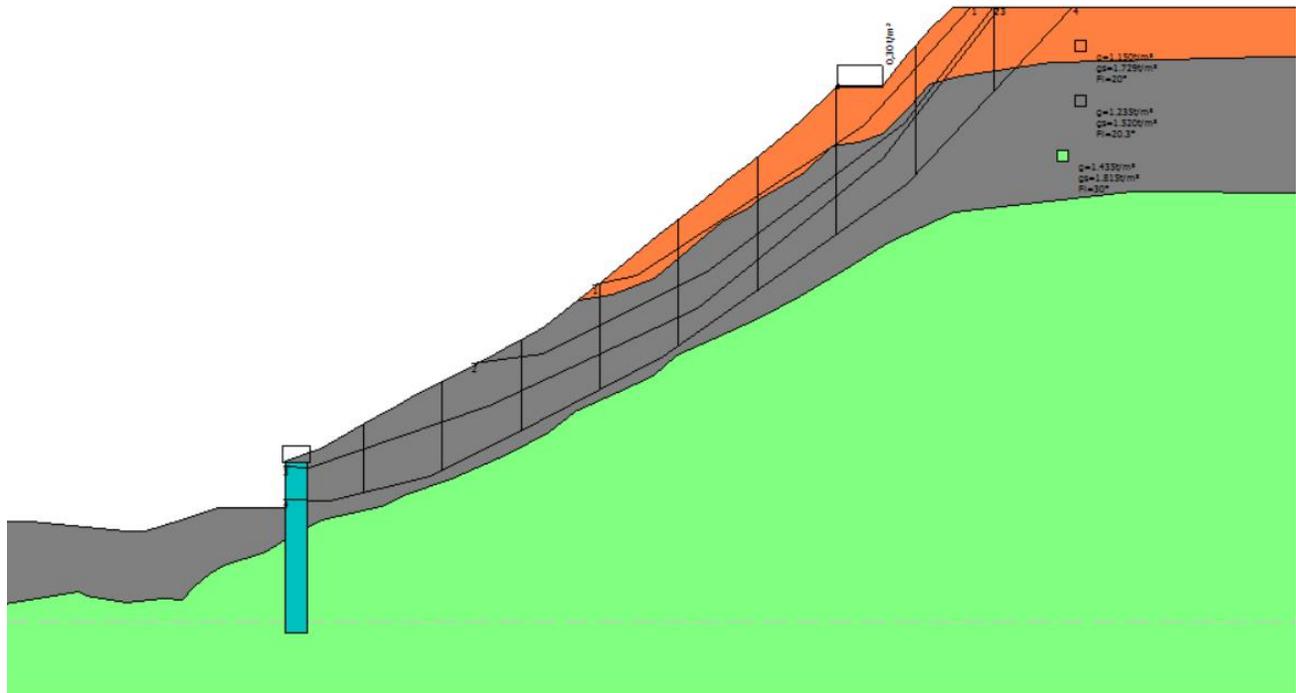
10 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

Superficie Nr...7 Factor de seguridad=2.82

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (t/m ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	6.96	35.8	8.5816925.09		0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	9045.4	20210.6
2	6.96	38.3	8.8749460.46		0.0	0.0	4.0	25.0	0.044186.8		30420.9
3	6.96	38.8	8.9260005.98		0.0	0.0	4.0	25.0	0.055865.6		33702.0
4	6.96	37.8	8.8148083.08		0.0	0.0	4.0	25.0	0.042663.8		29702.0
5	6.96	36.3	8.6344743.31		0.0	0.0	4.0	25.0	0.039037.0		27827.8
6	6.96	33.6	8.3533770.38		0.0	0.0	4.0	25.0	0.027482.6		23594.4
7	6.96	32.9	8.2827855.87		0.0	0.0	4.0	25.0	0.021325.3		21814.2
8	6.96	31.3	8.1423500.39		0.0	0.0	4.0	25.0	0.017025.9		20167.4
9	6.96	34.4	8.4318348.66		0.0	0.0	4.0	25.0	0.010919.6		20031.9
10	6.96	40.3	9.11 14324.7		0.0	0.0	4.0	25.0	0.0	4823.4	21582.

18.3.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD SITIO 0, CONDICIONES DINÁMICAS

Fs=1.09 Sup...4
Fs=1.63 Sup...3
Fs=1.12 Sup...2
Fs=1.46 Sup...1



Análisis de Estabilidad de Taludes con: JANBU (1967)

Normativa	NTC 2008 e Circ.
Número de estratos	3,0
Número rebanadas	10,0
Grado de seguridad aceptable	1,3
Coefficiente parcial resistencia	1,0
Parámetros geotécnicos a usar. Ángulo de rozamiento interno:	Pico
Análisis	Condición drenada
Superficie de cualquier forma	

Coefficiente sísmico horizontal	0,29
Coefficiente sísmico vertical	0,193

Vértices perfil

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	3,62
2	1,06	3,67
3	5,39	3,24
4	6,16	3,24
5	7,72	3,73
6	9,37	4,24
7	12,3	4,24
8	12,3	6,34
9	13,89	6,83
10	14,59	7,24
11	15,74	7,91
12	16,31	8,24
13	16,88	8,57
14	18,11	9,24
15	19,0	9,7
16	20,08	10,24
17	21,56	11,01
18	22,0	11,24
19	22,45	11,52
20	23,45	12,07
21	23,71	12,24
22	24,87	13,16
23	25,17	13,37
24	26,27	14,24
25	27,62	15,32
26	28,76	16,24
27	28,92	16,37
28	30,02	17,24
29	30,76	17,81
30	31,31	18,24
31	31,95	18,78
32	32,55	19,24
33	34,19	20,59

34	35,06	21,31
35	36,34	22,53
36	36,6	22,8
37	38,6	22,8
38	39,75	24,24
39	40,57	25,14
40	40,68	25,24
41	41,44	26,01
42	41,56	26,11
43	41,64	26,18
44	41,71	26,24
45	76,75	26,24

Vértices estrato.....1

N	X (m)	y (m)
1	0,0	3,62
2	1,06	3,67
3	5,39	3,24
4	6,16	3,24
5	7,72	3,73
6	9,37	4,24
7	12,3	4,24
8	12,3	6,34
9	13,89	6,83
10	14,59	7,24
11	15,74	7,91
12	16,31	8,24
13	16,88	8,57
14	18,11	9,24
15	19,0	9,7
16	20,08	10,24
17	21,56	11,01
18	22,0	11,24
19	22,45	11,52
20	23,45	12,07
21	23,71	12,24
22	24,87	13,16
23	25,17	13,37
24	25,2	13,39
25	26,71	13,64
26	28,54	14,36
27	30,08	15,64
28	31,58	16,88
29	32,64	17,35
30	33,24	17,86
31	34,97	18,84
32	35,06	18,92
33	36,34	20,13
34	37,55	20,32
35	38,6	20,69

36	39,75	21,84
37	40,68	22,84
38	41,97	23,25
39	46,04	23,84
40	65,39	24,31
41	76,75	24,15

Vértices estrato.....2

N	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	3,27	0,57
3	3,59	0,41
4	5,3	0,11
5	6,95	0,3
6	7,77	0,19
7	8,29	0,73
8	8,98	1,36
9	9,58	1,73
10	11,47	2,32
11	12,17	2,73
12	13,32	3,39
13	13,89	3,73
14	16,54	4,3
15	17,72	4,88
16	19,64	5,5
17	19,64	5,5
18	22,22	6,69
19	23,91	7,57
20	25,05	8,47
21	25,17	8,57
22	26,95	9,35
23	28,52	10,03
24	29,53	10,97
25	31,16	11,69
26	33,16	12,58
27	34,99	13,55
28	37,21	14,9
29	38,81	15,9
30	41,71	17,24
31	49,56	18,13
32	65,45	18,01
33	76,75	18,95

Vértices superficie Nr...1

N	X m	y m
1	25,85	14,02
2	27,79	14,46
3	31,8	17,13
4	37,75	21,05
5	42,52	26,31

Vértices superficie Nr...2

N	X m	y m
1	20,53	10,59
2	23,7	11,03
3	31,01	14,69
4	39,55	21,14
5	43,5	26,31

Vértices superficie Nr...3

N	X m	y m
1	12,27	6,08
2	13,32	5,98
3	21,28	8,72
4	30,47	13,02
5	38,58	19,58
6	43,78	26,31

Vértices superficie Nr...4

N	X m	y m
1	12,27	4,61
2	14,24	4,53
3	18,75	5,66
4	23,48	8,08
5	28,91	10,87
6	34,61	14,9
7	39,61	18,45
8	47,0	26,31

Coefficientes parciales parámetros geotécnicos del terreno

Tangente ángulo de resistencia al corte	1,25
Cohesión efectiva	1,25
Cohesión no drenada	1,4
Reducción parámetros geotécnicos terreno	Si

Estratigrafía

Estrato	Cohesión (t/m ²)	Cohesión no drenada (t/m ²)	Ángulo de resistencia al corte (°)	Peso específico (t/m ³)	Peso saturado (t/m ³)	Litología	
1	1.5		20	1.150	1.729	RELLENO	
2	2.8		20.3	1.235	1.520	CENIZA	
3	5.0		30	1.435	1.815	FLUJO DE	

								LODOS	
--	--	--	--	--	--	--	--	-------	--

Pilotes...

Nº	x (m)	y (m)	Diámetro (m)	Longitud (m)	Inclinación (°)	Intereje (m)	Resistencia al corte (t/m ²)	Momento plastificación (kN*m)	Método de estabilización
1	12,29533	6,267867	1	7,5	90	3	--	812	Carga última Broms & (1964)

Cargas repartidas

Nº	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carga externa (t/m ²)
1	36,62	22,76	38,62	22,76132	0,3

B: Ancho de la rebanada; Alfa: Ángulo de inclinación de la base de la rebanada; Li: Longitud de la base de la rebanada; Peso de la rebanada; Ui: Fuerzas derivadas de las presiones neutras; Ni: Fuerzas agentes normalmente en la dirección de deslizamiento; Ti: Fuerzas agentes paralelamente a la superficie de deslizamiento; Fi: Ángulo de rozamiento interno; c: cohesión.

Superficie Nr...1 Factor de seguridad=1,46

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (t)	Kh•Wi (t)	Kv•Wi (t)	c (t/m ²)	Fi (°)	Ui (t)	N'i (t)	Ti (t)
1	1,64	12,8	1,68	0,89	0,26	0,17	1,2	16,2	0,0	0,5	1,8
2	1,64	32,5	1,95	2,04	0,59	0,39	1,2	16,2	0,0	1,0	2,6
3	1,64	33,8	1,97	2,48	0,72	0,48	1,2	16,2	0,0	1,4	2,8
4	1,64	33,5	1,97	2,88	0,84	0,56	1,2	16,2	0,0	1,9	2,9
5	1,64	33,5	1,97	3,32	0,96	0,64	1,2	16,2	0,0	2,3	3,0
6	1,64	33,5	1,97	3,85	1,12	0,74	1,2	16,2	0,0	2,9	3,2
7	1,64	33,5	1,97	4,84	1,4	0,93	1,2	16,2	0,0	3,9	3,4
8	1,64	46,1	2,37	2,25	0,65	0,44	1,2	16,2	0,0	0,7	3,6
9	1,64	47,8	2,44	1,86	0,54	0,36	1,2	16,2	0,0	0,1	3,6
10	1,64	47,7	2,44	1,59	0,46	0,31	1,2	16,2	0,0	-0,2	3,5

Superficie Nr...2 Factor de seguridad=1,42

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (t)	Kh•Wi (t)	Kv•Wi (t)	c (t/m ²)	Fi (°)	Ui (t)	N'i (t)	Ti (t)
1	2,26	7,9	2,28	1,2	0,35	0,23	2,24	16,5	0,0	0,6	4,5
2	2,26	21,9	2,44	3,47	1,01	0,67	2,24	16,5	0,0	1,7	5,5
3	2,26	26,6	2,53	5,39	1,56	1,04	2,24	16,5	0,0	3,2	6,3
4	2,26	26,6	2,53	7,15	2,07	1,38	2,24	16,5	0,0	5,0	6,8
5	2,26	32,0	2,67	8,56	2,48	1,65	2,24	16,5	0,0	6,0	7,7

6	2,26	37,2	2,84	9,23	2,68	1,78	2,24	16,5	0,0	6,3	8,8
7	2,26	37,0	2,83	9,76	2,83	1,88	2,24	16,5	0,0	6,9	8,9
8	2,26	37,0	2,83	8,49	2,46	1,64	2,24	16,5	0,0	5,5	8,5
9	2,26	49,1	3,46	6,82	1,98	1,32	2,24	16,5	0,0	2,2	10,9
10	2,26	52,7	3,73	3,86	1,12	0,75	1,2	16,2	0,0	1,1	6,7

Superficie Nr...3 Factor de seguridad=1,63

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (t)	Kh•Wi (t)	Kv•Wi (t)	c (t/m ²)	Fi (°)	Ui (t)	N'i (t)	Ti (t)
1	3,14	11,9	3,21	1,72	0,5	0,33	2,24	16,5	0,0	0,6	5,5
2	3,14	18,9	3,32	5,41	1,57	1,04	2,24	16,5	0,0	3,6	6,6
3	3,14	20,0	3,34	7,47	2,17	1,44	2,24	16,5	0,0	5,5	7,1
4	3,14	25,0	3,46	9,0	2,61	1,74	2,24	16,5	0,0	6,6	7,9
5	3,14	25,0	3,46	12,4	3,6	2,39	2,24	16,5	0,0	10,0	8,7
6	3,14	28,7	3,58	15,75	4,57	3,04	2,24	16,5	0,0	13,2	10,0
7	3,14	38,8	4,03	17,09	4,96	3,3	2,24	16,5	0,0	14,1	12,5
8	3,14	39,0	4,04	17,83	5,17	3,44	2,24	16,5	0,0	14,9	12,7
9	3,14	48,2	4,71	11,04	3,2	2,13	2,24	16,5	0,0	6,4	13,7
10	3,14	52,3	5,14	7,34	2,13	1,42	1,2	16,2	0,0	4,8	9,1

Superficie Nr...4 Factor de seguridad=1,09

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (t)	Kh•Wi (t)	Kv•Wi (t)	c (t/m ²)	Fi (°)	Ui (t)	N'i (t)	Ti (t)
1	3,46	5,0	3,48	9,22	2,67	1,78	2,24	16,5	0,0	8,3	11,3
2	3,46	16,0	3,6	14,97	4,34	2,89	2,24	16,5	0,0	11,9	13,3
3	3,46	27,0	3,89	16,74	4,86	3,23	2,24	16,5	0,0	11,9	15,1
4	3,46	27,3	3,9	18,16	5,27	3,5	2,24	16,5	0,0	13,2	15,7
5	3,46	28,9	3,96	21,48	6,23	4,15	2,24	16,5	0,0	16,2	17,2
6	3,46	35,3	4,25	23,8	6,9	4,59	2,24	16,5	0,0	17,7	19,9
7	3,46	35,2	4,24	25,22	7,31	4,87	2,24	16,5	0,0	19,1	20,4
8	3,46	37,0	4,33	22,27	6,46	4,3	2,24	16,5	0,0	15,9	19,9
9	3,46	46,8	5,06	22,7	6,58	4,38	2,24	16,5	0,0	14,7	25,3
10	3,46	46,7	5,05	7,32	2,12	1,41	1,2	16,2	0,0	2,7	11,0

CARGA ULTIMA PILOTES

Superficie Nr...1 Factor de seguridad=1,46

Caisson x=12,29533 Y=6,267867 Plim=0,0 t Saliente del Pilote 0,00 m

CARGA ULTIMA PILOTES

<p>Calle 62. No. 23-61 Edificio Torre Plaza 62 Of. 904 Tel. 8813561 fax. 8813437. e-mail: quasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIOS GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDRÁULICO Y MICROZONIFICACIÓN DEL RESGO POR DESLIZAMIENTO Y DISEÑOS DE LAS OBRAS DE ESTABILIDAD PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO EN EL BARRIO PERSIA. MUNICIPIO DE MANIZALES</p>	<p>Página 432</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------

Superficie Nr...2 Factor de seguridad=1,42

Caisson x=12,29533 Y=6,267867 Plim=0,0 t Saliente del Pilote 0,00 m

CARGA ULTIMA PILOTES

Superficie Nr...3 Factor de seguridad=1,63

Caisson x=12,29533 Y=6,267867 Plim=73,6 t Saliente del Pilote 0,44 m

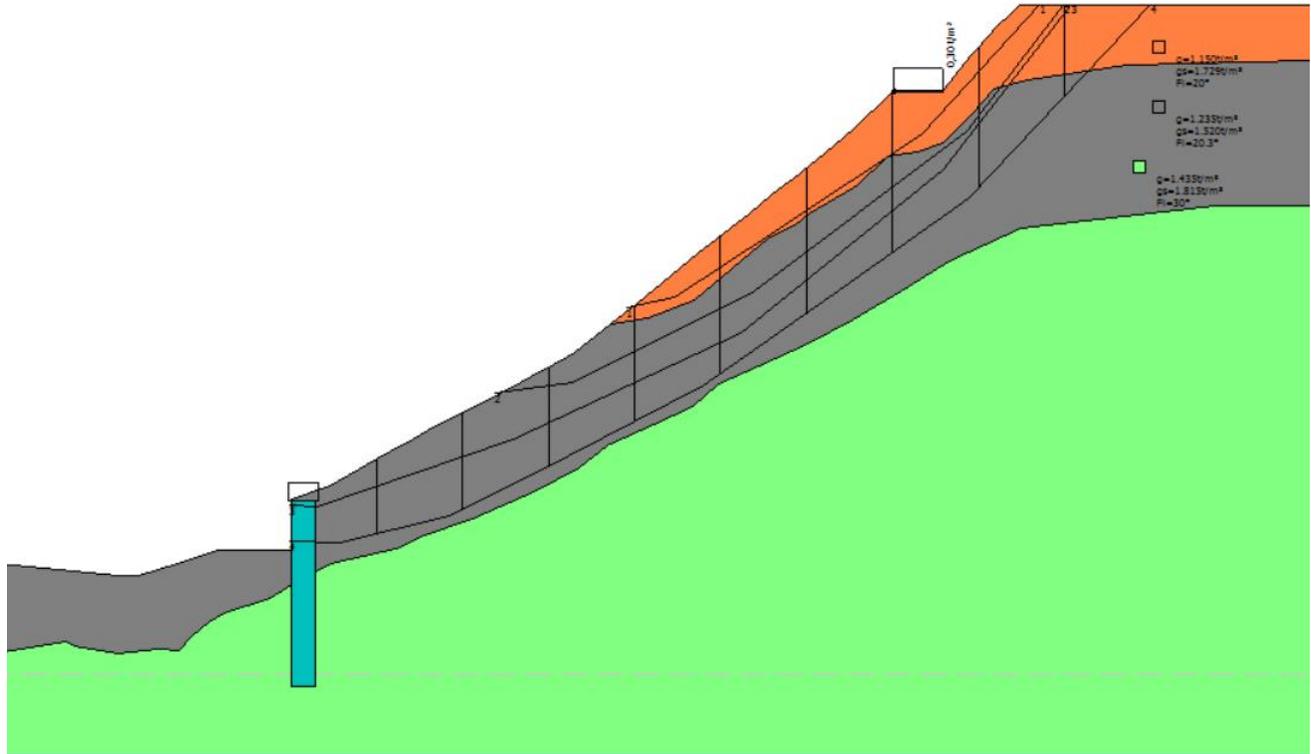
CARGA ULTIMA PILOTES

Superficie Nr...4 Factor de seguridad=1,09

Caisson x=12,29533 Y=6,267867 Plim=73,6 t Saliente del Pilote 2,16 m

18.3.4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD SITIO 0, CONDICIONES ESTÁTICAS

Ps=2,15 Sup...4
Ps=3,35 Sup...3
Ps=2,40 Sup...2
Ps=2,47 Sup...1



Análisis de Estabilidad de Taludes con: JANBU (1967)

Normativa	NTC 2008 e Circ.
Número de estratos	3,0
Número rebanadas	10,0
Grado de seguridad aceptable	1,3
Coefficiente parcial resistencia	1,0
Parámetros geotécnicos a usar. Ángulo de rozamiento interno:	Pico
Análisis	Condición drenada
Superficie de cualquier forma	

Vértices perfil

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	3,62
2	1,06	3,67

3	5,39	3,24
4	6,16	3,24
5	7,72	3,73
6	9,37	4,24
7	12,3	4,24
8	12,3	6,34
9	13,89	6,83
10	14,59	7,24
11	15,74	7,91
12	16,31	8,24
13	16,88	8,57
14	18,11	9,24
15	19,0	9,7
16	20,08	10,24
17	21,56	11,01
18	22,0	11,24
19	22,45	11,52
20	23,45	12,07
21	23,71	12,24
22	24,87	13,16
23	25,17	13,37
24	26,27	14,24
25	27,62	15,32
26	28,76	16,24
27	28,92	16,37
28	30,02	17,24
29	30,76	17,81
30	31,31	18,24
31	31,95	18,78
32	32,55	19,24
33	34,19	20,59
34	35,06	21,31
35	36,34	22,53
36	36,6	22,8
37	38,6	22,8
38	39,75	24,24
39	40,57	25,14
40	40,68	25,24
41	41,44	26,01
42	41,56	26,11
43	41,64	26,18
44	41,71	26,24
45	76,75	26,24

Vértices estrato.....1

N	X (m)	y (m)
1	0,0	3,62
2	1,06	3,67
3	5,39	3,24
4	6,16	3,24

5	7,72	3,73
6	9,37	4,24
7	12,3	4,24
8	12,3	6,34
9	13,89	6,83
10	14,59	7,24
11	15,74	7,91
12	16,31	8,24
13	16,88	8,57
14	18,11	9,24
15	19,0	9,7
16	20,08	10,24
17	21,56	11,01
18	22,0	11,24
19	22,45	11,52
20	23,45	12,07
21	23,71	12,24
22	24,87	13,16
23	25,17	13,37
24	25,2	13,39
25	26,71	13,64
26	28,54	14,36
27	30,08	15,64
28	31,58	16,88
29	32,64	17,35
30	33,24	17,86
31	34,97	18,84
32	35,06	18,92
33	36,34	20,13
34	37,55	20,32
35	38,6	20,69
36	39,75	21,84
37	40,68	22,84
38	41,97	23,25
39	46,04	23,84
40	65,39	24,31
41	76,75	24,15

Vértices estrato.....2

N	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	3,27	0,57
3	3,59	0,41
4	5,3	0,11
5	6,95	0,3
6	7,77	0,19
7	8,29	0,73
8	8,98	1,36
9	9,58	1,73
10	11,47	2,32
11	12,17	2,73

12	13,32	3,39
13	13,89	3,73
14	16,54	4,3
15	17,72	4,88
16	19,64	5,5
17	19,64	5,5
18	22,22	6,69
19	23,91	7,57
20	25,05	8,47
21	25,17	8,57
22	26,95	9,35
23	28,52	10,03
24	29,53	10,97
25	31,16	11,69
26	33,16	12,58
27	34,99	13,55
28	37,21	14,9
29	38,81	15,9
30	41,71	17,24
31	49,56	18,13
32	65,45	18,01
33	76,75	18,95

Vértices superficie Nr...1

N	X m	y m
1	25,85	14,02
2	27,79	14,46
3	31,8	17,13
4	37,75	21,05
5	42,52	26,31

Vértices superficie Nr...2

N	X m	y m
1	20,53	10,59
2	23,7	11,03
3	31,01	14,69
4	39,55	21,14
5	43,5	26,31

Vértices superficie Nr...3

N	X m	y m
1	12,27	6,08
2	13,32	5,98
3	21,28	8,72
4	30,47	13,02
5	38,58	19,58

6	43,78	26,31
---	-------	-------

Vértices superficie Nr...4

N	X m	y m
1	12,27	4,61
2	14,24	4,53
3	18,75	5,66
4	23,48	8,08
5	28,91	10,87
6	34,61	14,9
7	39,61	18,45
8	47,0	26,31

Coefficientes parciales parámetros geotécnicos del terreno

Tangente ángulo de resistencia al corte	1,25
Cohesión efectiva	1,25
Cohesión no drenada	1,4
Reducción parámetros geotécnicos terreno	Si

Estratigrafía

Estrato	Cohesión (t/m ²)	Cohesión no drenada (t/m ²)	Ángulo de resistencia al corte (°)	Peso específico (t/m ³)	Peso saturado (t/m ³)	Litología
1	1.5		20	1.150	1.729	RELLENO
2	2.8		20.3	1.235	1.520	CENIZA
3	5.0		30	1.435	1.815	FLUJO DE LODOS

Pilotes...

N°	x (m)	y (m)	Diámetro (m)	Longitud (m)	Inclinación (°)	Intereje (m)	Resistencia al corte (t/m ²)	Momento plastificación (kN*m)	Método de estabilización
1	12,29533	6,267867	1	7,5	90	3	--	812	Carga última Broms & (1964)

Cargas repartidas

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carga externa (t/m ²)
1	36,62	22,76	38,62	22,76132	0,3

Superficie Nr...1 Factor de seguridad=2,47

<p>Calle 62. No. 23-61 Edificio Torre Plaza 62 Of. 904 Tel. 8813561 fax. 8813437. e-mail: quasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIOS GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDRÁULICO Y MICROZONIFICACIÓN DEL RESGO POR DESLIZAMIENTO Y DISEÑOS DE LAS OBRAS DE ESTABILIDAD PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO EN EL BARRIO PERSIA. MUNICIPIO DE MANIZALES</p>	<p>Página 438</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (t)	Kh•Wi (t)	Kv•Wi (t)	c (t/m ²)	Fi (°)	Ui (t)	N'i (t)	Ti (t)
1	1,64	12,8	1,68	0,89	0,0	0,0	1,2	16,2	0,0	0,7	1,1
2	1,64	32,5	1,95	2,04	0,0	0,0	1,2	16,2	0,0	1,6	1,6
3	1,64	33,8	1,97	2,48	0,0	0,0	1,2	16,2	0,0	2,0	1,7
4	1,64	33,5	1,97	2,88	0,0	0,0	1,2	16,2	0,0	2,5	1,8
5	1,64	33,5	1,97	3,32	0,0	0,0	1,2	16,2	0,0	2,9	1,9
6	1,64	33,5	1,97	3,85	0,0	0,0	1,2	16,2	0,0	3,5	2,0
7	1,64	33,5	1,97	4,84	0,0	0,0	1,2	16,2	0,0	4,6	2,2
8	1,64	46,1	2,37	2,25	0,0	0,0	1,2	16,2	0,0	1,6	2,3
9	1,64	47,8	2,44	1,86	0,0	0,0	1,2	16,2	0,0	1,0	2,3
10	1,64	47,7	2,44	1,59	0,0	0,0	1,2	16,2	0,0	0,7	2,3

Superficie Nr...2 Factor de seguridad=2,40

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (t)	Kh•Wi (t)	Kv•Wi (t)	c (t/m ²)	Fi (°)	Ui (t)	N'i (t)	Ti (t)
1	2,26	7,9	2,28	1,2	0,0	0,0	2,24	16,5	0,0	0,8	2,7
2	2,26	21,9	2,44	3,47	0,0	0,0	2,24	16,5	0,0	2,5	3,3
3	2,26	26,6	2,53	5,39	0,0	0,0	2,24	16,5	0,0	4,3	3,9
4	2,26	26,6	2,53	7,15	0,0	0,0	2,24	16,5	0,0	6,1	4,2
5	2,26	32,0	2,67	8,56	0,0	0,0	2,24	16,5	0,0	7,5	4,8
6	2,26	37,2	2,84	9,23	0,0	0,0	2,24	16,5	0,0	8,2	5,5
7	2,26	37,0	2,83	9,76	0,0	0,0	2,24	16,5	0,0	8,8	5,6
8	2,26	37,0	2,83	8,49	0,0	0,0	2,24	16,5	0,0	7,4	5,3
9	2,26	49,1	3,46	6,82	0,0	0,0	2,24	16,5	0,0	5,1	7,1
10	2,26	52,7	3,73	3,86	0,0	0,0	1,2	16,2	0,0	2,9	4,4

Superficie Nr...3 Factor de seguridad=3,35

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (t)	Kh•Wi (t)	Kv•Wi (t)	c (t/m ²)	Fi (°)	Ui (t)	N'i (t)	Ti (t)
1	3,14	11,9	3,21	1,72	0,0	0,0	2,24	16,5	0,0	1,2	2,8
2	3,14	18,9	3,32	5,41	0,0	0,0	2,24	16,5	0,0	4,6	3,3
3	3,14	20,0	3,34	7,47	0,0	0,0	2,24	16,5	0,0	6,7	3,6
4	3,14	25,0	3,46	9,0	0,0	0,0	2,24	16,5	0,0	8,2	4,0
5	3,14	25,0	3,46	12,4	0,0	0,0	2,24	16,5	0,0	11,8	4,5
6	3,14	28,7	3,58	15,75	0,0	0,0	2,24	16,5	0,0	15,5	5,1
7	3,14	38,8	4,03	17,09	0,0	0,0	2,24	16,5	0,0	17,8	6,6
8	3,14	39,0	4,04	17,83	0,0	0,0	2,24	16,5	0,0	18,7	6,7
9	3,14	48,2	4,71	11,04	0,0	0,0	2,24	16,5	0,0	11,0	7,4
10	3,14	52,3	5,14	7,34	0,0	0,0	1,2	16,2	0,0	8,1	5,0

Superficie Nr...4 Factor de seguridad=2,15

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (t)	Kh•Wi (t)	Kv•Wi (t)	c (t/m ²)	Fi (°)	Ui (t)	N'i (t)	Ti (t)
1	3,46	5,0	3,48	9,22	0,0	0,0	2,24	16,5	0,0	8,8	5,8
2	3,46	16,0	3,6	14,97	0,0	0,0	2,24	16,5	0,0	13,6	7,0
3	3,46	27,0	3,89	16,74	0,0	0,0	2,24	16,5	0,0	15,1	8,2
4	3,46	27,3	3,9	18,16	0,0	0,0	2,24	16,5	0,0	16,5	8,6
5	3,46	28,9	3,96	21,48	0,0	0,0	2,24	16,5	0,0	20,0	9,4
6	3,46	35,3	4,25	23,8	0,0	0,0	2,24	16,5	0,0	22,8	11,1
7	3,46	35,2	4,24	25,22	0,0	0,0	2,24	16,5	0,0	24,3	11,4
8	3,46	37,0	4,33	22,27	0,0	0,0	2,24	16,5	0,0	21,2	11,1
9	3,46	46,8	5,06	22,7	0,0	0,0	2,24	16,5	0,0	22,5	14,6
10	3,46	46,7	5,05	7,32	0,0	0,0	1,2	16,2	0,0	6,0	6,4

CARGA ULTIMA PILOTES

Superficie Nr...1 Factor de seguridad=2,47

Caisson x=12,29533 Y=6,267867 Plim=0,0 t Saliente del Pilote 0,00 m

CARGA ULTIMA PILOTES

Superficie Nr...2 Factor de seguridad=2,40

Caisson x=12,29533 Y=6,267867 Plim=0,0 t Saliente del Pilote 0,00 m

CARGA ULTIMA PILOTES

Superficie Nr...3 Factor de seguridad=3,35

Caisson x=12,29533 Y=6,267867 Plim=73,6 t Saliente del Pilote 0,44 m

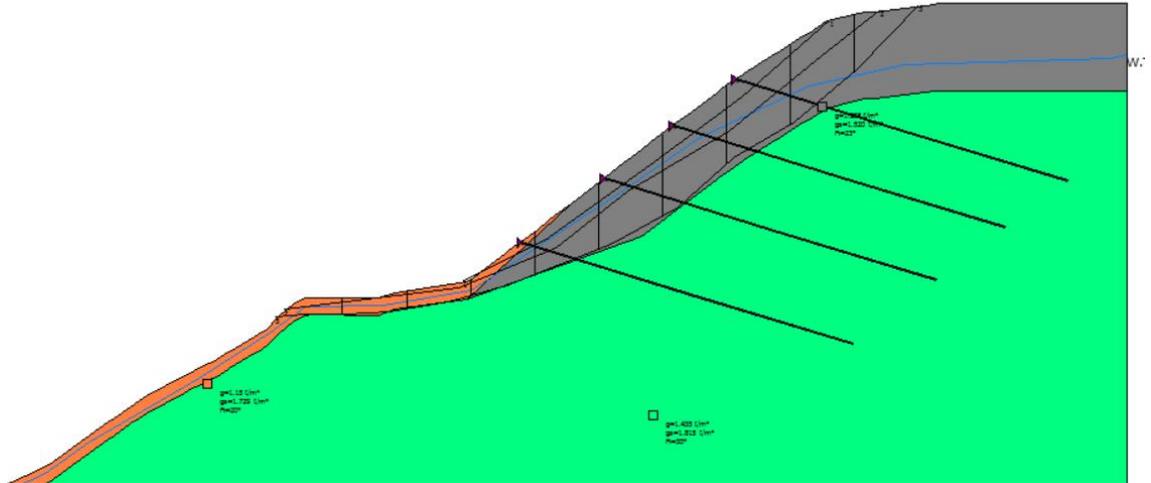
CARGA ULTIMA PILOTES

Superficie Nr...4 Factor de seguridad=2,15

Caisson x=12,29533 Y=6,267867 Plim=73,6 t Saliente del Pilote 2,16 m

18.3.5 ANALISIS DE ESTABILIDAD SITIO 4, CONDICIÓN DINÁMICA

P=+1.27 Sub...
P=+1.22 Sub...
P=+1.22 Sub...
P=+1.22 Sub...



Análisis de Estabilidad de Taludes con: JANBU (1967)

Normativa	NTC 2008 e Circ.
Número de estratos	3.0
Número rebanadas	10.0
Grado de seguridad aceptable	1.3
Coficiente parcial resistencia	1.0
Parámetros geotécnicos a usar. Ángulo de rozamiento interno:	Pico
Análisis	Condición drenada
Superficie de cualquier forma	

Coficiente sísmico horizontal	0.29
Coficiente sísmico vertical	0.145

Vértices perfil

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	1.0
2	0.52	1.25
3	2.11	1.99
4	3.71	2.74
5	4.25	2.99
6	5.95	3.81
7	6.34	3.99
8	7.35	4.47
9	8.08	4.99

10	8.97	5.62
11	9.48	5.99
12	10.76	6.89
13	10.89	6.99
14	12.29	7.96
15	12.33	7.99
16	12.98	8.44
17	14.08	8.99
18	14.76	9.38
19	15.73	9.9
20	15.8	9.94
21	15.84	9.96
22	15.84	9.96
23	15.9	9.99
24	16.58	10.3
25	16.62	10.32
26	16.66	10.34
27	16.78	10.41
28	17.03	10.55
29	17.65	10.93
30	17.74	10.99
31	19.17	11.85
32	19.39	11.99
33	19.89	12.29
34	20.54	12.98
35	21.4	13.7
36	22.1	14.08
37	22.13	14.08
38	22.24	14.09
39	22.26	14.09
40	22.39	14.09
41	26.33	14.07
42	27.25	14.39
43	31.46	14.99
44	31.8	15.25
45	32.8	15.99
46	33.32	16.38
47	34.15	16.99
48	34.79	17.47
49	35.5	17.99
50	36.17	18.54
51	36.75	18.99
52	37.43	19.5
53	38.1	19.99
54	38.74	20.51
55	39.37	20.99
56	40.13	21.56
57	40.68	21.99
58	41.49	22.6
59	42.02	22.99
60	42.55	23.41

61	43.31	23.99
62	44.35	24.77
63	44.64	24.99
64	45.87	25.92
65	45.97	25.99
66	46.39	26.31
67	47.33	26.94
68	47.38	26.97
69	47.41	26.99
70	47.42	26.99
71	49.0	27.99
72	49.26	28.15
73	50.6	28.99
74	51.13	29.33
75	52.17	29.99
76	54.02	30.48
77	54.5	30.52
78	54.9	30.55
79	58.45	30.98
80	58.53	30.99
81	59.51	30.99
82	69.52	30.99

Nivel freático

Nr.	X (m)	y (m)
1	-0.03	0.3
2	2.74	1.95
3	7.14	3.96
4	9.69	5.78
5	15.99	9.43
6	20.05	12.02
7	22.17	13.55
8	26.65	13.61
9	31.65	14.49
10	34.98	16.69
11	39.82	19.85
12	44.86	23.31
13	51.18	26.27
14	56.61	27.46
15	68.56	27.85
16	69.52	28.06

Vértices estrato.....1

N	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	0.52	0.25
3	2.11	0.99
4	3.71	1.74
5	4.25	1.99

6	5.95	2.81
7	6.34	2.99
8	7.35	3.47
9	8.08	3.99
10	8.97	4.62
11	9.48	4.99
12	10.76	5.89
13	10.89	5.99
14	12.29	6.96
15	12.33	6.99
16	12.98	7.44
17	14.08	7.99
18	14.76	8.38
19	15.73	8.9
20	15.8	8.94
21	15.84	8.96
22	15.84	8.96
23	15.9	8.99
24	16.58	9.3
25	16.62	9.32
26	16.66	9.34
27	16.78	9.41
28	17.03	9.55
29	17.65	9.93
30	17.74	9.99
31	19.17	10.85
32	19.39	10.99
33	19.89	11.29
34	20.54	11.98
35	21.4	12.7
36	22.1	13.08
37	22.13	13.08
38	22.24	13.09
39	22.26	13.09
40	22.39	13.09
41	26.33	13.07
42	27.25	13.39
43	31.46	13.99
44	37.43	19.5
45	38.1	19.99
46	38.74	20.51
47	39.37	20.99
48	40.13	21.56
49	40.68	21.99
50	41.49	22.6
51	42.02	22.99
52	42.55	23.41
53	43.31	23.99
54	44.35	24.77
55	44.64	24.99
56	45.87	25.92

57	45.97	25.99
58	46.39	26.31
59	47.33	26.94
60	47.38	26.97
61	47.41	26.99
62	47.42	26.99
63	49.0	27.99
64	49.26	28.15
65	50.6	28.99
66	51.13	29.33
67	52.17	29.99
68	54.02	30.48
69	54.5	30.52
70	54.9	30.55
71	58.45	30.98
72	58.53	30.99
73	59.51	30.99
74	69.52	30.99

Vértices estrato.....2

N	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	0.52	0.25
3	2.11	0.99
4	3.71	1.74
5	4.25	1.99
6	5.95	2.81
7	6.34	2.99
8	7.35	3.47
9	8.08	3.99
10	8.97	4.62
11	9.48	4.99
12	10.76	5.89
13	10.89	5.99
14	12.29	6.96
15	12.33	6.99
16	12.98	7.44
17	14.08	7.99
18	14.76	8.38
19	15.73	8.9
20	15.8	8.94
21	15.84	8.96
22	15.84	8.96
23	15.9	8.99
24	16.58	9.3
25	16.62	9.32
26	16.66	9.34
27	16.78	9.41
28	17.03	9.55
29	17.65	9.93
30	17.74	9.99

31	19.17	10.85
32	19.39	10.99
33	19.89	11.29
34	20.54	11.98
35	21.4	12.7
36	22.1	13.08
37	22.13	13.08
38	22.24	13.09
39	22.26	13.09
40	22.39	13.09
41	26.33	13.07
42	27.25	13.39
43	31.46	13.99
44	41.49	17.6
45	42.02	17.99
46	42.55	18.41
47	43.31	18.99
48	44.35	19.77
49	44.64	19.99
50	45.87	20.92
51	45.97	20.99
52	46.39	21.31
53	47.33	21.94
54	47.38	21.97
55	47.41	21.99
56	47.42	21.99
57	49.0	22.99
58	49.26	23.15
59	50.6	23.99
60	51.13	24.33
61	52.17	24.99
62	54.02	25.48
63	54.5	25.52
64	54.9	25.55
65	58.45	25.98
66	58.53	25.99
67	59.51	25.99
68	69.52	25.99

Vértices superficie Nr...1

N	X m	y m
1	31.24	15.06
2	35.93	17.39
3	41.99	21.69
4	47.29	25.64
5	52.42	30.09

Vértices superficie Nr...2

N	X	y
---	---	---

	m	m
1	20.95	13.44
2	30.98	14.61
3	36.55	16.98
4	40.7	20.17
5	46.53	23.64
6	51.87	28.01
7	55.26	30.64

Vértices superficie Nr...3

N	X m	y m
1	20.45	13.0
2	22.07	13.1
3	24.44	13.15
4	26.95	13.28
5	30.37	13.83
6	33.79	14.79
7	39.76	17.16
8	43.55	19.26
9	46.83	22.18
10	50.3	24.18
11	53.94	27.24
12	57.54	30.92

Coefficientes parciales parámetros geotécnicos del terreno

Tangente ángulo de resistencia al corte	1.25
Cohesión efectiva	1.25
Cohesión no drenada	1.4
Reducción parámetros geotécnicos terreno	Si

Estratigrafía

Estrato	Cohesión (t/m ²)	Cohesión no drenada (t/m ²)	Ángulo de resistencia al corte (°)	Peso específico (t/m ³)	Peso saturado (t/m ³)	Litología
1	1.5		20	1.15	1.729	RELLENO
2	2.0		23	1.235	1.520	CENIZA
3	5.0		30	1.435	1.815	RESIDUAL

Anclajes

N°	x (m)	y (m)	Longitud libre (m)	Longitud anclada (m)	Diámetro del bulbo (m)	Inclinación (°)	Tensado (t)
1	34.5731	17.31058	10	10	0.1	17	32
2	46.96735	26.69374	10	10	0.1	17	32
3	39.37026	20.99166	10	10	0.1	17	32

4	43.35828	24.02315	10	10	0.1	17	32
---	----------	----------	----	----	-----	----	----

B: Ancho de la rebanada; Alfa: Ángulo de inclinación de la base de la rebanada; Li: Longitud de la base de la rebanada; Peso de la rebanada; Ui: Fuerzas derivadas de las presiones neutras; Ni: Fuerzas agentes normalmente en la dirección de deslizamiento; Ti: Fuerzas agentes paralelamente a la superficie de deslizamiento; Fi: Ángulo de rozamiento interno; c: cohesión.

Superficie Nr...1 Factor de seguridad=7.53

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (t)	Kh•Wi (t)	Kv•Wi (t)	c (t/m ²)	Fi (°)	Ui (t)	N'i (t)	Ti (t)
1	2.02	26.4	2.25	0.58	0.17	0.08	1.2	16.2	0.0	0.4	0.5
2	2.02	27.8	2.28	3.6	1.04	0.52	1.6	18.8	0.0	3.7	0.9
3	2.02	35.3	2.47	2.58	0.75	0.37	1.6	18.8	0.0	2.6	0.9
4	2.02	35.3	2.47	2.87	0.83	0.42	1.6	18.8	0.0	3.0	1.0
5	2.02	35.6	2.48	4.99	1.45	0.72	1.6	18.8	0.0	5.5	1.1
6	2.02	36.7	2.52	3.27	0.95	0.47	1.6	18.8	0.0	3.5	1.0
7	2.02	36.7	2.52	5.2	1.51	0.75	1.6	18.8	0.0	5.8	1.2
8	2.02	39.0	2.6	4.88	1.42	0.71	1.6	18.8	0.0	5.5	1.2
9	2.02	41.0	2.67	1.96	0.57	0.28	1.6	18.8	0.0	1.9	1.0
10	2.02	40.9	2.67	0.75	0.22	0.11	1.6	18.8	0.0	0.4	0.9

Superficie Nr...2 Factor de seguridad=2.50

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (t)	Kh•Wi (t)	Kv•Wi (t)	c (t/m ²)	Fi (°)	Ui (t)	N'i (t)	Ti (t)
1	3.41	6.6	3.43	1.69	0.49	0.24	1.2	16.2	0.0	1.4	2.2
2	3.41	6.6	3.43	0.09	0.03	0.01	1.2	16.2	0.0	-0.1	2.0
3	3.41	8.6	3.45	0.87	0.25	0.13	1.2	16.2	0.0	0.6	2.1
4	3.41	22.9	3.7	2.69	0.78	0.39	1.2	16.2	0.0	1.9	2.6
5	3.41	30.5	3.96	8.77	2.54	1.27	1.6	18.8	1.5	6.1	4.7
6	3.41	35.9	4.21	10.33	2.99	1.5	1.6	18.8	1.4	7.7	5.5
7	3.41	30.7	3.96	9.99	2.9	1.45	1.6	18.8	1.8	7.1	4.9
8	3.41	35.6	4.19	12.91	3.74	1.87	1.6	18.8	0.8	11.3	6.2
9	3.41	39.4	4.41	10.78	3.13	1.56	1.6	18.8	0.0	9.9	6.5
10	3.41	37.7	4.31	4.5	1.3	0.65	1.6	18.8	0.0	2.8	4.8

Superficie Nr...3 Factor de seguridad=1.17

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (t)	Kh•Wi (t)	Kv•Wi (t)	c (t/m ²)	Fi (°)	Ui (t)	N'i (t)	Ti (t)
-----	--------	-------------	---------	-----------	--------------	--------------	--------------------------	-----------	-----------	------------	-----------



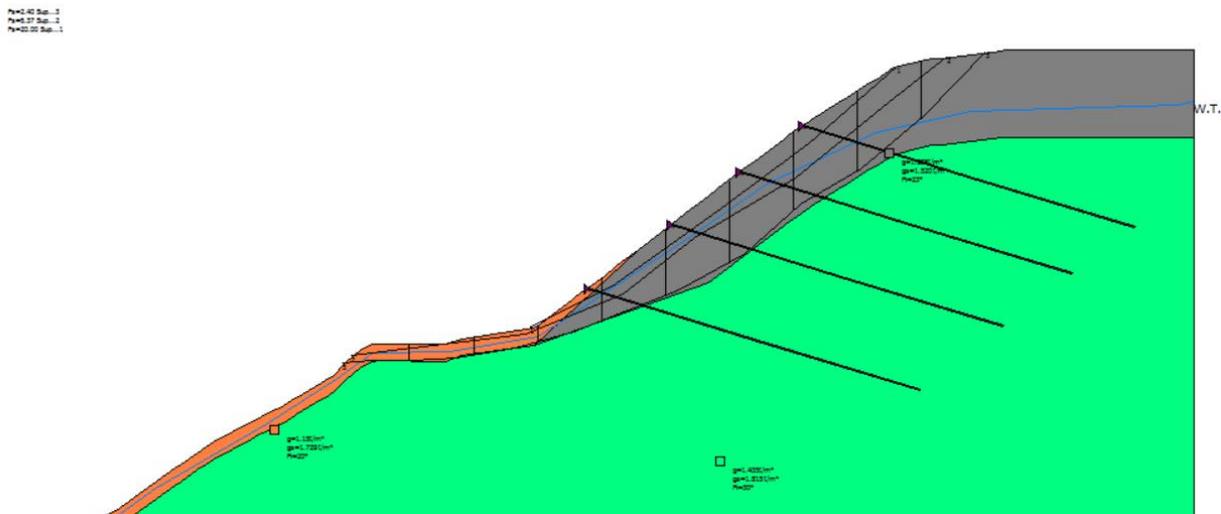
CORPOCALDAS



PIONEROS EN GESTIÓN DEL RIESGO

1	3.69	2.1	3.69	5.28	1.53	0.77	4.0	24.8	0.0	4.6	17.3
2	3.69	4.6	3.7	3.92	1.14	0.57	1.2	16.2	1.1	2.4	5.3
3	3.69	11.3	3.76	4.73	1.37	0.69	1.2	16.2	1.3	2.4	5.4
4	3.69	18.3	3.89	8.58	2.49	1.24	1.6	18.8	3.4	3.0	7.8
5	3.69	21.7	3.97	18.44	5.35	2.67	1.6	18.8	7.4	8.2	10.1
6	3.69	27.5	4.16	22.51	6.53	3.26	1.6	18.8	10.1	8.8	11.1
7	3.69	39.2	4.76	25.95	7.52	3.76	1.6	18.8	10.3	10.7	14.9
8	3.69	31.6	4.33	24.74	7.17	3.59	1.6	18.8	7.2	13.3	13.8
9	3.69	39.5	4.78	22.14	6.42	3.21	1.6	18.8	3.1	14.1	16.5
10	3.69	45.5	5.26	7.52	2.18	1.09	1.6	18.8	0.0	1.5	13.0

18.3.6 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD SITIO 4, CONDICION ESTATICA



Análisis de Estabilidad de Taludes con: JANBU (1967)

Normativa	NTC 2008 e Circ.
Número de estratos	3.0
Número rebanadas	10.0
Grado de seguridad aceptable	1.3
Coficiente parcial resistencia	1.0
Parámetros geotécnicos a usar. Ángulo de rozamiento interno:	Pico
Análisis	Condición drenada
Superficie de cualquier forma	

Vértices perfil

Nr	X (m)	y (m)
----	-------	-------

1	0.0	1.0
2	0.52	1.25
3	2.11	1.99
4	3.71	2.74
5	4.25	2.99
6	5.95	3.81
7	6.34	3.99
8	7.35	4.47
9	8.08	4.99
10	8.97	5.62
11	9.48	5.99
12	10.76	6.89
13	10.89	6.99
14	12.29	7.96
15	12.33	7.99
16	12.98	8.44
17	14.08	8.99
18	14.76	9.38
19	15.73	9.9
20	15.8	9.94
21	15.84	9.96
22	15.84	9.96
23	15.9	9.99
24	16.58	10.3
25	16.62	10.32
26	16.66	10.34
27	16.78	10.41
28	17.03	10.55
29	17.65	10.93
30	17.74	10.99
31	19.17	11.85
32	19.39	11.99
33	19.89	12.29
34	20.54	12.98
35	21.4	13.7
36	22.1	14.08
37	22.13	14.08
38	22.24	14.09
39	22.26	14.09
40	22.39	14.09
41	26.33	14.07
42	27.25	14.39
43	31.46	14.99
44	31.8	15.25
45	32.8	15.99
46	33.32	16.38
47	34.15	16.99
48	34.79	17.47
49	35.5	17.99
50	36.17	18.54
51	36.75	18.99

52	37.43	19.5
53	38.1	19.99
54	38.74	20.51
55	39.37	20.99
56	40.13	21.56
57	40.68	21.99
58	41.49	22.6
59	42.02	22.99
60	42.55	23.41
61	43.31	23.99
62	44.35	24.77
63	44.64	24.99
64	45.87	25.92
65	45.97	25.99
66	46.39	26.31
67	47.33	26.94
68	47.38	26.97
69	47.41	26.99
70	47.42	26.99
71	49.0	27.99
72	49.26	28.15
73	50.6	28.99
74	51.13	29.33
75	52.17	29.99
76	54.02	30.48
77	54.5	30.52
78	54.9	30.55
79	58.45	30.98
80	58.53	30.99
81	59.51	30.99
82	69.52	30.99

Nivel freático

Nr.	X (m)	y (m)
1	-0.03	0.3
2	2.74	1.95
3	7.14	3.96
4	9.69	5.78
5	15.99	9.43
6	20.05	12.02
7	22.17	13.55
8	26.65	13.61
9	31.65	14.49
10	34.98	16.69
11	39.82	19.85
12	44.86	23.31
13	51.18	26.27
14	56.61	27.46
15	68.56	27.85

16	69.52	28.06
----	-------	-------

Vértices estrato.....1

N	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	0.52	0.25
3	2.11	0.99
4	3.71	1.74
5	4.25	1.99
6	5.95	2.81
7	6.34	2.99
8	7.35	3.47
9	8.08	3.99
10	8.97	4.62
11	9.48	4.99
12	10.76	5.89
13	10.89	5.99
14	12.29	6.96
15	12.33	6.99
16	12.98	7.44
17	14.08	7.99
18	14.76	8.38
19	15.73	8.9
20	15.8	8.94
21	15.84	8.96
22	15.84	8.96
23	15.9	8.99
24	16.58	9.3
25	16.62	9.32
26	16.66	9.34
27	16.78	9.41
28	17.03	9.55
29	17.65	9.93
30	17.74	9.99
31	19.17	10.85
32	19.39	10.99
33	19.89	11.29
34	20.54	11.98
35	21.4	12.7
36	22.1	13.08
37	22.13	13.08
38	22.24	13.09
39	22.26	13.09
40	22.39	13.09
41	26.33	13.07
42	27.25	13.39
43	31.46	13.99
44	37.43	19.5
45	38.1	19.99
46	38.74	20.51
47	39.37	20.99

48	40.13	21.56
49	40.68	21.99
50	41.49	22.6
51	42.02	22.99
52	42.55	23.41
53	43.31	23.99
54	44.35	24.77
55	44.64	24.99
56	45.87	25.92
57	45.97	25.99
58	46.39	26.31
59	47.33	26.94
60	47.38	26.97
61	47.41	26.99
62	47.42	26.99
63	49.0	27.99
64	49.26	28.15
65	50.6	28.99
66	51.13	29.33
67	52.17	29.99
68	54.02	30.48
69	54.5	30.52
70	54.9	30.55
71	58.45	30.98
72	58.53	30.99
73	59.51	30.99
74	69.52	30.99

Vértices estrato.....2

N	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	0.52	0.25
3	2.11	0.99
4	3.71	1.74
5	4.25	1.99
6	5.95	2.81
7	6.34	2.99
8	7.35	3.47
9	8.08	3.99
10	8.97	4.62
11	9.48	4.99
12	10.76	5.89
13	10.89	5.99
14	12.29	6.96
15	12.33	6.99
16	12.98	7.44
17	14.08	7.99
18	14.76	8.38
19	15.73	8.9
20	15.8	8.94
21	15.84	8.96

22	15.84	8.96
23	15.9	8.99
24	16.58	9.3
25	16.62	9.32
26	16.66	9.34
27	16.78	9.41
28	17.03	9.55
29	17.65	9.93
30	17.74	9.99
31	19.17	10.85
32	19.39	10.99
33	19.89	11.29
34	20.54	11.98
35	21.4	12.7
36	22.1	13.08
37	22.13	13.08
38	22.24	13.09
39	22.26	13.09
40	22.39	13.09
41	26.33	13.07
42	27.25	13.39
43	31.46	13.99
44	41.49	17.6
45	42.02	17.99
46	42.55	18.41
47	43.31	18.99
48	44.35	19.77
49	44.64	19.99
50	45.87	20.92
51	45.97	20.99
52	46.39	21.31
53	47.33	21.94
54	47.38	21.97
55	47.41	21.99
56	47.42	21.99
57	49.0	22.99
58	49.26	23.15
59	50.6	23.99
60	51.13	24.33
61	52.17	24.99
62	54.02	25.48
63	54.5	25.52
64	54.9	25.55
65	58.45	25.98
66	58.53	25.99
67	59.51	25.99
68	69.52	25.99

Vértices superficie Nr...1

N	X m	y m
---	--------	--------

1	31.24	15.06
2	35.93	17.39
3	41.99	21.69
4	47.29	25.64
5	52.42	30.09

Vértices superficie Nr...2

N	X m	y m
1	20.95	13.44
2	30.98	14.61
3	36.55	16.98
4	40.7	20.17
5	46.53	23.64
6	51.87	28.01
7	55.26	30.64

Vértices superficie Nr...3

N	X m	y m
1	20.45	13.0
2	22.07	13.1
3	24.44	13.15
4	26.95	13.28
5	30.37	13.83
6	33.79	14.79
7	39.76	17.16
8	43.55	19.26
9	46.83	22.18
10	50.3	24.18
11	53.94	27.24
12	57.54	30.92

Coefficientes parciales parámetros geotécnicos del terreno

Tangente ángulo de resistencia al corte	1.25
Cohesión efectiva	1.25
Cohesión no drenada	1.4
Reducción parámetros geotécnicos terreno	Si

Estratigrafía

Estrato	Cohesión (t/m ²)	Cohesión no drenada (t/m ²)	Ángulo de resistencia al corte (°)	Peso específico (t/m ³)	Peso saturado (t/m ³)	Litología	
1	1.5		20	1.15	1.729	RELLENO	
2	2.0		23	1.235	1.520	CENIZA	

3	5.0		30	1.435	1.815	RESIDUAL	
---	-----	--	----	-------	-------	----------	--

Anclajes

N°	x (m)	y (m)	Longitud libre (m)	Longitud anclada (m)	Diámetro del bulbo (m)	Inclinación (°)	Tensado (t)
1	34.5731	17.31058	10	10	0.1	17	32
2	46.96735	26.69374	10	10	0.1	17	32
3	39.37026	20.99166	10	10	0.1	17	32
4	43.35828	24.02315	10	10	0.1	17	32

Superficie Nr...1 Factor de seguridad=20.00

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (t)	Kh•Wi (t)	Kv•Wi (t)	c (t/m ²)	Fi (°)	Ui (t)	N'i (t)	Ti (t)
1	2.02	26.4	2.25	0.58	0.0	0.0	1.2	16.2	0.0	0.7	-0.1
2	2.02	27.8	2.28	3.6	0.0	0.0	1.6	18.8	0.0	4.2	-0.2
3	2.02	35.3	2.47	2.58	0.0	0.0	1.6	18.8	0.0	3.3	-0.2
4	2.02	35.3	2.47	2.87	0.0	0.0	1.6	18.8	0.0	3.7	-0.2
5	2.02	35.6	2.48	4.99	0.0	0.0	1.6	18.8	0.0	6.3	-0.3
6	2.02	36.7	2.52	3.27	0.0	0.0	1.6	18.8	0.0	4.2	-0.2
7	2.02	36.7	2.52	5.2	0.0	0.0	1.6	18.8	0.0	6.6	-0.3
8	2.02	39.0	2.6	4.88	0.0	0.0	1.6	18.8	0.0	6.5	-0.3
9	2.02	41.0	2.67	1.96	0.0	0.0	1.6	18.8	0.0	2.8	-0.2
10	2.02	40.9	2.67	0.75	0.0	0.0	1.6	18.8	0.0	1.1	-0.2

Superficie Nr...2 Factor de seguridad=6.37

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (t)	Kh•Wi (t)	Kv•Wi (t)	c (t/m ²)	Fi (°)	Ui (t)	N'i (t)	Ti (t)
1	3.41	6.6	3.43	1.69	0.0	0.0	1.2	16.2	0.0	1.6	0.9
2	3.41	6.6	3.43	0.09	0.0	0.0	1.2	16.2	0.0	0.0	0.8
3	3.41	8.6	3.45	0.87	0.0	0.0	1.2	16.2	0.0	0.8	0.8
4	3.41	22.9	3.7	2.69	0.0	0.0	1.2	16.2	0.0	2.5	1.1
5	3.41	30.5	3.96	8.77	0.0	0.0	1.6	18.8	1.5	7.5	1.9
6	3.41	35.9	4.21	10.33	0.0	0.0	1.6	18.8	1.4	9.6	2.3
7	3.41	30.7	3.96	9.99	0.0	0.0	1.6	18.8	1.8	8.6	2.0
8	3.41	35.6	4.19	12.91	0.0	0.0	1.6	18.8	0.8	13.4	2.6
9	3.41	39.4	4.41	10.78	0.0	0.0	1.6	18.8	0.0	12.2	2.7
10	3.41	37.7	4.31	4.5	0.0	0.0	1.6	18.8	0.0	4.5	2.0

Superficie Nr...3 Factor de seguridad=2.40

Nr.	B	Alfa	Li	Wi	Kh•Wi	Kv•Wi	c	Fi	Ui	N'i	Ti
-----	---	------	----	----	-------	-------	---	----	----	-----	----

	m	(°)	m	(t)	(t)	(t)	(t/m ²)	(°)	(t)	(t)	(t)
1	3.69	2.1	3.69	5.28	0.0	0.0	4.0	24.8	0.0	5.0	8.5
2	3.69	4.6	3.7	3.92	0.0	0.0	1.2	16.2	1.1	2.6	2.6
3	3.69	11.3	3.76	4.73	0.0	0.0	1.2	16.2	1.3	3.0	2.7
4	3.69	18.3	3.89	8.58	0.0	0.0	1.6	18.8	3.4	4.2	4.0
5	3.69	21.7	3.97	18.44	0.0	0.0	1.6	18.8	7.4	10.0	5.2
6	3.69	27.5	4.16	22.51	0.0	0.0	1.6	18.8	10.1	11.2	5.9
7	3.69	39.2	4.76	25.95	0.0	0.0	1.6	18.8	10.3	15.0	8.2
8	3.69	31.6	4.33	24.74	0.0	0.0	1.6	18.8	7.2	16.7	7.4
9	3.69	39.5	4.78	22.14	0.0	0.0	1.6	18.8	3.1	18.8	9.1
10	3.69	45.5	5.26	7.52	0.0	0.0	1.6	18.8	0.0	5.5	7.3

18.4 COMENTARIOS DEL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Los valores arrojados en el análisis de estabilidad se resumen a continuación:

La modelación de estabilidad se realiza empleando la topografía del sector (perfil típico), la columna estratigráfica y las propiedades mecánicas de los materiales que conforman la zona de estudio, considerando el estado más crítico (sismo). Los valores obtenidos se comparan con los factores de seguridad 1,05 y 1,5, los cuales son los valores mínimos recomendado en la tabla H.2.4-1 de la NSR-10 (en condición dinámica y estática respectivamente).

Tabla 67. Comentarios Del Análisis De Estabilidad

Abscisa	Factores mínimos NSR-10 dinámico	Factores mínimos NSR-10 estático	Factor de seguridad dinámico	Factor de seguridad estático
SITIO 1 FALLA 1	1.05	1.5	1.94	3.43
SITIO 1 FALLA 2	1.05	1.5	1.17	1.94

Abscisa	Factores mínimos NSR-10 dinámico	Factores mínimos NSR-10 estático	Factor de seguridad dinámico	Factor de seguridad estático
SITIO 1 FALLA 3	1.05	1.5	1.13	1.98
SITIO 1 FALLA 4	1.05	1.5	1.83	2.94
SITIO 1 FALLA 5	1.05	1.5	4.16	7.26
SITIO 1 FALLA 6	1.05	1.5	2.42	4.21
SITIO 1 FALLA 7	1.05	1.5	1.69	2.82
SITIO 0 FALLA 1	1.05	1.5	1.46	2.47
SITIO 0 FALLA 2	1.05	1.5	1.42	2.40
SITIO 0 FALLA 3	1.05	1.5	1.63	3.35
SITIO 0 FALLA 4	1.05	1.5	1.09	2.15
Carrilera Falla 2	1.05	1.5	1.14	1.74
SITIO 4 FALLA 1	1.05	1.5	7.53	20
SITIO 4 FALLA 2	1.05	1.5	2.50	6.37
SITIO 4 FALLA 3	1.05	1.5	1.17	2.40

Fuente: Propia



CORPOCALDAS



PIONEROS EN GESTIÓN DEL RIESGO

Se resalta que los factores de seguridad obtenidos son satisfactorios a la luz del reglamento NSR-10, por lo cual es fundamental que estas se adelanten en su totalidad y en la mayor brevedad posible.

Calle 62. No. 23-61 Edificio Torre Plaza 62
Of. 904 Tel. 8813561 fax. 8813437.
e-mail:
quasaringenierosconsultores@gmail.com
Manizales – Caldas

**ESTUDIOS GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDRÁULICO Y
MICROZONIFICACIÓN DEL RESGO POR DESLIZAMIENTO Y
DISEÑOS DE LAS OBRAS DE ESTABILIDAD PARA LA REDUCCIÓN
DEL RIESGO EN EL BARRIO PERSIA. MUNICIPIO DE MANIZALES**

Página 459

19 COMENTARIOS FINALES

- El ejercicio realizado en este estudio obedece a la permanente preocupación e interés de las entidades gubernamentales como lo son la Alcaldía de Manizales y Corpocaldas, motivados por mejorar cada vez más las condiciones de vida de los pobladores de la región y especialmente de este sector.
- Los estudios fueron iniciados a raíz de la grave y recurrente problemática ocurrida por la acción de las fuertes lluvias presentadas el pasado mes de Abril del año 2017 donde los daños y las pérdidas de vidas humanas en muchos sectores de la ciudad fueron incalculables.
- Estos estudios no hubieran sido posible haberlos realizado si estas entidades no hubieran estado prestas a la colaboración incondicional en cuanto a información y disposición de sus profesionales que permanentemente enriquecieron la base de datos y la información para la elaboración de estos estudios.
- Desde el punto de vista técnico se puede concluir que la zona geológicamente cuenta con elementos muy complejos asociados a la condición litológica de los materiales, a la actividad tectónica, a la geomorfología y en general a toda una serie de factores que propician una susceptibilidad alta para la ocurrencia de fenómenos de desplazamiento en masa. De otro lado la condición geotécnica de los materiales en la que se resalta el marcado contraste de materiales cenizas

blandas sobre flujos de lodo impermeables y su disposición sobre las unidades geomorfológicas generan también una condición de alta susceptibilidad.

- Sumado a lo anterior los factores ambientales como lo son la condición climática de fuertes lluvias, los eventos volcánicos y los sismos son los detonantes de la mayoría de los eventos registrados en estas zonas.
- A su vez la fuerte intervención antrópica en la zona genera conflictos que favorecen notablemente la ocurrencia de eventos de inestabilidad producto de la informalidad en el proceso constructivo y la falta de cultura ciudadana en el manejo de escombros y basuras.
- Las evaluaciones definitivas de amenaza por deslizamiento en este territorio muestran que más del 50% está calificada como medio-alto.
- En lo que tiene que ver con la vulnerabilidad prácticamente todas las construcciones ubicadas en la zona de estudio están por fuera de la normatividad lo que las clasifica como estructuras de vulnerabilidad alta.
- Superponiendo estos mapas de susceptibilidad, amenaza y vulnerabilidad se tiene que la zona de alto riesgo supera el 70% del área total de estudio.

20 RECOMENDACIONES

- Se debe hacer un plan maestro para el chequeo del sistema de alcantarillado y acueducto del sector ya que varias de las estructuras superficiales y subsuperficiales que lo componen, arrojan indicios de funcionalidad deficiente debido a la saturación por sedimentos, debido a la presencia de flujos de lodo detonados por los eventos del pasado 19 de Abril de 2017 y a la antigüedad de la infraestructura. Esto, ya que un deterioro en los elementos de la red, pueden ser grandes factores condicionantes de la estabilidad de la zona, como se ha visto en siniestros similares en otros puntos de la ciudad.
- El ordenamiento del territorio en lo que tiene que ver con el control de la proliferación de construcciones que no cumplen normatividad o que ocupan zonas de riesgo debe ser una prioridad de la autoridad municipal.
- Los mejoramientos de viviendas en zonas de riesgo mitigable también deben ser políticas del gobierno municipal.
- Las obras propuestas en estos estudios deben ser ejecutadas a la mayor brevedad posible ya que nuevos episodios invernales pueden generar nuevas problemáticas desde el punto de vista de la inestabilidad que deberían ser evaluadas

ANEXOS

<p>Calle 62. No. 23-61 Edificio Torre Plaza 62 Of. 904 Tel. 8813561 fax. 8813437. e-mail: quasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIOS GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDRÁULICO Y MICROZONIFICACIÓN DEL RESGO POR DESLIZAMIENTO Y DISEÑOS DE LAS OBRAS DE ESTABILIDAD PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO EN EL BARRIO PERSIA. MUNICIPIO DE MANIZALES</p>	<p>Página 463</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------

CARTERA TOPOGRÁFICA

<p>Calle 62. No. 23-61 Edificio Torre Plaza 62 Of. 904 Tel. 8813561 fax. 8813437. e-mail: quasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIOS GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDRÁULICO Y MICROZONIFICACIÓN DEL RESGO POR DESLIZAMIENTO Y DISEÑOS DE LAS OBRAS DE ESTABILIDAD PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO EN EL BARRIO PERSIA. MUNICIPIO DE MANIZALES</p>	<p>Página 464</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------

PROSPECCIÓN GEOTÉCNICA Y ENSAYOS DE LABORATORIO

<p>Calle 62. No. 23-61 Edificio Torre Plaza 62 Of. 904 Tel. 8813561 fax. 8813437. e-mail: quasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIOS GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDRÁULICO Y MICROZONIFICACIÓN DEL RESGO POR DESLIZAMIENTO Y DISEÑOS DE LAS OBRAS DE ESTABILIDAD PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO EN EL BARRIO PERSIA. MUNICIPIO DE MANIZALES</p>	<p>Página 465</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------

SITIO 0: PROSPECCIÓN GEOTÉCNICA Y ENSAYOS DE LABORATORIO

<p>Calle 62. No. 23-61 Edificio Torre Plaza 62 Of. 904 Tel. 8813561 fax. 8813437. e-mail: quasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIOS GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDRÁULICO Y MICROZONIFICACIÓN DEL RESGO POR DESLIZAMIENTO Y DISEÑOS DE LAS OBRAS DE ESTABILIDAD PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO EN EL BARRIO PERSIA. MUNICIPIO DE MANIZALES</p>	<p>Página 466</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------

SITIO 1: PROSPECCIÓN GEOTÉCNICA Y ENSAYOS DE LABORATORIO

<p>Calle 62. No. 23-61 Edificio Torre Plaza 62 Of. 904 Tel. 8813561 fax. 8813437. e-mail: quasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIOS GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDRÁULICO Y MICROZONIFICACIÓN DEL RESGO POR DESLIZAMIENTO Y DISEÑOS DE LAS OBRAS DE ESTABILIDAD PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO EN EL BARRIO PERSIA. MUNICIPIO DE MANIZALES</p>	<p>Página 467</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------

SITIO 2: PROSPECCIÓN GEOTÉCNICA Y ENSAYOS DE LABORATORIO

<p>Calle 62. No. 23-61 Edificio Torre Plaza 62 Of. 904 Tel. 8813561 fax. 8813437. e-mail: quasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIOS GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDRÁULICO Y MICROZONIFICACIÓN DEL RESGO POR DESLIZAMIENTO Y DISEÑOS DE LAS OBRAS DE ESTABILIDAD PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO EN EL BARRIO PERSIA. MUNICIPIO DE MANIZALES</p>	<p>Página 468</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------

SITIO 3: PROSPECCIÓN GEOTÉCNICA Y ENSAYOS DE LABORATORIO

<p>Calle 62. No. 23-61 Edificio Torre Plaza 62 Of. 904 Tel. 8813561 fax. 8813437. e-mail: quasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIOS GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDRÁULICO Y MICROZONIFICACIÓN DEL RESGO POR DESLIZAMIENTO Y DISEÑOS DE LAS OBRAS DE ESTABILIDAD PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO EN EL BARRIO PERSIA. MUNICIPIO DE MANIZALES</p>	<p>Página 469</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------

SITIO 4: PROSPECCIÓN GEOTÉCNICA Y ENSAYOS DE LABORATORIO

<p>Calle 62. No. 23-61 Edificio Torre Plaza 62 Of. 904 Tel. 8813561 fax. 8813437. e-mail: quasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIOS GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDRÁULICO Y MICROZONIFICACIÓN DEL RESGO POR DESLIZAMIENTO Y DISEÑOS DE LAS OBRAS DE ESTABILIDAD PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO EN EL BARRIO PERSIA. MUNICIPIO DE MANIZALES</p>	<p>Página 470</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------

SITIO 5: PROSPECCIÓN GEOTÉCNICA Y ENSAYOS DE LABORATORIO

<p>Calle 62. No. 23-61 Edificio Torre Plaza 62 Of. 904 Tel. 8813561 fax. 8813437. e-mail: quasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIOS GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDRÁULICO Y MICROZONIFICACIÓN DEL RESGO POR DESLIZAMIENTO Y DISEÑOS DE LAS OBRAS DE ESTABILIDAD PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO EN EL BARRIO PERSIA. MUNICIPIO DE MANIZALES</p>	<p>Página 471</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------

SITIO 6: PROSPECCIÓN GEOTÉCNICA Y ENSAYOS DE LABORATORIO

<p>Calle 62. No. 23-61 Edificio Torre Plaza 62 Of. 904 Tel. 8813561 fax. 8813437. e-mail: quasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIOS GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDRÁULICO Y MICROZONIFICACIÓN DEL RESGO POR DESLIZAMIENTO Y DISEÑOS DE LAS OBRAS DE ESTABILIDAD PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO EN EL BARRIO PERSIA. MUNICIPIO DE MANIZALES</p>	<p>Página 472</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------

SITIO 7: PROSPECCIÓN GEOTÉCNICA Y ENSAYOS DE LABORATORIO

<p>Calle 62. No. 23-61 Edificio Torre Plaza 62 Of. 904 Tel. 8813561 fax. 8813437. e-mail: quasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIOS GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDRÁULICO Y MICROZONIFICACIÓN DEL RESGO POR DESLIZAMIENTO Y DISEÑOS DE LAS OBRAS DE ESTABILIDAD PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO EN EL BARRIO PERSIA. MUNICIPIO DE MANIZALES</p>	<p>Página 473</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------

SITIO 8: PROSPECCIÓN GEOTÉCNICA Y ENSAYOS DE LABORATORIO

<p>Calle 62. No. 23-61 Edificio Torre Plaza 62 Of. 904 Tel. 8813561 fax. 8813437. e-mail: quasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIOS GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDRÁULICO Y MICROZONIFICACIÓN DEL RESGO POR DESLIZAMIENTO Y DISEÑOS DE LAS OBRAS DE ESTABILIDAD PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO EN EL BARRIO PERSIA. MUNICIPIO DE MANIZALES</p>	<p>Página 474</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------

FORMATOS DE INSPECCION DE VIVIENDA

<p>Calle 62. No. 23-61 Edificio Torre Plaza 62 Of. 904 Tel. 8813561 fax. 8813437. e-mail: quasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIOS GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDRÁULICO Y MICROZONIFICACIÓN DEL RESGO POR DESLIZAMIENTO Y DISEÑOS DE LAS OBRAS DE ESTABILIDAD PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO EN EL BARRIO PERSIA. MUNICIPIO DE MANIZALES</p>	<p>Página 475</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------

MAPAS TEMATICOS

<p>Calle 62. No. 23-61 Edificio Torre Plaza 62 Of. 904 Tel. 8813561 fax. 8813437. e-mail: quasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIOS GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDRÁULICO Y MICROZONIFICACIÓN DEL RESGO POR DESLIZAMIENTO Y DISEÑOS DE LAS OBRAS DE ESTABILIDAD PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO EN EL BARRIO PERSIA. MUNICIPIO DE MANIZALES</p>	<p>Página 476</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------

OBRAS PROPUESTAS

<p>Calle 62. No. 23-61 Edificio Torre Plaza 62 Of. 904 Tel. 8813561 fax. 8813437. e-mail: quasaringenierosconsultores@gmail.com Manizales – Caldas</p>	<p>ESTUDIOS GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDRÁULICO Y MICROZONIFICACIÓN DEL RESGO POR DESLIZAMIENTO Y DISEÑOS DE LAS OBRAS DE ESTABILIDAD PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO EN EL BARRIO PERSIA. MUNICIPIO DE MANIZALES</p>	<p>Página 477</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------